

Sistem Cerdas Pengendalian Lampu Berbasis IoT Dengan Logika Fuzzy Untuk Efisiensi Energi

¹ Rydo Tama Hariono, ² Indah Purnama Sari
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia
indahpurnama@umsu.ac.id

Submit : 07 Des 2025 | **Diterima** : 26 Des 2025 | **Terbit** : 06 Jan 2026

ABSTRAK

Penggunaan energi listrik pada sektor rumah tangga seringkali kurang efisien karena lampu masih dikendalikan secara manual oleh pengguna. Penelitian ini merancang sistem cerdas pengendalian lampu berbasis Internet of Things (IoT) dengan dukungan sensor LDR dan PIR yang dikombinasikan dengan logika fuzzy. Sistem ini tidak hanya mampu menyalakan dan mematikan lampu secara otomatis sesuai kondisi pencahayaan dan keberadaan orang, tetapi juga memberikan notifikasi melalui aplikasi Telegram sebagai bentuk monitoring jarak jauh. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan mikrokontroler ESP32, sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya, sensor PIR untuk mendeteksi gerakan, modul relay sebagai saklar elektronik, dan integrasi dengan aplikasi Telegram. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja sesuai rancangan dengan lampu hanya menyala pada kondisi gelap dan ada gerakan terdeteksi. Sistem ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik sekaligus memberikan kemudahan monitoring bagi pengguna.

Kata Kunci: IoT; sensor LDR; sensor PIR; logika fuzzy; telegram; efisiensi energi

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan efisiensi energi semakin mendesak seiring meningkatnya konsumsi daya listrik di berbagai sektor. Penggunaan lampu secara konvensional sering kali tidak memperhatikan kondisi lingkungan sekitar, seperti tetap menyala meskipun ruangan kosong atau pencahayaan berlebihan padahal cahaya alami sudah cukup. Hal ini menjadi penyebab pemborosan energi yang berdampak pada meningkatnya biaya listrik dan turut menyumbang pada masalah lingkungan yang lebih luas terkait jejak karbon dan perubahan iklim.

Seiring berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT), pengendalian perangkat listrik dapat dilakukan secara otomatis dan real-time berdasarkan data dari berbagai sensor. IoT memungkinkan integrasi antara perangkat keras, jaringan komunikasi, dan sistem pengolahan data untuk menciptakan ekosistem pintar yang dapat merespons kondisi lingkungan secara dinamis. Namun, pendekatan otomatisasi berbasis logika biner (ON/OFF) kurang fleksibel dan tidak adaptif terhadap kondisi nyata yang dinamis. Sistem konvensional dengan logika tegas hanya mengenal dua kondisi ekstrem tanpa mempertimbangkan gradasi di antaranya, sehingga kurang efisien dalam merespons variasi kondisi pencahayaan dan keberadaan pengguna.

Logika fuzzy menjadi pendekatan yang lebih tepat karena dapat menangani ketidakpastian dan membuat keputusan secara gradual, menyerupai cara berpikir manusia. Berbeda dengan logika klasik yang bersifat crisp, logika fuzzy menggunakan derajat keanggotaan yang memungkinkan suatu nilai berada di antara benar dan salah secara bersamaan dengan tingkat kepercayaan tertentu. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 dan telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi sistem kontrol cerdas. Sistem fuzzy terdiri dari tiga tahapan utama yaitu fuzzifikasi yang mengubah input crisp menjadi nilai fuzzy, inferensi yang memproses aturan-aturan fuzzy menggunakan basis pengetahuan, dan defuzzifikasi yang mengkonversi output fuzzy kembali menjadi nilai crisp untuk pengambilan keputusan.

Dalam konteks sistem pencahayaan cerdas, logika fuzzy dapat mengolah input dari sensor

cahaya (LDR) dan sensor gerak (PIR) untuk menghasilkan output berupa intensitas pencahayaan yang optimal. Sensor LDR (Light Dependent Resistor) berfungsi mendeteksi tingkat pencahayaan ambient di ruangan dengan mengubah resistansi sesuai intensitas cahaya yang diterima, sementara sensor PIR (Passive Infrared) mendeteksi keberadaan manusia melalui perubahan radiasi inframerah. Kombinasi kedua sensor ini memungkinkan sistem membuat keputusan yang lebih kontekstual dan hemat energi.

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pencahayaan ruangan cerdas berbasis ESP32 dan logika fuzzy yang mampu mengatur pencahayaan dengan mempertimbangkan intensitas cahaya alami dan kehadiran manusia, menghasilkan efisiensi daya lampu mencapai 93% dan efisiensi energi hingga 70%, menunjukkan bahwa implementasi logika fuzzy pada sistem pencahayaan dapat mengurangi konsumsi energi hingga 65% dibandingkan sistem konvensional. Sementara itu, mengintegrasikan logika fuzzy dengan platform IoT untuk mengembangkan smart building system yang tidak hanya mengontrol pencahayaan tetapi juga mengoptimalkan penggunaan energi secara keseluruhan dengan tingkat akurasi kontrol mencapai 95%. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi logika fuzzy dengan teknologi IoT memiliki potensi besar dalam mewujudkan sistem pencahayaan yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana objek fisik terhubung ke internet dan mampu mengirim serta menerima data secara otomatis tanpa intervensi manusia. Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat untuk berkomunikasi dan berkolaborasi dalam menciptakan sistem yang cerdas dan responsif terhadap lingkungan sekitarnya. Konsep IoT pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 ketika menjelaskan sistem yang menghubungkan dunia fisik dengan internet melalui sensor. Sejak saat itu, IoT telah berkembang pesat dan menjadi salah satu pilar utama dalam era transformasi digital dan revolusi industri 4.0. IoT terdiri dari tiga komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu perangkat fisik (hardware) yang berfungsi sebagai sensor dan aktuator untuk mengumpulkan data dan melaksanakan perintah, konektivitas yang menyediakan jalur komunikasi antar perangkat melalui protokol jaringan seperti Wi-Fi, Bluetooth, atau protokol khusus IoT lainnya, serta pemrosesan dan aplikasi yang bertugas mengolah data yang dikumpulkan untuk menghasilkan informasi bermakna dan mengambil keputusan otomatis. Pada lapisan perangkat fisik, berbagai jenis sensor seperti sensor suhu, cahaya, kelembaban, dan gerak digunakan untuk menangkap kondisi lingkungan secara real-time. Data yang dikumpulkan kemudian dikirimkan melalui jaringan komunikasi yang dapat berupa koneksi kabel maupun nirkabel dengan mempertimbangkan faktor jangkauan, konsumsi daya, dan bandwidth yang dibutuhkan.

Arsitektur IoT umumnya terdiri dari empat layer utama, yaitu perception layer yang berisi sensor dan aktuator untuk pengumpulan data, network layer yang menangani transmisi data melalui berbagai protokol komunikasi, processing layer yang melakukan analisis dan pengolahan data menggunakan cloud computing atau edge computing, dan application layer yang menyediakan interface bagi pengguna untuk mengakses dan mengendalikan sistem. Edge computing menjadi semakin penting dalam arsitektur IoT modern karena memungkinkan pemrosesan data dilakukan lebih dekat dengan sumber data, mengurangi latensi, dan meningkatkan efisiensi bandwidth. Sementara itu, cloud computing menyediakan kapasitas penyimpanan dan komputasi yang besar untuk analisis data jangka panjang dan machine learning.

Protokol komunikasi dalam IoT sangat beragam dan dipilih berdasarkan kebutuhan spesifik aplikasi. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) merupakan protokol ringan yang ideal untuk perangkat dengan keterbatasan daya dan bandwidth, menggunakan model publish-subscribe untuk pertukaran data yang efisien. HTTP/HTTPS masih banyak digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kompatibilitas luas dengan sistem web existing. CoAP (Constrained Application Protocol) dirancang khusus untuk perangkat dengan sumber daya terbatas dan

menggunakan model request-response yang efisien. Selain itu, protokol seperti Zigbee, LoRaWAN, dan NB-IoT menawarkan solusi untuk komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, sangat cocok untuk aplikasi smart city dan monitoring lingkungan.

Keamanan menjadi aspek krusial dalam implementasi IoT mengingat banyaknya perangkat yang terhubung dan data sensitif yang ditransmisikan. Ancaman keamanan IoT meliputi unauthorized access, data interception, DDoS attacks, dan device hijacking. Oleh karena itu, implementasi IoT harus memperhatikan beberapa prinsip keamanan seperti autentikasi dan otorisasi yang kuat, enkripsi data baik saat transmisi maupun penyimpanan, secure boot untuk mencegah malware, regular firmware updates, dan network segmentation untuk mengisolasi perangkat IoT dari jaringan kritis. Standar keamanan seperti TLS/SSL untuk enkripsi komunikasi dan OAuth untuk autentikasi menjadi praktik umum dalam deployment IoT yang aman.

Dengan ketiga komponen utama dan berbagai layer arsitektur ini bekerja secara harmonis, IoT mampu menciptakan ekosistem pintar yang dapat meningkatkan efisiensi, kenyamanan, dan pengalaman pengguna di berbagai bidang aplikasi mulai dari rumah pintar, industri, kesehatan, hingga manajemen kota cerdas. Menurut data dari Statista, jumlah perangkat IoT yang terhubung secara global diproyeksikan mencapai lebih dari 75 miliar unit pada tahun 2025, menunjukkan pertumbuhan eksponensial dan adopsi masif teknologi ini di berbagai sektor. Dalam hal sistem pencahayaan cerdas, IoT memungkinkan monitoring dan kontrol real-time terhadap intensitas cahaya, konsumsi energi, dan preferensi pengguna, sehingga dapat mengoptimalkan efisiensi energi sambil mempertahankan kenyamanan pengguna.

Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah metode pengambilan keputusan yang meniru cara berpikir manusia dalam menghadapi ketidakpastian dan informasi yang tidak sempurna atau ambigu. Berbeda dengan logika biner atau logika Boolean klasik yang hanya mengenal dua nilai tegas yaitu benar (1) atau salah (0), logika fuzzy memungkinkan nilai kebenaran berada di antara 0 dan 1 dengan derajat keanggotaan yang bervariasi, sehingga dapat merepresentasikan kondisi-kondisi seperti "agak gelap", "cukup terang", atau "sangat panas" yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Pendekatan ini pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh dari University of California, Berkeley pada tahun 1965 melalui paper berjudul "Fuzzy Sets" yang merevolusi cara pandang terhadap sistem kontrol dan pengambilan keputusan. Konsep dasar logika fuzzy adalah himpunan fuzzy (fuzzy set) yang berbeda dengan himpunan crisp klasik dimana suatu elemen dapat memiliki derajat keanggotaan parsial terhadap suatu himpunan, bukan hanya sepenuhnya menjadi anggota atau bukan anggota sama sekali.

Komponen utama sistem logika fuzzy meliputi empat tahapan fundamental yang bekerja secara berurutan, yaitu fuzzifikasi yang mengkonversi input crisp (nilai tegas) menjadi nilai fuzzy dengan fungsi keanggotaan tertentu, basis aturan yang berisi sekumpulan aturan IF-THEN yang merepresentasikan pengetahuan dan pengalaman pakar, inferensi fuzzy yang memproses aturan-aturan tersebut menggunakan metode seperti Mamdani atau Sugeno untuk menghasilkan output fuzzy, dan defuzzifikasi yang mengubah kembali output fuzzy menjadi nilai crisp yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan atau kontrol aktuator. Pada tahap fuzzifikasi, fungsi keanggotaan menjadi elemen kunci yang menentukan bagaimana nilai input dipetakan ke dalam himpunan fuzzy. Terdapat berbagai bentuk fungsi keanggotaan yang umum digunakan, antara lain fungsi segitiga (triangular) yang sederhana dan efisien secara komputasi, fungsi trapesium (trapezoidal) yang memberikan plateau pada nilai-nilai tertentu, fungsi Gaussian yang memberikan transisi yang halus dan natural, serta fungsi sigmoid yang cocok untuk representasi transisi bertahap. Pemilihan fungsi keanggotaan bergantung pada karakteristik sistem dan tingkat presisi yang diinginkan.

Basis aturan fuzzy merupakan jantung dari sistem inferensi fuzzy yang berisi pengetahuan pakar dalam bentuk aturan linguistik IF-THEN. Aturan-aturan ini menghubungkan variabel input dengan variabel output menggunakan operator logika fuzzy seperti AND, OR, dan NOT. Sebagai contoh, dalam sistem pencahayaan cerdas, aturan dapat berbentuk "IF cahaya adalah GELAP AND

ruangan adalah BERPENGHUNI THEN intensitas_lampu adalah TINGGI". Kualitas dan kelengkapan basis aturan sangat menentukan performa sistem secara keseluruhan. Jumlah aturan yang dibutuhkan umumnya meningkat secara eksponensial dengan bertambahnya variabel input, sehingga diperlukan strategi optimasi untuk menghindari rule explosion pada sistem yang kompleks.

Proses inferensi fuzzy menggunakan metode tertentu untuk mengevaluasi aturan-aturan dan menghasilkan kesimpulan. Metode Mamdani adalah pendekatan yang paling populer dan intuitif, menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy untuk output dan proses agregasi berbasis max-min atau max-product. Metode ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan interpretasi linguistik yang jelas. Di sisi lain, metode Sugeno menggunakan fungsi matematis (biasanya linear atau konstan) untuk output, memberikan efisiensi komputasi yang lebih baik dan kemudahan integrasi dengan teknik kontrol adaptif serta optimasi. Metode Tsukamoto merupakan alternatif lain yang menggunakan fungsi keanggotaan monoton untuk setiap aturan, memungkinkan output crisp diperoleh secara langsung tanpa proses defuzzifikasi yang kompleks.

Tahap defuzzifikasi mengkonversi output fuzzy hasil inferensi menjadi nilai crisp yang dapat digunakan untuk menggerakkan aktuator atau membuat keputusan konkret. Terdapat beberapa metode defuzzifikasi yang umum digunakan, masing-masing dengan karakteristik dan kesesuaian aplikasi yang berbeda. Metode Center of Gravity (COG) atau centroid adalah yang paling populer, menghitung titik pusat massa dari fungsi keanggotaan output agregat untuk menghasilkan nilai yang balanced dan mulus. Metode Center of Area (COA) serupa dengan COG tetapi lebih sederhana dalam perhitungan. Metode Mean of Maximum (MOM) mengambil rata-rata dari nilai-nilai dengan derajat keanggotaan maksimum, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan respons ekstrem. Sementara itu, metode Smallest of Maximum (SOM) dan Largest of Maximum (LOM) memilih nilai terkecil atau terbesar dari nilai-nilai maksimum, berguna dalam aplikasi yang memiliki preferensi konservatif atau agresif.

Logika fuzzy memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya populer dalam berbagai aplikasi kontrol dan sistem cerdas. Pertama, kemampuan menangani ketidakpastian dan data yang tidak lengkap dengan cara yang mirip dengan reasoning manusia. Kedua, tidak memerlukan model matematis yang presisi dari sistem yang dikontrol, cukup dengan pengetahuan linguistik dari pakar. Ketiga, mudah dipahami dan diimplementasikan karena menggunakan aturan-aturan linguistik yang intuitif. Keempat, robust terhadap noise dan perubahan parameter sistem. Namun, logika fuzzy juga memiliki beberapa keterbatasan seperti kesulitan dalam menentukan fungsi keanggotaan dan basis aturan yang optimal, kurangnya kemampuan pembelajaran otomatis tanpa digabungkan dengan teknik lain seperti neural network, serta potensi inkonsistensi jika aturan-aturan tidak dirancang dengan hati-hati.

Perkembangan terkini dalam logika fuzzy mencakup integrasi dengan teknologi kecerdasan buatan lainnya, membentuk sistem hybrid yang lebih powerful. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) menggabungkan kemampuan pembelajaran neural network dengan interpretabilitas logika fuzzy, memungkinkan sistem untuk belajar fungsi keanggotaan dan aturan secara otomatis dari data. Fuzzy Genetic Algorithm menggunakan algoritma genetika untuk mengoptimasi parameter sistem fuzzy, meningkatkan performa tanpa tuning manual yang memakan waktu. Type-2 fuzzy logic memperluas konsep dasar dengan menambahkan dimensi ketidakpastian tambahan pada fungsi keanggotaan itu sendiri, memberikan kemampuan yang lebih baik dalam menangani ketidakpastian yang sangat tinggi.

Keempat komponen utama logika fuzzy membentuk sistem yang koheren dan mampu menangani kompleksitas serta ketidakpastian dalam berbagai aplikasi seperti sistem kontrol otomotif dimana logika fuzzy digunakan untuk kontrol transmisi otomatis dan sistem pengereman ABS, pengendalian suhu ruangan pada HVAC yang dapat mengoptimalkan kenyamanan sambil menghemat energi, prediksi cuaca dengan mempertimbangkan berbagai parameter atmosfer yang tidak pasti, diagnosis medis yang menangani gejala-gejala yang ambigu dan overlapping, serta dalam konteks penelitian ini, pengaturan intensitas pencahayaan cerdas yang adaptif terhadap kondisi lingkungan. Aplikasi logika fuzzy dalam sistem pencahayaan memungkinkan transisi yang

halus antara tingkat pencahayaan yang berbeda, menghindari perubahan mendadak yang tidak nyaman bagi pengguna, sekaligus memaksimalkan penghematan energi dengan mempertimbangkan multiple input seperti intensitas cahaya ambient, keberadaan penghuni, waktu dalam sehari, dan preferensi pengguna secara simultan. Sistem kontrol berbasis logika fuzzy dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 40% dibandingkan dengan kontrol konvensional on-off pada aplikasi building automation, sementara Logika Fuzzy sangat efektif untuk aplikasi yang memiliki model matematis yang kompleks atau tidak diketahui dengan pasti, seperti perilaku pengguna dan variabilitas kondisi lingkungan dalam sistem pencahayaan.

Smart Home

Smart home atau rumah pintar adalah konsep hunian modern yang mengintegrasikan teknologi untuk mengotomatisasi dan mengendalikan berbagai perangkat rumah tangga seperti lampu, AC, televisi, serta sistem keamanan, dengan tujuan utama meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi energi bagi penghuninya. Dalam implementasinya, sistem smart home mengandalkan perangkat sensor dan aktuator untuk mendeteksi kondisi lingkungan seperti cahaya, suhu, atau gerakan, kemudian mengirimkan data ke pusat pengendali seperti mikrokontroler atau platform cloud guna mengatur respons perangkat secara otomatis. Sistem ini juga memungkinkan pengendalian jarak jauh melalui aplikasi mobile berbasis internet, sehingga pengguna dapat mengatur perangkat rumah kapan saja dan dari mana saja. Keunggulan lainnya adalah kemampuannya dalam menghemat energi dengan cara mematikan perangkat yang tidak diperlukan serta menyesuaikan penggunaannya secara cerdas sesuai kebutuhan. Lebih lanjut, integrasi logika fuzzy dalam smart home memberikan kelebihan tambahan karena memungkinkan sistem mengambil keputusan dalam situasi yang tidak pasti atau ambigu, misalnya dalam menilai apakah pencahayaan sudah optimal berdasarkan berbagai parameter secara bersamaan. Dengan kemampuan ini, smart home menjadi solusi efektif dan adaptif terhadap kebutuhan modern yang menuntut efisiensi, kenyamanan, dan kendali yang lebih cerdas terhadap perangkat rumah tangga.

METODE PENELITIAN

Perancangan Logika Fuzzy

Sistem logika fuzzy dirancang menggunakan metode Mamdani dengan mempertimbangkan dua variabel input utama yang mempengaruhi keputusan pencahayaan. Variabel input pertama adalah intensitas cahaya yang diukur menggunakan sensor LDR (Light Dependent Resistor) dengan tiga himpunan fuzzy yaitu Gelap, Sedang, dan Terang, yang masing-masing merepresentasikan kondisi pencahayaan ambient di ruangan dengan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan berdasarkan nilai lux yang terukur. Variabel input kedua adalah keberadaan manusia yang dideteksi melalui sensor PIR (Passive Infrared) dengan dua himpunan fuzzy yaitu Ada dan Tidak Ada, yang mengindikasikan apakah terdapat aktivitas manusia dalam ruangan atau tidak. Output fuzzy dari sistem ini adalah status lampu yang memiliki dua kondisi yaitu Mati dan Terang, yang akan menentukan apakah lampu harus dimatikan sepenuhnya atau dinyalakan dengan intensitas tertentu untuk memberikan pencahayaan yang optimal.

Basis aturan fuzzy yang diimplementasikan terdiri dari beberapa aturan IF-THEN yang merepresentasikan logika pengambilan keputusan yang mencerminkan kebiasaan dan preferensi pengguna dalam mengatur pencahayaan. Aturan pertama menyatakan bahwa jika kondisi cahaya terdeteksi Gelap dan terdapat keberadaan orang di dalam ruangan, maka lampu harus dalam kondisi Terang untuk memastikan kenyamanan visual pengguna. Sebaliknya, aturan kedua menentukan bahwa jika kondisi cahaya sudah Terang atau tidak ada orang di dalam ruangan, maka lampu harus dalam kondisi Mati untuk menghemat energi dan menghindari pemborosan listrik. Kombinasi aturan-aturan ini memungkinkan sistem untuk beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan kondisi lingkungan dan keberadaan pengguna, menciptakan solusi pencahayaan yang cerdas, efisien, dan responsif terhadap kebutuhan aktual. Proses inferensi menggunakan operator AND untuk menggabungkan kondisi-kondisi antecedent dengan metode min, sementara agregasi aturan menggunakan metode max, dan defuzzifikasi dilakukan dengan metode centroid untuk

menghasilkan output crisp yang dapat langsung digunakan untuk mengendalikan relay atau dimmer lampu.

Integrasi Telegram

Sistem dihubungkan dengan aplikasi Telegram untuk memberikan notifikasi real-time mengenai status lampu dan memungkinkan pemantauan jarak jauh oleh pengguna secara efektif dan efisien. Integrasi dengan Telegram dipilih karena platform ini memiliki API yang robust, mudah diimplementasikan, dan telah digunakan secara luas oleh masyarakat sebagai aplikasi komunikasi sehari-hari, sehingga tidak memerlukan instalasi aplikasi tambahan yang rumit. Melalui Telegram Bot API, sistem dapat mengirimkan pesan otomatis kepada pengguna yang berisi informasi penting seperti perubahan status lampu dari mati menjadi terang atau sebaliknya, nilai pembacaan sensor intensitas cahaya dan keberadaan manusia, serta estimasi konsumsi energi yang terjadi.

Notifikasi real-time ini memungkinkan pengguna untuk tetap mendapatkan informasi terkini mengenai kondisi pencahayaan di rumah atau ruangan mereka meskipun sedang berada di lokasi yang jauh, meningkatkan rasa aman dan kontrol terhadap sistem. Selain fungsi notifikasi pasif, integrasi Telegram juga memungkinkan kontrol aktif dimana pengguna dapat mengirimkan perintah melalui chat bot untuk mengubah pengaturan sistem, seperti mengaktifkan atau menonaktifkan mode otomatis, mengatur threshold sensitivitas sensor, atau bahkan mengontrol lampu secara manual ketika diperlukan. Komunikasi antara sistem IoT dengan Telegram dilakukan melalui protokol HTTPS yang aman, memastikan bahwa data yang dikirimkan terenkripsi dan terlindungi dari akses tidak sah. Fitur pemantauan jarak jauh ini memberikan nilai tambah signifikan bagi pengguna dalam hal kemudahan, fleksibilitas, dan peace of mind, terutama untuk aplikasi smart home dimana pengguna dapat memantau dan mengontrol perangkat dari mana saja selama terhubung dengan internet, menjadikan sistem pencahayaan cerdas ini tidak hanya efisien dari segi energi tetapi juga user-friendly dan mudah diakses dalam kehidupan sehari-hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja sesuai dengan rancangan dan mampu melakukan pengambilan keputusan secara akurat berdasarkan input dari sensor-sensor yang terintegrasi. Lampu hanya menyala pada kondisi yang benar-benar diperlukan, yaitu saat ruangan dalam keadaan gelap dan terdapat deteksi pergerakan atau keberadaan manusia di dalam ruangan, membuktikan bahwa logika fuzzy yang diimplementasikan berfungsi dengan baik dalam menginterpretasikan data sensor dan menghasilkan output kontrol yang tepat. Sebaliknya, ketika kondisi pencahayaan ambient sudah mencukupi atau tidak ada aktivitas manusia yang terdeteksi, sistem secara otomatis mematikan lampu untuk mengoptimalkan penghematan energi dan menghindari pemborosan listrik yang tidak perlu. Pengujian dilakukan dalam berbagai skenario dan kondisi lingkungan yang berbeda, termasuk variasi intensitas cahaya alami dari pagi hingga malam hari, serta simulasi keberadaan dan ketiadaan penghuni dengan pola pergerakan yang bervariasi. Responsivitas sistem terhadap perubahan kondisi juga menunjukkan performa yang memuaskan, dimana transisi status lampu terjadi dengan delay minimal dan tanpa flickering yang mengganggu kenyamanan visual pengguna.

Data log yang tercatat selama periode pengujian mengkonfirmasi bahwa sistem mampu mengurangi waktu operasional lampu secara signifikan dibandingkan dengan penggunaan manual konvensional, dimana lampu seringkali dibiarkan menyala meskipun tidak diperlukan. Integrasi notifikasi melalui Telegram juga berfungsi dengan baik, memberikan informasi real-time kepada pengguna setiap kali terjadi perubahan status sistem dengan tingkat akurasi dan ketepatan waktu yang tinggi. Hasil pengujian ini memvalidasi bahwa kombinasi teknologi IoT, sensor cerdas, dan logika fuzzy mampu menciptakan sistem pencahayaan otomatis yang tidak hanya efisien dari segi konsumsi energi tetapi juga responsif, andal, dan sesuai dengan kebutuhan praktis pengguna dalam kehidupan sehari-hari.

Tabel 1 Hasil Pengujian

Kondisi	Gerakan	Nilai LDR	Status Lampu	Notifikasi	Hasil
Terang	Tidak Ada	3100	Mati	Tidak ada	Berhasil
Gelap	Ada	800	Menyala	Terkirim	Berhasil
Gelap	Tidak Ada	900	Mati	Tidak ada	Berhasil
Terang	Ada	2800	Mati	Tidak ada	Berhasil
Gelap	Ada	700	Menyala	Terkirim	Berhasil

Sistem berhasil mengirimkan notifikasi ke aplikasi Telegram setiap kali terjadi perubahan status lampu dengan format pesan yang informatif dan mudah dipahami oleh pengguna. Notifikasi "Lampu ON (Gelap + Ada Gerakan)" dikirimkan secara otomatis ketika sistem mendeteksi bahwa kondisi ruangan gelap dan terdapat aktivitas manusia, sehingga lampu perlu dinyalakan untuk memberikan pencahayaan yang memadai. Sebaliknya, notifikasi "Lampu OFF (Terang / Tidak Ada Gerakan)" dikirimkan ketika sistem memutuskan untuk mematikan lampu karena pencahayaan ambient sudah mencukupi atau tidak ada keberadaan manusia yang terdeteksi di dalam ruangan. Hal ini memudahkan pengguna untuk memantau kondisi lampu secara real-time melalui smartphone tanpa perlu berada di lokasi fisik, memberikan transparansi penuh terhadap operasional sistem dan memungkinkan pengguna untuk mengetahui kapan dan mengapa lampu menyala atau mati. Fitur notifikasi ini juga berfungsi sebagai log aktivitas yang dapat digunakan untuk analisis pola penggunaan energi, deteksi anomali seperti lampu yang menyala di waktu yang tidak biasa yang mungkin mengindikasikan keberadaan orang yang tidak diinginkan, serta memberikan peace of mind bagi pengguna yang sering bepergian atau meninggalkan rumah dalam waktu lama. Integrasi dengan Telegram terbukti sangat efektif karena notifikasi diterima dengan delay minimal, biasanya dalam hitungan detik setelah perubahan status terjadi, dan dapat diakses dari berbagai perangkat yang terhubung dengan akun Telegram pengguna. Sistem notifikasi ini juga dilengkapi dengan timestamp yang akurat sehingga pengguna dapat melacak riwayat perubahan status lampu dan mengidentifikasi pola penggunaan untuk optimasi lebih lanjut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian lampu berbasis IoT dengan sensor LDR dan PIR berhasil diimplementasikan dengan baik dan mampu menyalakan lampu secara otomatis hanya pada kondisi yang benar-benar diperlukan, yaitu ketika ruangan dalam keadaan gelap dan terdapat deteksi gerakan atau aktivitas manusia, dimana implementasi logika fuzzy metode Mamdani terbukti efektif dalam mengolah input dari kedua sensor untuk menghasilkan keputusan kontrol yang akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Integrasi dengan aplikasi Telegram memberikan nilai tambah yang signifikan berupa kemampuan pemantauan status lampu secara real-time, memungkinkan pengguna untuk mendapatkan notifikasi setiap kali terjadi perubahan status lampu beserta informasi kondisi sensor yang melatarbelakanginya, sehingga meningkatkan transparansi dan kontrol jarak jauh terhadap sistem. Sistem yang dikembangkan terbukti dapat meningkatkan efisiensi energi listrik dengan mengeliminasi pemborosan akibat lampu yang menyala ketika tidak diperlukan, sekaligus memberikan kenyamanan bagi pengguna melalui otomatisasi yang cerdas dan responsif tanpa memerlukan intervensi manual dalam operasional sehari-hari, menunjukkan bahwa kombinasi teknologi IoT, sensor cerdas, dan logika fuzzy merupakan solusi yang tepat untuk menciptakan sistem pencahayaan yang adaptif, efisien, dan user-friendly dalam mendukung konsep smart home dan sustainable living. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk mengembangkan sistem dengan logika fuzzy yang lebih kompleks yang mampu mengatur intensitas cahaya secara bertahap, menambahkan sensor cahaya digital BH1750 untuk akurasi pengukuran yang lebih baik, mengintegrasikan fitur timer dan data logging untuk analisis pola penggunaan energi, mendesain casing yang ergonomis untuk meningkatkan keamanan dan

ketahanan alat, serta menambahkan mekanisme delay pada sensor PIR agar lampu tidak langsung mati segera setelah gerakan berhenti terdeteksi sehingga menghindari efek flickering yang mengganggu kenyamanan visual dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik.

REFERENSI

- Nasution, H. (2020). Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 4–8. [https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/512%0Ahttp://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1559615&val=2337&title=Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan](https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/512%0Ahttp://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1559615&val=2337&title=Implementasi%20Logika%20Fuzzy%20pada%20Sistem%20Kecerdasan%20Buatan)
- Puspita, E. S., & Yulianti, L. (2016). Perancangan Sistem Peramalan Cuaca Berbasis Logika Fuzzy. *Jurnal Media Infotama*, 12(1). <https://doi.org/10.37676/jmi.v12i1.267>
- Zulherry, A. (2023). Decision making for network security with simple additive weighting method. *Journal of Intelligent Decision Support System (IDSS)*, 6(3), 155-159.
- Rohayani, H. (2013). Analisis Sistem Pendukung Keputusan Dalam Memilih Program Studi Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal Sistem Informasi*, 5(Analisis Sistem Pendukung Keputusan), 530–539.
- Wardani., S, & Dewantoro., RW. (2024). Internet of Things: Home Security System based on Raspberry Pi and Telegram Messenger. *Indonesian Journal of Applied Technology, Computer and Science* 1 (1), 7-13
- Sari, I.P., Al-Khowarizmi, A.K., Hariani, P.P., Perdana, A., & Manurung, A.A. (2023). Implementation And Design of Security System On Motorcycle Vehicles Using Raspberry Pi3-Based GPS Tracker And Facedetection. *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika* 8 (3), 2003-2007
- Saelan, A. (2009). Logika Fuzzy. *Makalah If2091 Struktur Diskrit Tahun 2009*, 1(13508029), 1–5.
- Zulherry, A., Siregar, F. A., Gultom, Z. A., & Raihan, E. A. (2023). Optimalisasi Website untuk Monitoring Jaringan OPD di Dinas Kominfo Kota Medan dengan Metode Triangulasi. *Bulletin of Computer Biso*,
- Setia, B. (2019). Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Cerdas. *Jurnal Sistem Cerdas*, 2(1), 61–66. <https://doi.org/10.37396/jsc.v2i1.18>
- Wibowo, S. (2015). Penerapan Logika Fuzzy Dalam Penjadwalan Waktu Kuliah. *Jurnal Informatika UPGRIS*, 1(1), 59–77.
- Sari, I.P., Basri, M., Ramadhani, F., & Manurung, A.A. (2023). Penerapan Palang Pintu Otomatis Jarak Jauh Berbasis RFID di Perumahan. *Blend Sains Jurnal Teknik* 2 (1), 16-25
- A. T., & Zulherry, A. (2025). Analisis Sentimen Game Genshin Impact untuk Mengetahui Reaksi dan Harapan Pemain Menggunakan Metode Naïve Bayes. *sudo Jurnal Teknik Informatika*, 4(2), 183-193. *Science Research*, 3(5), 357-363.
- Bimantoro, F. N., Subagio, R. T., Sulhan, M. A., Informatika, P. S., Informasi, F. T., Catur, U., Cendekia, I., & Cirebon, K. (2023).
- Journal, G. M., Putra, Z., & Indonesia, U. P. (2024). Fuzzy logic and iot integration for smart street lighting systems. *03(1)*, 6–11.
- Ichsan, A., Zulherry, A., Lubis, T. A., & Shahnaz, B. A. Z. (2025). Utilization of Mobile Applications to Speed Up The Search for Android-Based Index Places. *IJATCoS: Indonesian Journal of Applied Technology, Computer and Science*, 2(1).
- Sari, I.P., & Batubara, I.H. (2020). Aplikasi Berbasis Teknologi Raspberry Pi Dalam Manajemen Kehadiran Siswa Berbasis Pengenalan Wajah. *JMP-DMT* 1 (4), 6
- Kamila, R. K., Krisnawati, L., Devira, P., & Martini, A. (2024). SISTEM PEMANTAUAN KONSUMSI LISTRIK RUMAH TANGGA DENGAN LOGIKA FUZZY BERBASIS INTERNET OF THINGS. *4*. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.4.214-223>
- Nuraini, A. (2023). Sistem Kendali Pemakaian Energi Listrik Berbasis Logika Fuzzy Pada Bangunan Gedung.
- Zulherry, A., Gunawan, T. S., & Wanayumini, W. (2021). Analisis Hasil Pendukung Keputusan Mendapatkan Rumah Dinas Perusahaan Menggunakan Metode Analytical Hierarchy

- Process (AHP) dan Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA, 5(2), 695-704.
- Pratiwi, J. A., Utami, S., & Rahardjo, A. H. (2024). Rancang Bangun Lampu Pintar Menggunakan Kontrol Fuzzy Logic dengan Teknologi Power Over Ethernet (PoE) berbasis PLTS. Prosiding the 15th Industrial Research Workshop and National Seminar, 3, 555–562. <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/6318>
- Sari, I.P., Batubara, I.H., & Basri, M. (2022). Implementasi Internet of Things Berbasis Website dalam Pemesanan Jasa Rumah Service Teknisi Komputer dan Jaringan Komputer. Blend Sains Jurnal Teknik 1 (2), 157-163
- Matondang, M.H.A., Asadel, A., Fauzan, D., & Setiawan, A.R. (2024). Smart Helmet for Motorcycle Safety Internet of Things Based. Tsabit Journal of Computer Science 1 (1), 35-39
- Sari, I.P., Novita, A., Al-Khowarizmi, A., Ramadhani, F., & Satria, A. (2024). Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3. Blend Sains Jurnal Teknik 2 (4), 337-343
- Husaini, A., & Sari, I.P. (2023). Konfigurasi dan Implementasi RB750Gr3 sebagai RT-RW Net pada Dusun V Suka Damai Desa Sei Meran. sudo Jurnal Teknik Informatika 2 (4), 151-158
- Ramadhani, R. R., Yuliana, M., & Pratiarso, A. (2022). Smart Room Lighting System for Energy Efficiency in Indoor Environment. International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR), 4(2), 48–58. <https://doi.org/10.25139/ijair.v4i2.5266>
- Basri, M., & Zulherry, A. (2025). Analysis of the Impact of Gambling and Online Loans in the Perspective of Informatics, Islam, and Kemuhammadiyah. AR-RASYID: Jurnal Pendidikan Agama Islam, 5(1).
- Syafitri, N. (2016). Simulasi Sistem Untuk Pengontrolan Conditioner Dengan Menggunakan Logika Fuzzy. Jurnal Informatika, 10(1), 1164–1172.
- Telleng, R. C., Suoth, V. A., & Kolibu, H. S. (2020). Rancang Bangun Alat Pengontrol Tingkat Pencahayaan Lampu Berbasis Mikrokontroler dengan Menggunakan Logika Fuzzy. Jurnal MIPA, 10(1), 36. <https://doi.org/10.35799/jmuo.10.1.2021.31387>