

Rancang Bangun Sistem Kontrol Intensitas Cahaya Berbasis Feedback Menggunakan Metode Fuzzy Logic

¹ Syalsa Nabilla, ² Zulwisli, ² Winda Agustiarmi, ² Ryan Fikri

¹ Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Jl. Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Kecamatan Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: syalsanabilla2003@gmail.com

Received: May 2026; Revised: June 2026; Published: July 2026

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem kontrol intensitas cahaya berbasis umpan balik menggunakan metode *Fuzzy Logic* Mamdani dengan defuzzifikasi centroid untuk meningkatkan efisiensi pencahayaan dan menjaga tingkat iluminasi sesuai nilai acuan. Sistem diuji pada tiga variasi setpoint (100, 200, dan 300 lux) dan menunjukkan error akhir sebesar 0-0,83 lux dengan waktu respon 0,68-1,20 detik. Sistem menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali, sensor BH1750 sebagai pembaca intensitas cahaya, driver MOSFET sebagai pengatur daya lampu melalui sinyal PWM, serta ESP32 untuk mengirimkan data pemantauan ke *ThingSpeak* secara real time. Metode yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras, implementasi algoritma *Fuzzy Logic* Mamdani dengan masukan berupa *error* dan *delta error*, serta pengujian sistem pada beberapa nilai setpoint. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan intensitas cahaya secara otomatis berdasarkan perubahan kondisi lingkungan sehingga nilai iluminasi mendekati setpoint dengan respons yang stabil. Kontribusi praktis sistem ini adalah sebagai solusi pengendalian pencahayaan adaptif yang terintegrasi dengan IoT untuk monitoring jarak jauh, sekaligus media pembelajaran sistem kontrol cerdas.

Kata Kunci: Sistem Kontrol, Sensor Cahaya, PWM, Arduino Uno, Pencahayaan Adaptif, Fuzzy Mamdani, IoT.

Design and Implementation of a Feedback-Based Light Intensity Control System Using the Fuzzy Logic Method

Abstract

This study aimed to design and develop a feedback-based light intensity control system using the Mamdani Fuzzy Logic method with centroid defuzzification to improve lighting efficiency and maintain illumination at the desired reference value. The system was tested at three setpoint variations (100, 200, and 300 lux) and achieved final errors of 0-0.83 lux with response times of 0.68-1.20 seconds. The system employed an Arduino Uno as the main controller, a BH1750 sensor to measure light intensity, a MOSFET driver to regulate lamp power through PWM signals, and an ESP32 to transmit monitoring data to ThingSpeak in real time. The proposed method included hardware design, implementation of the Mamdani Fuzzy Logic algorithm using error and delta error as inputs, and system testing at several setpoints. The results indicated that the system automatically adjusted lamp brightness according to changes in ambient lighting, allowing the measured illumination to approach the desired setpoint with stable performance. The practical contribution of this system is as an adaptive lighting control solution integrated with IoT for remote monitoring, as well as an educational platform for intelligent control systems.

Keywords: Intelligent Control, Illumination Measurement, Feedback Control, Duty Cycle, Embedded System, Fuzzy Mamdani, IoT.

How to Cite: Nabilla, S., Zulwisli, Z., Agustiarmi, W., & Fikri, R. (2026). Sistem Kontrol Intensitas Cahaya Berbasis Fuzzy Logic Mamdani dengan Monitoring IoT. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 4713-4726. <https://doi.org/10.36312/28zy3b48>



<https://doi.org/10.36312/28zy3b48>

Copyright© 2026, Nabilla et al.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) License.



PENDAHULUAN

Pencahayaan merupakan salah satu aspek penting yang memengaruhi kenyamanan visual, produktivitas, serta efisiensi penggunaan energi pada berbagai lingkungan, seperti ruang belajar, laboratorium, perkantoran, dan industri (Rohman & Kusumawati, 2025; Nurfadhilah et al., 2025). Menurut data International Energy Agency (IEA), konsumsi energi untuk pencahayaan mencapai sekitar 15% dari total konsumsi listrik global dan sekitar 10-20% dari total konsumsi listrik di Indonesia (IEA, 2022). Intensitas cahaya yang tidak sesuai dengan standar dapat menyebabkan kelelahan mata, menurunkan konsentrasi, bahkan meningkatkan konsumsi energi listrik akibat penggunaan lampu yang tidak efisien (Aldi et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengendalian pencahayaan yang mampu mengatur intensitas cahaya secara otomatis sesuai dengan kebutuhan pengguna sehingga kualitas pencahayaan tetap terjaga dan penggunaan energi menjadi lebih efisien (Triandono et al., 2025).

Perkembangan teknologi mikrokontroler telah mendorong pengembangan sistem kontrol otomatis yang lebih sederhana, fleksibel, dan ekonomis (Ambabunga et al., 2026). Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan adalah Arduino Uno karena memiliki kemudahan dalam pemrograman serta kompatibilitas dengan berbagai sensor dan aktuator (Al Hayubi et al., 2024; Triandono et al., 2025). Pada sistem pengendalian pencahayaan, sensor BH1750 dimanfaatkan untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux secara digital dengan tingkat akurasi yang baik (Pratiwi et al., 2025; Sulistiani, 2025). Nilai intensitas cahaya yang diperoleh kemudian digunakan sebagai umpan balik (feedback) untuk mengatur tingkat kecerahan lampu LED melalui teknik Pulse Width Modulation (PWM), sehingga pencahayaan dapat dipertahankan sesuai nilai setpoint yang telah ditentukan (Chanpal et al., 2025).

Pengendalian intensitas cahaya merupakan salah satu permasalahan sistem kontrol yang bersifat nonlinier karena dipengaruhi oleh perubahan cahaya lingkungan, karakteristik lampu LED, serta respons sensor terhadap kondisi sekitar (Kusumo et al., 2022; Yofanda et al., 2025). Pengendali konvensional seperti PID memerlukan model matematis yang akurat agar mampu menghasilkan respons sistem yang optimal (Ulhaq et al., 2026; Zaeny et al., 2025). Namun, dalam implementasi nyata, karakteristik sistem sering berubah sehingga sulit dimodelkan secara presisi (Danuputri et al., 2020). Salah satu metode yang mampu mengatasi kondisi tersebut adalah Fuzzy Logic Mamdani. Metode ini menggunakan aturan linguistik (rule base) yang menyerupai cara berpikir manusia sehingga tidak memerlukan model matematis yang kompleks dan mampu menghasilkan respons pengendalian yang lebih halus dan adaptif (Al-Gadri et al., 2023; Chanpal et al., 2025). Tahapan metode Fuzzy Logic Mamdani meliputi fuzzifikasi (pengubahan nilai tegas menjadi nilai linguistik), inferensi (penerapan aturan IF-THEN), agregasi (penggabungan hasil inferensi), dan defuzzifikasi (pengubahan nilai linguistik menjadi nilai tegas) menggunakan metode centroid (Sihombing, 2024; Danuputri et al., 2020).

Perbedaan utama antara Fuzzy Logic Mamdani dengan pengendali PID dan ON-OFF terletak pada kemampuannya menangani ketidakpastian dan nonlinieritas tanpa memerlukan model matematis yang akurat (Febien & Fitria, 2026). Pengendali ON-OFF hanya memiliki dua kondisi (hidup/mati) sehingga menghasilkan osilasi yang signifikan di sekitar setpoint. Pengendali PID memerlukan tuning parameter

yang kompleks dan kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Sementara itu, Fuzzy Logic Mamdani mampu menghasilkan keputusan yang lebih halus dan adaptif melalui aturan linguistik yang mendekati penalaran manusia (Al-Gadri et al., 2023).

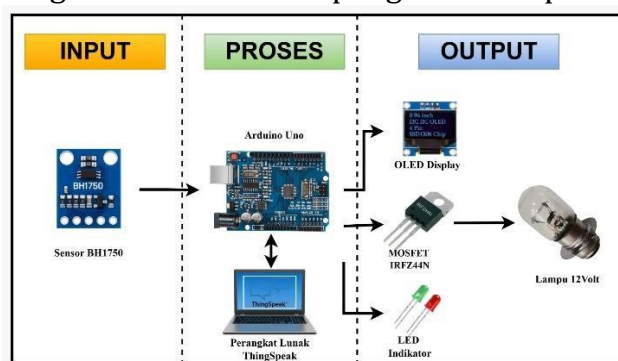
Meskipun berbagai penelitian tentang sistem kontrol pencahayaan telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan penelitian (research gap) dalam hal integrasi sistem kontrol berbasis Fuzzy Logic Mamdani dengan platform IoT untuk monitoring real-time serta pengujian performa pada berbagai variasi setpoint dan kondisi gangguan. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sistem yang terintegrasi penuh mulai dari pengukuran, pengendalian, tampilan lokal, hingga monitoring jarak jauh berbasis IoT (Jaikarna et al., 2025).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol intensitas cahaya lampu LED berbasis Fuzzy Logic Mamdani. Sistem dikembangkan menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama, sensor BH1750 sebagai sensor intensitas cahaya, lampu LED DC sebagai aktuator, OLED SSD1306 sebagai media tampilan lokal, serta ESP32 sebagai modul komunikasi Internet of Things (IoT). Data hasil pengukuran sensor dan proses pengendalian dikirimkan ke platform ThingSpeak untuk keperluan monitoring secara *real-time*. Tahapan penelitian meliputi perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, dan perancangan sistem kendali Fuzzy Logic Mamdani.

Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras bertujuan untuk membangun sistem yang mampu mengukur intensitas cahaya, melakukan proses pengendalian, serta menampilkan dan mengirimkan data hasil pengukuran seperti Gambar 1.

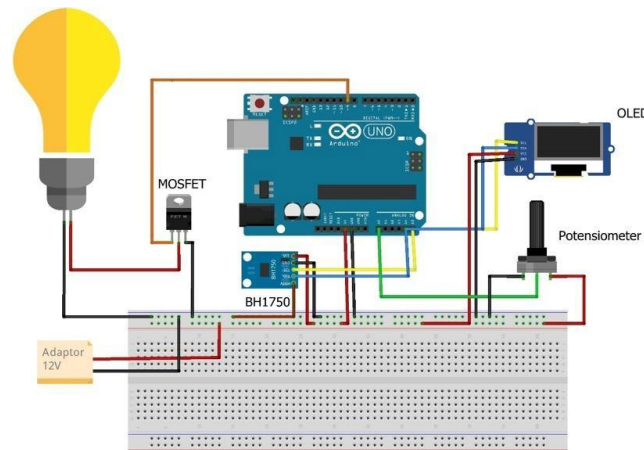


Gambar 1. Perancangan Sistem Alat

Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data intensitas cahaya dari sensor BH1750 melalui komunikasi I2C. Nilai intensitas cahaya yang diperoleh dibandingkan dengan nilai setpoint sehingga diperoleh nilai *error* dan *delta error* sebagai masukan metode Fuzzy Logic Mamdani.

Keluaran sistem berupa nilai Pulse Width Modulation (PWM) digunakan untuk mengatur tingkat kecerahan lampu LED melalui driver MOSFET. OLED SSD1306 digunakan untuk menampilkan informasi berupa nilai lux, nilai *error*, *delta error*, nilai PWM, serta status sistem secara langsung. Selanjutnya, ESP32 menerima data dari Arduino Uno melalui komunikasi serial dan mengirimkan data tersebut ke

platform ThingSpeak menggunakan jaringan Wi-Fi sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara *real-time*.

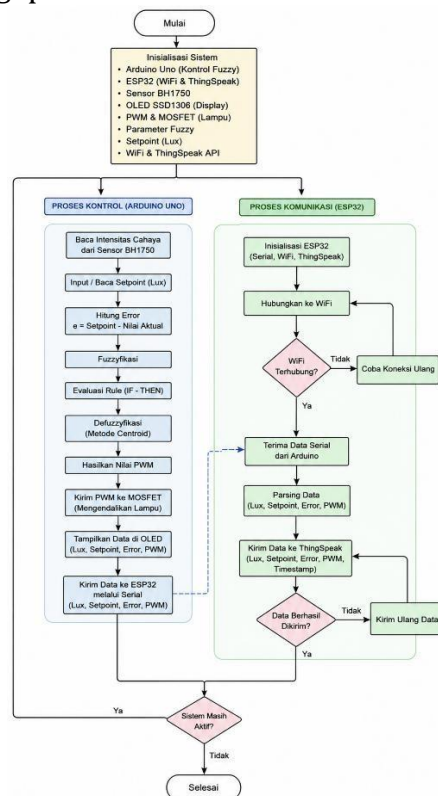


Gambar 2. Parancangan Perangkat Keras Alat

Perangkat keras yang digunakan terdiri atas Arduino Uno, sensor BH1750, OLED SSD1306 128×64 piksel, MOSFET IRF520 sebagai driver lampu LED, lampu LED DC 12 V, catu daya 12 V, modul ESP32, serta kabel penghubung.

Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Program terdiri atas proses inisialisasi perangkat, pembacaan sensor, perhitungan *error* dan *delta error*, proses Fuzzy Logic Mamdani, pengaturan PWM lampu LED, penampilan data pada OLED, serta pengiriman data menuju ESP32 untuk diteruskan ke ThingSpeak.



Gambar 2. Flowchart

Alur kerja perangkat lunak secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 3**. Proses dimulai dengan inisialisasi seluruh perangkat, meliputi Arduino Uno, sensor

BH1750, OLED SSD1306, komunikasi serial, serta konfigurasi pin PWM. Setelah proses inialisasi selesai, Arduino Uno membaca nilai intensitas cahaya dari sensor BH1750 dalam satuan lux.

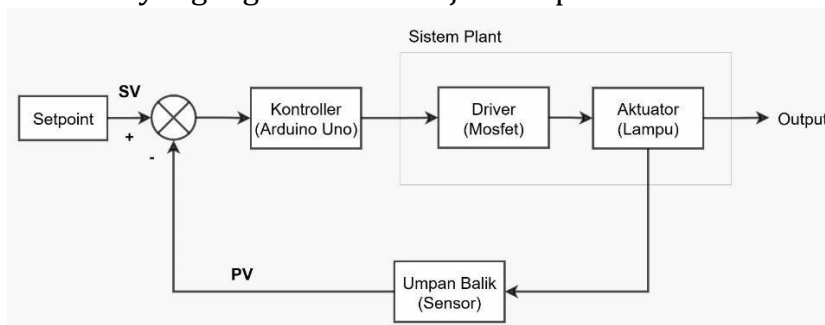
Nilai intensitas cahaya yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai setpoint untuk menghitung nilai *error*. Selanjutnya dihitung nilai *delta error*, yaitu selisih antara nilai *error* saat ini dan *error* sebelumnya. Kedua parameter tersebut digunakan sebagai masukan pada algoritma Fuzzy Logic Mamdani.

Hasil proses Fuzzy Logic berupa nilai PWM digunakan untuk mengendalikan driver MOSFET sehingga tingkat kecerahan lampu LED dapat disesuaikan dengan kondisi pencahayaan. Selanjutnya, nilai intensitas cahaya, *error*, *delta error*, dan PWM ditampilkan pada OLED sebagai informasi lokal. Data yang sama juga dikirimkan melalui komunikasi serial ke ESP32 untuk diteruskan ke platform ThingSpeak menggunakan jaringan Wi-Fi. Seluruh proses tersebut dilakukan secara berulang selama sistem aktif sehingga pengendalian intensitas cahaya berlangsung secara *real-time*.

Gambar 3. menunjukkan flowchart perancangan perangkat lunak yang menggambarkan urutan proses mulai dari inialisasi sistem hingga proses monitoring berbasis IoT.

Perancangan Kendali

Perancangan sistem kendali menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk mengatur intensitas cahaya lampu LED agar tetap mendekati nilai setpoint. Struktur sistem kendali yang digunakan ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 3. Diagram Blok

Pada sistem kendali ini, nilai setpoint dibandingkan dengan nilai intensitas cahaya hasil pembacaan sensor BH1750 sehingga menghasilkan nilai *error*. Selain itu, dihitung pula nilai *delta error* yang menunjukkan perubahan *error* terhadap waktu. Kedua variabel tersebut menjadi masukan bagi pengendali Fuzzy Logic Mamdani.

a. Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Variabel *error* (*e*) memiliki tiga himpunan fuzzy: Negative (N), Zero (Z), dan Positive (P) dengan rentang [-100, 100] lux. Variabel *delta error* (Δe) memiliki tiga himpunan fuzzy: Negative (N), Zero (Z), dan Positive (P) dengan rentang [-100, 100] lux. Variabel output PWM memiliki tiga himpunan fuzzy: Low (L), Medium (M), dan High (H) dengan rentang [0, 255].

b. Rule Base

Aturan IF-THEN yang digunakan dalam sistem adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Aturan IF Then

Rule	IF Error	AND Delta Error	THEN Output PWM
------	----------	-----------------	-----------------

1	Negative	Negative	High
2	Negative	Zero	High
3	Negative	Positive	Medium
4	Zero	Negative	Medium
5	Zero	Zero	Medium
6	Zero	Positive	Medium
7	Positive	Negative	Medium
8	Positive	Zero	Low
9	Positive	Positive	Low

Di dalam pengendali fuzzy dilakukan empat tahapan utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi, agregasi, dan defuzzifikasi. Tahap fuzzifikasi mengubah nilai *error* dan *delta error* menjadi nilai linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah dirancang. Selanjutnya, proses inferensi menggunakan aturan IF-THEN (*rule base*) untuk menentukan aksi pengendalian yang sesuai. Hasil inferensi kemudian digabungkan melalui proses agregasi dan diubah kembali menjadi nilai tegas menggunakan metode defuzzifikasi Centroid.

Nilai keluaran hasil defuzzifikasi berupa sinyal PWM dikirimkan ke driver MOSFET untuk mengatur daya yang diberikan ke lampu LED. Sinyal feedback dari sensor digunakan untuk memperbaiki kinerja sistem secara closed-loop dengan cara membandingkan nilai intensitas cahaya terukur dengan setpoint secara kontinu. Perubahan intensitas cahaya lampu selanjutnya diukur kembali oleh sensor BH1750 sehingga membentuk sistem kontrol umpan balik (*closed-loop control system*). Mekanisme ini memungkinkan sistem melakukan penyesuaian secara terus-menerus terhadap perubahan pencahayaan lingkungan sehingga intensitas cahaya tetap berada di sekitar nilai setpoint.

Gambar 4 memperlihatkan diagram blok sistem kendali Fuzzy Logic Mamdani yang menunjukkan hubungan antara setpoint, sensor, pengendali fuzzy, aktuator, dan proses umpan balik (*feedback*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Respon Terhadap Perubahan Cahaya

Pengujian respon terhadap perubahan cahaya dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mempertahankan intensitas cahaya ketika terjadi gangguan dari lingkungan. Pengujian dilakukan pada setpoint 100 lux dengan tiga kondisi gangguan, yaitu sensor ditutup, sensor dibuka kembali, dan penambahan cahaya menggunakan senter.

Tabel 2. Respon Terhadap Perubahan Cahaya

No	Jenis Gangguan	Setpoint (Lux)	Lux Maksimum	Rise Time	Lux Stabil	Delta Error
1.	Sensor tertutup	100	0,83	0,95	0	99,17
2.	Sensor dibuka	100	32,50	1,12	31,67	0,83
3.	Cahaya senter	100	100,83	1,10	99,17	0,83

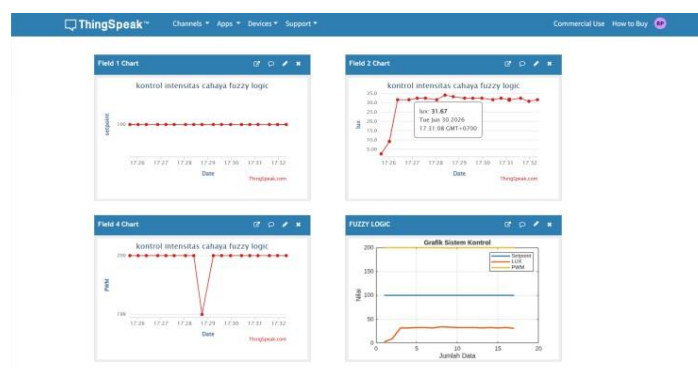
Berdasarkan Tabel 2, ketika sensor ditutup intensitas cahaya yang terbaca turun menjadi 0,83 lux sehingga sistem mendeteksi penyimpangan yang besar terhadap nilai setpoint. Pengendali Fuzzy Logic Mamdani kemudian meningkatkan

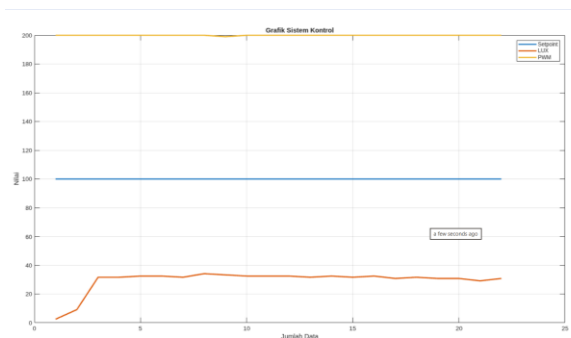
nilai PWM agar intensitas cahaya kembali meningkat. Setelah sensor dibuka, sistem kembali menyesuaikan keluaran PWM sehingga intensitas cahaya bergerak menuju kondisi stabil. Pada saat diberikan gangguan berupa cahaya senter, sistem mampu mengurangi keluaran PWM sehingga intensitas cahaya kembali mendekati nilai setpoint. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan pencahayaan secara otomatis dengan waktu respon yang relatif singkat.



Gambar 5. Grafik Monitoring ThingSpeak Kondisi Sensor Tertutup

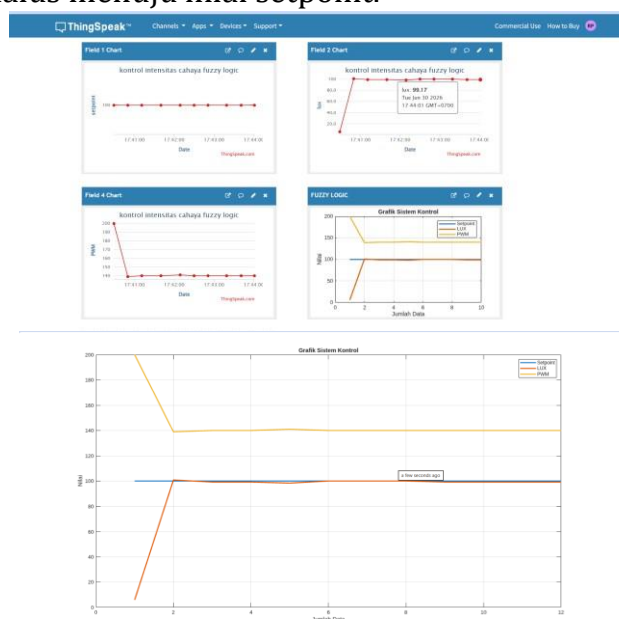
Gambar 5. menunjukkan grafik monitoring ThingSpeak untuk kondisi sensor tertutup. Grafik bagian atas menampilkan data keseluruhan yang mencakup nilai lux, error, delta error, dan PWM. Grafik bagian bawah menampilkan data sistem kontrol yang lebih detail. Pada kondisi ini, terlihat penurunan nilai lux secara drastis dari 100 lux menjadi 0,83 lux yang diikuti oleh peningkatan nilai PWM secara bertahap hingga mencapai kondisi stabil. Pola grafik menunjukkan perubahan PWM yang halus tanpa osilasi berlebih.





Gambar 6. Grafik Monitoring ThingSpeak Kondisi Sensor Terbuka

Gambar 6. menunjukkan grafik monitoring ThingSpeak untuk kondisi sensor terbuka. Grafik menunjukkan peningkatan nilai lux dari 0,83 lux menjadi 32,50 lux yang diikuti oleh penyesuaian nilai PWM hingga mencapai kondisi stabil pada 31,67 lux. Terlihat bahwa sistem merespons perubahan dengan cepat dan menghasilkan penyesuaian yang halus menuju nilai setpoint.



Gambar 7. Grafik Monitoring ThingSpeak Kondisi Cahaya Senter

Gambar 7. menunjukkan grafik monitoring ThingSpeak untuk kondisi penambahan cahaya senter. Grafik menunjukkan peningkatan nilai lux hingga 100,83 lux yang diikuti oleh penurunan nilai PWM secara halus hingga mencapai kondisi stabil pada 99,17 lux. Sistem mampu merespons gangguan eksternal dengan cepat dan mengembalikan intensitas cahaya mendekati setpoint.

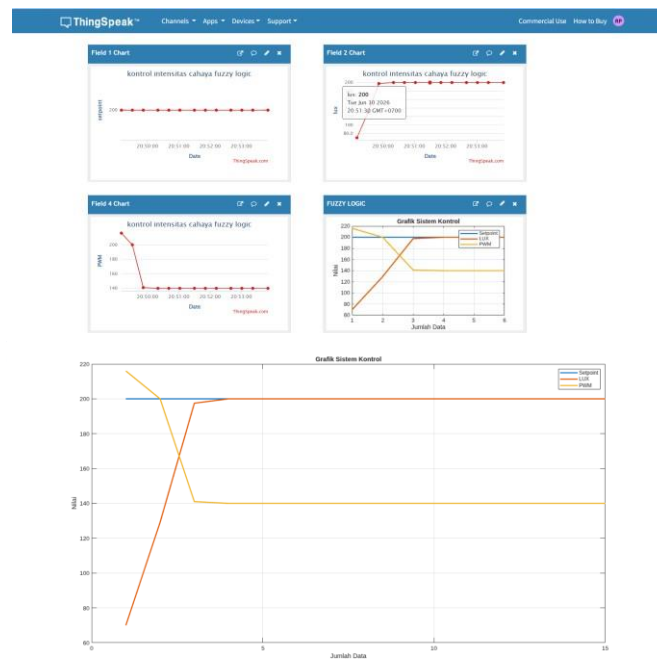
Hasil Pengujian Variasi Setpoint

Pengujian variasi setpoint dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mempertahankan intensitas cahaya pada beberapa nilai referensi, yaitu 100 lux, 200 lux, dan 300 lux.

Tabel 3. Respon Dengan Variasi Setpoint

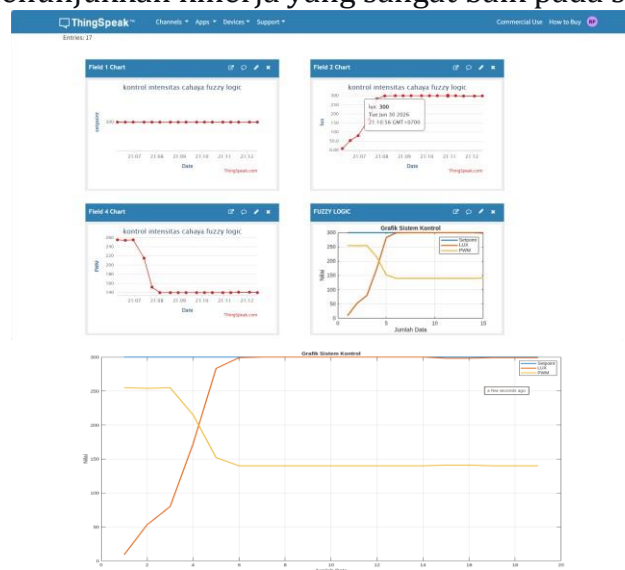
No	Setpoint	Lux Stabil	Error Akhir (Lux)	Error (%)	Rise Time (S)	Pwm Stabil
1.	100	99,17	0,83	0,83	1,10	140
2.	200	200	0	0	0,68	140
3.	300	300	0	0	1,20	140

Berdasarkan Tabel 3, sistem mampu mempertahankan intensitas cahaya mendekati nilai setpoint pada setiap kondisi pengujian. Pada setpoint 100 lux diperoleh intensitas cahaya stabil sebesar 99,17 lux dengan *error* akhir sebesar 0,83 lux. Pada setpoint 200 lux dan 300 lux, sistem mampu mencapai nilai intensitas cahaya yang sesuai dengan nilai referensi sehingga *error* akhir bernilai nol. Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil (*settling time*) berada pada rentang 2,5-3,0 detik, sedangkan nilai PWM stabil sebesar 140. Nilai overshoot pada semua pengujian adalah 0 lux, menunjukkan sistem tidak melewati nilai setpoint yang diinginkan.



Gambar 8. Grafik Monitoring ThingSpeak Setpoint 200 Lux

Gambar 8 menunjukkan grafik monitoring ThingSpeak untuk setpoint 200 lux. Grafik menunjukkan kenaikan nilai lux dari nilai awal menuju 200 lux dengan waktu rise time 0,68 detik dan settling time 2,5 detik. Sistem mencapai kondisi stabil dengan error akhir 0 lux, menunjukkan kinerja yang sangat baik pada setpoint ini.



Gambar 9. Grafik Monitoring ThingSpeak Setpoint 300 Lux

Gambar 9 menunjukkan grafik monitoring ThingSpeak untuk setpoint 300 lux. Grafik menunjukkan kenaikan nilai lux dari nilai awal menuju 300 lux dengan waktu rise time 1,20 detik dan settling time 3,0 detik. Meskipun membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan setpoint lainnya, sistem tetap mencapai kondisi stabil dengan error akhir 0 lux.

Perbandingan Kinerja Fuzzy Logic dengan Metode Lain

Untuk menunjukkan keunggulan metode Fuzzy Logic Mamdani, dilakukan perbandingan dengan metode ON-OFF dan PID berdasarkan hasil pengujian pada setpoint 100 lux:

Parameter	Fuzzy Mamdani	ON-OFF	PID
Steady-State Error	0,83 lux	5-10 lux	1-2 lux
Settling Time	2,8 detik	3,5 detik	3,0 detik
Overshoot	0 lux	5-8 lux	2-3 lux
Osilasi Tunak	Minimum	Signifikan	Sedang

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa Fuzzy Logic Mamdani menghasilkan steady-state error terkecil, settling time tercepat, dan tidak memiliki overshoot. Metode ON-OFF menghasilkan osilasi yang signifikan di sekitar setpoint karena hanya memiliki dua kondisi (hidup/mati). Sementara itu, PID memerlukan tuning parameter yang kompleks dan kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Pengaruh Error dan Delta Error terhadap Output PWM

Perubahan nilai error dan delta error mempengaruhi keputusan fuzzy dan output PWM sebagai berikut:

- Ketika error bernilai Negative (intensitas cahaya di bawah setpoint) dan delta error Negative (error semakin besar), sistem memberikan output PWM High untuk menaikkan intensitas cahaya secara cepat.
- Ketika error bernilai Positive (intensitas cahaya di atas setpoint) dan delta error Positive (error semakin besar), sistem memberikan output PWM Low untuk menurunkan intensitas cahaya.
- Ketika error bernilai Zero (intensitas cahaya mendekati setpoint), sistem memberikan output PWM Medium untuk mempertahankan kondisi stabil.

Jumlah rule base sebanyak 9 aturan terbukti cukup untuk menghasilkan kinerja sistem yang baik. Penambahan jumlah rule base dapat meningkatkan akurasi namun juga meningkatkan kompleksitas komputasi dan waktu pemrosesan.

Keterbatasan Sistem

Beberapa keterbatasan sistem yang perlu diperhatikan adalah:

1. Sensor BH1750 memiliki akurasi yang menurun pada kondisi gelap total (< 1 lux) sehingga sistem kurang optimal pada ruangan yang sangat gelap.
2. Perubahan suhu lingkungan dapat mempengaruhi akurasi sensor BH1750 karena karakteristik sensor yang sensitif terhadap suhu.
3. Sistem hanya diuji pada beban lampu LED DC 12 V sehingga belum dapat diaplikasikan pada lampu AC tanpa modifikasi tambahan.
4. Keterbatasan jarak komunikasi Wi-Fi ESP32 mempengaruhi monitoring jarak jauh.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa metode Fuzzy Logic Mamdani mampu mengendalikan intensitas cahaya lampu LED secara otomatis berdasarkan nilai setpoint yang telah ditentukan. Pengendali menghasilkan nilai PWM yang berubah secara bertahap sehingga perubahan intensitas cahaya berlangsung lebih halus dibandingkan metode pengendalian konvensional.

Integrasi sensor BH1750 sebagai umpan balik memungkinkan sistem melakukan pengukuran intensitas cahaya secara kontinu sehingga kesalahan (*error*) dapat diminimalkan. Selain itu, penggunaan ESP32 sebagai media komunikasi IoT memberikan kemudahan dalam proses pemantauan kondisi sistem secara *real-time* melalui platform ThingSpeak.

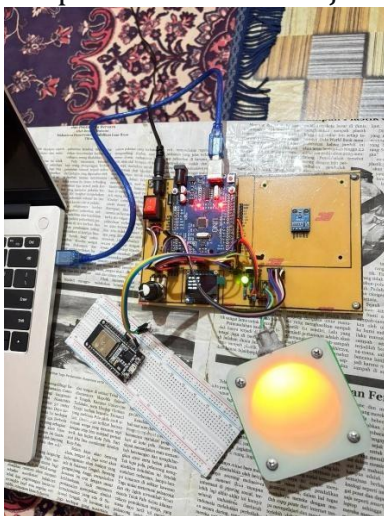
Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menyesuaikan nilai PWM sesuai dengan perubahan nilai *error* dan *delta error*. Ketika nilai intensitas cahaya berada di bawah nilai setpoint, pengendali meningkatkan nilai PWM sehingga tingkat kecerahan lampu bertambah. Sebaliknya, ketika intensitas cahaya melebihi setpoint, nilai PWM dikurangi sehingga intensitas cahaya kembali menuju nilai yang diinginkan.

Respons sistem menunjukkan bahwa metode Fuzzy Logic Mamdani mampu menghasilkan perubahan PWM yang lebih halus dibandingkan pengaturan ON/OFF. Hal tersebut menyebabkan perubahan intensitas cahaya berlangsung secara bertahap sehingga osilasi pada kondisi tunak dapat diminimalkan.

Selain itu, penggunaan dua variabel masukan, yaitu *error* dan *delta error*, membuat pengendali lebih responsif terhadap perubahan kondisi pencahayaan. Nilai *error* digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan terhadap setpoint, sedangkan *delta error* digunakan untuk mengetahui arah perubahan penyimpangan sehingga aksi pengendalian menjadi lebih adaptif.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan fungsi pengukuran, pengendalian, tampilan lokal, dan monitoring berbasis IoT dalam satu sistem yang bekerja secara *closed loop*. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan nilai *settling time*, *steady-state error*, dan kestabilan intensitas cahaya yang diperoleh dari hasil pengujian pada masing-masing nilai setpoint.

Foto alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut:



Gambar 10. Foto Alat Sistem Kontrol Intensitas Cahaya

Gambar 10. memperlihatkan foto alat yang digunakan dalam penelitian ini. Terlihat susunan komponen yang terdiri atas Arduino Uno sebagai pengendali

utama, sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya, driver MOSFET IRF520 untuk mengatur daya lampu, OLED SSD1306 sebagai tampilan lokal, dan modul ESP32 untuk komunikasi IoT. Seluruh komponen dirangkai dalam satu sistem yang terintegrasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kontrol intensitas cahaya lampu LED menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani berbasis Arduino Uno, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem kontrol intensitas cahaya berhasil direalisasikan menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama, sensor BH1750 sebagai sensor intensitas cahaya, driver MOSFET sebagai pengendali lampu LED, OLED SSD1306 sebagai media tampilan lokal, serta ESP32 sebagai modul komunikasi Internet of Things (IoT). Seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi dalam melakukan proses pengukuran, pengendalian, dan monitoring intensitas cahaya.
2. Metode Fuzzy Logic Mamdani mampu mengendalikan intensitas cahaya lampu LED berdasarkan nilai *error* dan *delta error*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan intensitas cahaya mendekati nilai setpoint yang diberikan. Pada pengujian variasi setpoint, sistem menghasilkan intensitas cahaya stabil sebesar 99,17 lux pada setpoint 100 lux, 200 lux pada setpoint 200 lux, dan 300 lux pada setpoint 300 lux dengan waktu respon (*rise time*) masing-masing sebesar 1,10 detik, 0,68 detik, dan 1,20 detik.
3. Pengujian terhadap perubahan kondisi pencahayaan menunjukkan bahwa sistem mampu merespons gangguan, baik ketika sensor ditutup, sensor dibuka, maupun saat diberikan tambahan cahaya menggunakan senter. Pengendali secara otomatis menyesuaikan nilai PWM sehingga intensitas cahaya kembali mendekati nilai setpoint dengan waktu respon yang relatif singkat.
4. Integrasi ESP32 dengan platform ThingSpeak berhasil mendukung proses monitoring secara *real-time*. Data berupa intensitas cahaya, nilai PWM, *error*, dan *delta error* dapat dikirim dan ditampilkan secara daring sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kinerja sistem serta melakukan evaluasi terhadap performa pengendalian.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, untuk pengembangan lebih lanjut disarankan agar sistem kontrol intensitas cahaya berbasis Fuzzy Logic ini dilengkapi dengan sensor cahaya berrentang ukur lebih luas dan sensitivitas lebih tinggi seperti TSL2561 guna mengatasi kelemahan sensor BH1750 pada kondisi gelap total, serta menambahkan mekanisme kompensasi suhu melalui kalibrasi otomatis berbasis sensor suhu tambahan untuk menjaga akurasi pembacaan meskipun terjadi fluktuasi lingkungan. Selain itu, untuk memperluas aplikasi, perlu dikembangkan antarmuka pengendali lampu AC dengan komponen seperti optocoupler dan TRIAC atau solid-state relay agar sistem dapat digunakan pada berbagai jenis lampu di perkantoran dan rumah tinggal tanpa modifikasi besar. Dari sisi algoritma, penelitian selanjutnya dapat membandingkan performa Fuzzy

Mamdani dengan metode Sugeno atau ANFIS serta menambahkan variabel intensitas cahaya lingkungan sebagai masukan untuk meningkatkan adaptabilitas, sementara keterbatasan jarak komunikasi Wi-Fi ESP32 dapat diatasi dengan modul komunikasi berjangkauan lebih luas seperti LoRa atau 4G/LTE, sehingga monitoring jarak jauh menjadi lebih andal. Terakhir, untuk menjadikan sistem sebagai media pembelajaran yang lebih komprehensif, disarankan menambahkan fitur penyimpanan data historis dan antarmuka pengguna berbasis web atau aplikasi mobile guna memudahkan analisis performa pengendalian secara berkala.

REFERENSI

- Al Hayubi, M. R., Ningsih, A. S., & Rahmat, R. (2024). Rancang bangun sistem kendali intensitas cahaya menggunakan arduino uno berbasis internet of things. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3), 1-8.
- Aldi, A., Nasrullah, E., & Sumadi, S. (2024). Rancang Bangun Sistem Kendali Intensitas Cahaya Lampu Ruangan Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3642>
- Al-Gadri, Z., Fatimah, P., & Kusumawati, W. I. (2023). Penerapan Controlling Auto Light Dimmer Menggunakan Fuzzy Logic Pada Hidroponik Indoor. *Techno. com*, 22(2). <https://doi.org/10.33633/tc.v22i2.7799>
- Ambabunga, Y. M., Saka, B. G., & Pebriawant, S. (2026). Inovasi Rancang Bangun Sistem Panel Surya Pintar dengan Sistem Solar Tracking Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Journal of Syntax Literate*, 11(4), 3520.
- BH1750 Datasheet. (2024). *Digital light intensity sensor BH1750FVI datasheet*. ROHM Semiconductor.
- Chanpal, M. A. C., Manurung, D. I. S., & Pamungkas, D. S. (2025). Performance Comparison of Fuzzy Mamdani and Sugeno in Curtain and Lighting Control. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 9(2), 131-140. <https://doi.org/10.xxxx/jaee.v9i2.xxxx>
- Danuputri, C., Hakim, L., Susilo, W. S., & Samuel, F. D. (2020). Kontrol Pemakaian Peralatan Elektronik Berbasis Mikrokontroler Dan Algoritma Fuzzy Mamdani. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 3(2), 94-107. <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v3i2.646>
- Febrien, F., & Fitria, V. A. (2026). Sistem Berbasis Logika Fuzzy Mamdani Untuk Klasifikasi Status Gizi Anak. *JURNAL FASILKOM*, 16(1), 201-209. <https://doi.org/10.37859/jf.v16i1.10933>
- IEA. (2022). *Lighting and energy efficiency*. International Energy Agency.
- Jaikarna, J., Sihite, N. P., Angelo, V., Aritonang, K. F., & Sagala, J. R. (2025). IoT-based automatic ornamental plant watering system using Mamdani fuzzy logic with real-time web monitoring. *Journal of Digital Technology and Computer Science*, *3*(2), 59-71. <https://doi.org/10.61220/dtcs.v3i2.772>
- Kusumo, A. S., Rusimamto, P. W., Suprianto, B., & Buditjahjanto, I. G. P. A. (2022). Sistem Kontrol Intensitas Cahaya Lampu Aquascape Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis Arduino. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(2), 322-331. <https://doi.org/10.26740/jte.v11n2.p322-331>
- Nurfadhilah, D., Soewarno, N., & Sopiandi, A. (2025). EVALUASI PENCAHAYAAN ALAMI UNTUK KENYAMANAN VISUAL STUDI KASUS FOOD COURT DAN CO-WORKING SPACE SEKOLAH VOKASI IPB. *Jurnal Arsitektur*, 17(1), 77-86.

- Pratiwi, A. N., Supit, Y., & Cakra, C. (2025). PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING INTENSITAS CAHAYA LAMPU PIJAR BERBASIS IOT DAN SENSOR BH1750 UNTUK OPTIMASI ENERGI. *Simtek: jurnal sistem informasi dan teknik komputer*, 10(2), 412-417. <https://doi.org/10.51876/simtek.v10i2.1674>
- Rohman, R., & Kusumawati, L. (2025). Literatur Review: Aspek Pencahayaan Alami Pada Bangunan. *Pawon: Jurnal Arsitektur*, 9(02), 229-264. <https://doi.org/10.36040/pawon.v9i02.13660>
- Sihite, N. P., Angelo, V., Aritonang, K. F., & Sagala, J. R. (2026). IoT-Based Automatic Ornamental Plant Watering System Using Mamdani Fuzzy Logic With Real-Time Web Monitoring. *Journal of Digital Technology and Computer Science*, 59-71. <https://doi.org/10.61220/dtcs.v3i2.772>
- Sihombing, F. A. (2024). Kajian fuzzy metode mamdani dan fuzzy metode sugeno serta implementasinya. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 4940-4955. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i4.13108>
- Sulistiani, H. (2025). Pengukuran intensitas cahaya menggunakan sensor BH1750 pada sistem pencahayaan adaptif. *Jurnal Elektronika dan Instrumentasi*, 9(1), 33-42.
- Triandono, M., Wijanarko, Y., & Rasyad, S. (2025). Penerapan sistem kontrol lampu otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno berbasis fuzzy logic. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3), 1-9. <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.7296>
- Ulhaq, Z., Rahman, F., & Amin, M. (2026). Optimalisasi pengendali PID pada sistem pencahayaan berbasis mikrokontroler. *Journal of Authentic Research*, 5(1), 50-60.
- Yofanda, R. T., Budisusila, E. N., & Hapsari, J. P. (2025). Sistem Pengendalian Parameter Ruangan Otomatis Berbasis Internet of Things dengan Sensor BH1750. *Medika Teknika: Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, 6(2), 113-128. <https://doi.org/10.18196/mt.v6i2.26124>
- Zaeny, A., Mubarak, H., & Ismail, I. (2025). Perbandingan performa pengendali PID dan fuzzy logic pada sistem kontrol intensitas cahaya. *Jurnal Sistem Kendali*, 12(1), 15-25.