

**PENERAPAN TEKNOLOGI IOT DALAM SISTEM *SMART LIGHTING*
UNTUK STUDI KASUS RUANGAN GEDUNG FAKULTAS UIN MALANG**

SKRIPSI

**Oleh :
MUHAMMAD IBROHIM AQIMUDDIN
NIM. 18650067**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**PENERAPAN TEKNOLOGI IOT DALAM SISTEM *SMART LIGHTING*
UNTUK STUDI KASUS RUANGAN GEDUNG FAKULTAS UIN
MALANG**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)**

**Oleh :
MUHAMMAD IBROHIM AQIMUDDIN
NIM. 18650067**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENERAPAN TEKNOLOGI IOT DALAM SISTEM *SMART LIGHTING* UNTUK STUDI KASUS RUANGAN GEDUNG FAKULTAS UIN MALANG

SKRIPSI

Oleh :
MUHAMMAD IBROHIM AQIMUDDIN
NIM. 18650067

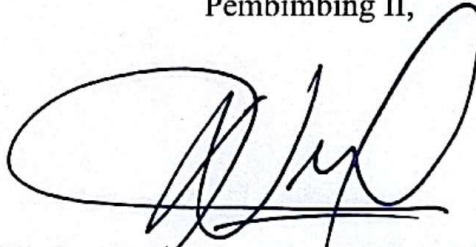
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 17 Juni 2025

Pembimbing I,



Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, S.T., M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

Pembimbing II,



Dr. Ir. Fesy Nugroho, S.T., M.T., IPM
NIP. 19710722 201101 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, S.T., M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

PENERAPAN TEKNOLOGI IOT DALAM SISTEM *SMART LIGHTING* UNTUK STUDI KASUS RUANGAN GEDUNG FAKULTAS UIN MALANG

SKRIPSI

Oleh :
MUHAMMAD IBROHIM AQIMUDDIN
NIM. 18650067

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan Dinyatakan Diterima
Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 25 Juni 2025

Susunan Dewan Penguji

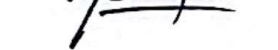
Ketua Penguji : Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M.T
NIP. 19830616 201101 1 004

Anggota Penguji I : Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom
NIP. 19831213 201903 1 004

Anggota Penguji II : Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, S.T., M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

Anggota Penguji III : Dr. Ir. Fresy Nugroho, S.T., M.T, IPM
NIP. 19710722 201101 1 001

()
()

()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, S.T., M.M.T., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ibrohim Aqimuddin
NIM : 18650067
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Penerapan Teknologi IOT Dalam Sistem *Smart Lighting* Untuk Studi Kasus Ruang Gedung
Fakultas UIN Malang

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 25 Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Ibrohim Aqimuddin
NIM.18650067

MOTTO

"Pretending to be brave is itself a kind of bravery."

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya, yang karena merekalah saya mampu bertahan hingga titik terakhir ini. Segala upaya dan harapan saya pertaruhkan dalam kesempatan ini agar skripsi ini dapat saya selesaikan dengan sebaik-baiknya. Terima kasih tak terhingga atas kepercayaan dan kesempatan yang terus diberikan kepada saya untuk menuntaskan perjalanan panjang pendidikan S1 ini. Apa yang saya perjuangkan di sini tak sebanding dengan perjuangan mereka untuk saya selama ini. Semoga dengan tercapainya karya ini, turut pula berkurang beban yang mereka pikul selama ini.

Dengan harapan besar dan rasa tanggung jawab yang mendalam, saya akan terus berusaha memberikan yang terbaik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Penerapan Teknologi IoT Dalam Sistem *Smart Lighting* Untuk Studi Kasus Ruang Gedung Fakultas UIN Malang”.

Sholawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk sehingga kita tetap dalam iman islam dan dapat melakukan kegiatan belajar dengan cahaya islam.

Penulisan dan penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program studi Teknik Informatika di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan, bimbingan serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh ketulusan hati penulis mengucapkan terimakasih dikhususkan kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, MA selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, S.T., M.MT., IPU selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan juga Pembimbing I penulis yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama menulis dan menyusun skripsi ini.

4. Dr. Ir. Fresy Nugroho, S.T., MT, IPM., selaku dosen pembimbing II yang telah banyak membantu serta memotivasi penulis untuk tetap melanjutkan penulisan skripsi ini meski tertunda dalam beberapa waktu.
5. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu kepada penulis semenjak di bangku perkuliahan dan di ruang praktikum.
6. Keluarga penulis, Orang tua penulis, Bapak Teguh Takari dan Ibu Dini Handayani yang terus memberikan dukungan kepada penulis baik emosional dan tentu saja finansial, Adik, Muhammad Yusuf Baihaqi yang memberikan semangat dan juga motivasi kepada penulis.
7. Angkatan 18 Teknik Informatika UFO (Unity of Informatics Force) yang telah membagi beban, keluh kesah dan solidaritas kuat selama masa kuliah yang paling mengesankan.
8. Pribadi saya sendiri.

Semoga segala bantuan dan doa yang telah diberikan kepada penulis dibalas kebaikan oleh Allah SWT serta dicatat sebagai amal sholeh di dunia dan akhirat. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat dan menjadi khazanah pengembangan ilmu pengetahuan pada bidang terkait.

Malang, 25 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II BAB II STUDI PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terkait	5
2.2 <i>Internet of Things</i>	8
2.3 <i>Smart lighting</i>	9
2.4 Metode Logika <i>Fuzzy Mamdani</i>	10
BAB III DESAIN DAN PERANCANGAN SISTEM.....	12
3.1 Alur Penelitian	12
3.2 Analisis Kebutuhan	14
3.2.1 Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	14
3.2.2 Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	14
3.3 Desain Perancangan Sistem	15
3.3.1 Perancangan Rangkaian Alat Elektronika	16
3.3.2 Perancangan Prototipe Ruang Gedung	20
3.3.3 Perancangan Metode <i>Fuzzy Mamdani</i>	21
3.4 Rencana Pengujian.....	27
3.4.1 Metode Pengambilan Data	28
3.4.2 Evaluasi <i>Output</i> Sistem	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Implementasi Sistem <i>Smart Lighting</i>	30
4.1.1 Hasil Implementasi <i>Hardware</i>	30
4.1.2 Tampilan Aplikasi <i>Blynk</i>	32
4.1.3 Hasil Implementasi <i>Fuzzy Mamdani</i> pada Mikrokontroler	33
4.2 Hasil Pengujian Sistem <i>Smart Lighting</i>	38
4.2.1 Hasil Pengujian Sensor LDR	38

4.2.2 Hasil Pengujian Sensor PIR.....	39
4.2.3 Pengujian Logika <i>Fuzzy</i> Mamdani	39
4.3 Pembahasan.....	41
4.3.1 Konsumsi Energi	41
4.3.2 Integrasi Islam.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Diagram Aktifitas Sistem <i>Smart Lighting</i>	15
Gambar 3.3 Desain Rangkaian Alat Elektronika	16
Gambar 3.4 Sensor LDR.....	17
Gambar 3.5 Konfigurasi Rangkaian LDR.....	18
Gambar 3.6 Sensor AM312.....	19
Gambar 3.7 Rancangan Prototipe Ruangan Tampak Atas.....	20
Gambar 3.8 Rancangan Prototipe Ruangan Tampak Samping.....	20
Gambar 3.9 Flowchart <i>Fuzzy Mamdani</i>	22
Gambar 3.10 Representasi Fungsi Keanggotaan LDR	24
Gambar 3.11 Representasi Fungsi Keanggotaan <i>Output</i> Lampu.....	26
Gambar 4.1 Prototipe Ruangan.....	30
Gambar 4.2 Rangkaian Lampu dan Sensor Ruangan.....	31
Gambar 4.3 Rangkaian Alat Elektronika	32
Gambar 4.4 Tampilan Aplikasi <i>Blynk</i>	33
Gambar 4.5 <i>Pseudocode</i> Fuzzifikasi.....	34
Gambar 4.6 <i>Pseudocode</i> Inherensi.....	36
Gambar 4.7 <i>Pseudocode</i> Defuzzifikasi	37
Gambar 4.8 Grafik Data Pengamatan Output LDR	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 3.1 Variabel Keanggotaan LDR.....	24
Tabel 3.2 Variabel Keanggotaan Sensor PIR.....	25
Tabel 3.3 Variabel <i>Output</i>	25
Tabel 3.4 Pembentukan <i>Rule</i>	26
Tabel 3.5 <i>Confussion Matrix</i>	29
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor LDR	39
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor PIR	39
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Logika <i>Fuzzy</i>	40
Tabel 4.4 Hasil Analisa Konsumsi Energi	42
Tabel 4.5 Perbandingan Konsumsi Energi.....	42

ABSTRAK

Aqimuddin, M. Ibrahim. 2025. **Penerapan Teknologi IoT Dalam Sistem *Smart Lighting* Untuk Studi Kasus Ruangan Gedung Fakultas UIN Malang**. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, ST., M.MT., IPU (II) Dr. Fresy Nugroho, M. T.

Kata kunci: *Smart Lighting, Internet of Things, Fuzzy Mamdani, Sensor LDR.*

Sistem pencahayaan buatan di gedung menyumbang hingga 40% dari total konsumsi energi dan turut berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, karena sebagian besar energi di Indonesia masih dihasilkan dari pembakaran batu bara. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengembangkan sistem smart lighting berbasis *Internet of Things* (IoT) dan logika *fuzzy* Mamdani untuk mengelola konsumsi energi secara efisien di gedung Fakultas UIN Malang. Sistem menggunakan sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya, sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan pengguna, mikrokontroler Arduino sebagai unit pemroses, dan platform *Blynk* untuk pemantauan jarak jauh. Pengujian dilakukan pada prototipe ruangan yang merepresentasikan kondisi nyata, selama 11 sesi dari pukul 07.00 hingga 17.00. Berdasarkan perhitungan menggunakan *confusion matrix*, sistem mencapai tingkat akurasi sebesar 81,82%, menunjukkan performa yang baik dalam menyesuaikan pencahayaan. Konsumsi energi tercatat sebesar 22 Wh per hari, dibandingkan 44 Wh jika lampu menyala penuh, menghasilkan efisiensi energi sebesar 50%.

ABSTRACT

Aqimuddin, M. Ibrohim. 2025. **Implementation of IoT Technology in a Smart Lighting System: A Case Study of a Faculty Room at UIN Malang.** Thesis. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Adviser: (I) Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, ST., M.MT., IPU (II) Dr. Fresy Nugroho, M. T.

Artificial lighting systems in buildings account for up to 40% of total energy consumption and contribute to greenhouse gas emissions, as most of Indonesia's energy is still produced through coal combustion. To address this issue, this study developed a smart lighting system based on the Internet of Things (IoT) and Mamdani *fuzzy* logic to efficiently manage energy consumption in the Faculty building of UIN Malang. The system integrates a Light Dependent Resistor (LDR) sensor to measure ambient light, a Passive Infrared (PIR) sensor to detect human presence, an Arduino microcontroller as the central processing unit, and the Blynk platform for remote monitoring. Testing was conducted using a prototype room that simulates real-world conditions, across 11 observation sessions between 07:00 and 17:00. Based on analysis using a confusion matrix, the system achieved an accuracy rate of 81.82%, demonstrating effective performance in adjusting lighting based on actual conditions. The system recorded a daily energy consumption of 22 Wh, compared to 44 Wh when lights remained on continuously, resulting in a 50% reduction in energy usage.

Key words: Smart Lighting, Internet of Things, Mamdani *Fuzzy*, LDR Sensor.

مستخلص البحث

أقيم الدين، محمد إبراهيم. ٢٠٢٥. تطبيق تكنولوجيا إنترنت الأشياء في نظام الإضاءة الذكية: دراسة حالة لغرفة في مبنى كلية الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانغ. البحث الجامعي. قسم الهندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانغ. المشرف: (١) الدكتور فخرول كورنيوان الماجستير (٢) الدكتور فريسي نوجروهو الماجستير.

الكلمات الأساسية: العمارة، محرك اللعبة، نظام مكون الكيان.

تشكّل أنظمة الإضاءة الصناعية في المباني ما يصل إلى 40٪ من إجمالي استهلاك الطاقة، وتسهم في انبعاثات الغازات الدفيئة، نظرًا لأن معظم الطاقة في إندونيسيا لا تزال تُنتج من احتراق الفحم. لمعالجة هذه المشكلة، طُوّر في هذه الدراسة نظام إضاءة ذكي يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) ومنطق الضبابية "مامداني" لإدارة استهلاك الطاقة بكفاءة في مبنى كلية جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية في مالانغ. يدمج النظام مستشعر مقاومة ضوئية (LDR) لقياس شدة الإضاءة المحيطة، ومستشعر الأشعة تحت الحمراء السلبية (PIR) لاكتشاف وجود الأشخاص، ووحدة تحكم "أردوينو" كوحدة معالجة مركزية، بالإضافة إلى منصة "بلينك" للمراقبة عن بُعد. تم تنفيذ الاختبارات باستخدام نموذج أولي لغرفة تمثل الظروف الواقعية، خلال 11 جلسة مراقبة من الساعة 07:00 صباحًا حتى 17:00 مساءً. وبالاعتماد على تحليل باستخدام مصفوفة الالتباس (*confusion matrix*)، بلغ معدل دقة النظام 81.82٪، مما يدل على أداء فعال في ضبط الإضاءة وفقًا للظروف الفعلية. وقد سجّل النظام استهلاكًا يوميًا للطاقة قدره 22 واط/ساعة، مقارنةً بـ 44 واط/ساعة عند تشغيل المصابيح بشكل مستمر، مما أدى إلى تقليل استهلاك الطاقة بنسبة 50٪.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini tantangan terkait konsumsi energi global menjadi isu utama yang mendesak untuk segera dicari solusinya. Salah satu aspek yang memiliki kontribusi besar terhadap konsumsi energi adalah sistem penerangan buatan pada bangunan. Konsumsi energi listrik untuk penerangan dapat mencapai hingga 40% dari total kebutuhan energi di sebuah gedung (UNEP, 2009). Lingkup konsumsi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis dan efisiensi lampu yang digunakan, serta cara pengoperasiannya.

Tingginya konsumsi energi dalam sektor bangunan berkontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca, di mana sekitar 60% emisi global berasal dari sektor energi. Bangunan sendiri menyumbang sekitar 30% dari total konsumsi energi global dan sekitar 60% dari konsumsi listrik yang dihasilkan (Kawasi, B. ,2024). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang bijaksana dalam pengelolaan energi, khususnya pada sistem-sistem di dalam gedung seperti penerangan, pendingin ruangan, elevator, keamanan, dan komunikasi.

Salah satu strategi yang potensial untuk menjawab tantangan ini adalah penerapan sistem pencahayaan cerdas (*smart lighting*) yang berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini memungkinkan pengaturan intensitas pencahayaan secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan dan aktivitas pengguna. Dalam konteks ini, penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem *smart lighting* untuk studi kasus ruangan gedung di Fakultas UIN Malang.

Penelitian ini menggunakan sensor cahaya LDR untuk mendeteksi tingkat pencahayaan ruangan, yang datanya kemudian diproses menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengaturan intensitas cahaya, sehingga memungkinkan sistem untuk memberikan respons yang lebih adaptif dan cerdas sesuai kondisi ruangan (Zuyyinal Haqqul Barir et al., 2024). Selain itu, digunakan pula sensor gerak pada pintu masuk gedung untuk mendeteksi keberadaan pengguna, sehingga sistem dapat mengatur pencahayaan secara lebih responsif dan efisien.

Pertimbangan etis dan nilai-nilai lingkungan juga menjadi landasan penting pada penelitian ini. Sebagaimana pada Surat Al-An'am: 141 yang berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي أَنشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَصْوَالُهُمُ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ ۚ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَآتُوا حَقَّهُ ۖ يَوْمَ حَصَادِهِ ۖ وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿١٤١﴾

“Dialah yang menumbuhkan tanaman-tanaman yang merambat dan yang tidak merambat, pohon kurma, tanaman yang beraneka ragam rasanya, serta zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak serupa (rasanya). Makanlah buahnya apabila ia berbuah dan berikanlah haknya (zakatnya) pada waktu memetik hasilnya. Akan tetapi, janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan.” (Q.S. Al-An'am: 141)

Surat Al-An'am: 141 dalam Al-Quran menekankan larangan untuk berbuat pemborosan, menyampaikan prinsip bijaksana dalam menggunakan sumber daya. Ayat ini menegaskan bahwa segala sesuatu diciptakan dengan kadar, menyoroti pentingnya memperlakukan sumber daya dengan penuh tanggung jawab. Dalam pengembangan aplikasi manajemen energi, nilai-nilai ini dapat diintegrasikan untuk membimbing pendekatan yang bijaksana terhadap penggunaan energi. Oleh karena

itu, penelitian ini tidak hanya diarahkan untuk mencapai efisiensi teknologi, tetapi juga untuk menciptakan sistem yang mencerminkan nilai-nilai keberlanjutan dan tanggung jawab terhadap sumber daya alam, sejalan dengan ajaran Al-Quran.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana penerapan sistem berbasis IoT dengan menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* dapat menghemat konsumsi energi pada sebuah gedung?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dalam lingkup implementasi teknologi IoT pada sebuah prototipe ruangan gedung sebagai bentuk simulasi sistem *smart lighting* yang dirancang.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menguji penerapan metode *Fuzzy Mamdani* dalam sistem *smart lighting* berbasis *Internet of Things* (IoT) pada prototipe ruangan gedung Fakultas UIN Malang.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian antara lain :

1. Memberikan gambaran mengenai penerapan teknologi IoT pada sistem *smart lighting* sebagai solusi otomatisasi pencahayaan yang efisien, adaptif, dan hemat energi di sebuah ruangan gedung.
2. Mendukung pengembangan sistem *smart lighting* berbasis IoT yang responsif dan hemat energi di lingkungan pendidikan.

3. Memberikan kontribusi terhadap upaya pengurangan emisi gas rumah kaca melalui penghematan energi listrik pada sektor pencahayaan ruangan gedung.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang dilakukan oleh Ramdhani & Yuliana, (2022) mengkaji implementasi *Smart Room Lighting System* sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi pencahayaan ruangan serta mengurangi konsumsi energi listrik. Sistem dirancang menggunakan sensor LDR yang berfungsi untuk mendeteksi intensitas cahaya alami di dalam ruangan dan secara otomatis menyesuaikan tingkat pencahayaan buatan. Pengujian dilakukan untuk membandingkan kinerja sistem ini dengan sistem pencahayaan konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghemat daya listrik hingga 93%, dengan total penggunaan energi yang 70% lebih rendah dibandingkan sistem tradisional. Evaluasi juga dilakukan dalam berbagai kondisi cuaca untuk menilai respons adaptif sistem. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Smart Room Lighting System* memiliki efektivitas tinggi dalam mengoptimalkan konsumsi energi dan mampu beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan pencahayaan lingkungan.

Pada penelitian berjudul *Smart Building Lighting System* oleh Firdaus dan Mulyana (2020) mengembangkan sistem pencahayaan bangunan cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan tujuan meningkatkan efisiensi energi melalui kontrol otomatis dan manual. Sistem ini menggunakan Arduino Mega 2560, sensor PIR, dan modul ESP8266 yang terhubung ke aplikasi dan web server *Cayenne* untuk pemantauan dan pengendalian lampu secara *real-time*. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu mengontrol pencahayaan secara efektif

berdasarkan aktivitas ruangan, meskipun masih terdapat kendala teknis seperti keterlambatan respons, ketidakstabilan koneksi, dan sensitivitas sensor yang belum optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Muliadi et al. (2021) mengembangkan sistem monitoring konsumsi energi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) pada jaringan listrik skala mini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan energi yang tidak hanya mencatat konsumsi energi, tetapi juga mampu mengukur energi yang hilang (*lost energy*) secara *real-time*. Objek penelitian ini adalah prototipe sistem pemantauan energi yang dibangun menggunakan sensor PZEM-004T, Wemos D1 dengan modul ESP8266, dan *dashboard* web yang dapat diakses melalui internet. Metode yang digunakan meliputi instalasi dua sensor daya: satu pada saluran utama untuk mengukur konsumsi energi dan satu lagi pada jalur arde untuk mengukur kehilangan energi, dengan hasil dikirim ke server untuk ditampilkan dalam antarmuka berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi sebesar 97,69%, dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 2,31% jika dibandingkan dengan dua unit meter konvensional, serta mampu mengidentifikasi rata-rata energi hilang sebesar 0,22 kWh per hari. Penelitian ini membuktikan bahwa sistem EMS yang dikembangkan dapat menjadi alat yang efisien dan fleksibel dalam memantau konsumsi dan kehilangan energi secara digital dan *real-time* (Muliadi et al., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Mohammadrezaei (2024) membahas penerapan desain *smart lighting*, dengan fokus pada penghematan energi di

lingkungan perumahan. Studi ini menyoroti keterbatasan penerapan sistem serupa di sektor perumahan serta mengidentifikasi kebutuhan akan sistem pencahayaan yang tidak hanya efisien secara energi, tetapi juga mendukung kenyamanan dan kesejahteraan pengguna. Penelitian ini merekomendasikan agar pengembangan di masa mendatang diarahkan pada penciptaan lingkungan yang mempertimbangkan aspek teknologi sekaligus faktor manusia, seperti kesehatan dan kepuasan penghuni.

Rangkuman dari berbagai penelitian di bidang ini yang telah dilakukan sebelumnya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti (Tahun)	Judul	Hasil
1	Ramdhani & Yuliana (2022)	<i>Smart Room Lighting System for Energy Efficiency In Indoor Environment</i>	<i>Smart Room Lighting System</i> berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) yang dilengkapi sensor cahaya LDR dan logika <i>Fuzzy Mamdani</i> untuk mengatur intensitas pencahayaan secara otomatis berdasarkan kondisi cahaya alami di dalam ruangan. Sistem ini mampu menyesuaikan nyala lampu secara dinamis melalui pembacaan dua sensor LDR yang kemudian diproses oleh <i>fuzzy logic</i> untuk mengatur tingkat kecerahan lampu (off, redup, terang).
2	Firdaus & Mulyana (2020).	<i>Smart Building Lighting System</i>	sistem kontrol pencahayaan berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) dengan menggunakan <i>Arduino Mega 2560</i> , sensor PIR, dan modul <i>ESP8266</i> yang terhubung ke aplikasi <i>Cayenne</i> . Sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian lampu secara otomatis maupun manual berdasarkan keberadaan aktivitas di dalam ruangan. Hasilnya menunjukkan sistem mampu mengontrol pencahayaan secara real-time dan jarak jauh
3	Muliadi et al. (2021)	<i>An IoT Based Power Consumption and Losses Monitoring Technique Applied for a Mini Scale Electrical Network</i>	Mengembangkan sistem pemantauan konsumsi dan kehilangan energi listrik berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) menggunakan sensor <i>PZEM-004T</i> . Objek dari penelitian ini adalah sistem instalasi listrik skala rumah tangga dengan tujuan memberikan pemantauan secara <i>real-time</i> terhadap energi yang digunakan dan energi yang hilang. Metode yang digunakan melibatkan pemasangan dua sensor, satu untuk mengukur konsumsi

			energi dan satu lagi untuk mendeteksi arus bocor sebagai indikasi kehilangan energi, dengan data dikirim ke server web melalui modul ESP8266 dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis web.
4	Mohammadrezaei, Ghasemi, Dongre, Gračanin, & Zhang, (2024)	<i>Systematic review of extended reality for smart built environments lighting design simulations</i>	Menekankan pentingnya efisiensi energi dan kenyamanan pengguna; menyarankan pendekatan holistik dalam pengembangan pencahayaan cerdas, khususnya di lingkungan non-perumahan.

Fokus pada penelitian ini adalah penerapan sistem *smart lighting* berbasis IoT pada prototipe gedung Fakultas UIN Malang dengan integrasi sensor cahaya, gerak, dan metode *Fuzzy Mamdani* sebagai sistem pengambilan keputusan otomatis. Pendekatan ini berbeda dari Ramdhani dan Yuliana (2022) yang hanya memanfaatkan sensor LDR untuk efisiensi energi di rumah tangga, serta Firdaus dan Mulyana (2020) yang tidak menerapkan logika *fuzzy*. Muliadi et al. (2021) berfokus pada sistem pemantauan konsumsi dan kehilangan energi listrik, sementara Mohammadrezaei (2022) lebih menekankan aspek desain *smart lighting* di bangunan.

2.2 *Internet of Things*

Internet of Things atau yang biasa dikenal dengan sebutan IoT merupakan objek-objek atau benda-benda yang didalamnya tertanam sensor, perangkat lunak, dan teknologi lainnya yang bertujuan untuk menghubungkan dan bertukar data dengan sistem lain melalui internet. IoT memiliki tantangan utama yaitu, dapat menghubungkan dunia fisik dan dunia informasi. Seperti mengolah data yang diperoleh dari interaksi pengguna dan alat yang digunakan. Alat yang digunakan biasanya memiliki sensor yang nantinya dapat mengirim data mentah fisik secara

real-time dan mengubahnya sesuai dengan format yang ditentukan, sehingga dapat mempermudah dalam pengolahan data (Suresh et.al , 2014).

Dalam penerapannya, *Internet of Things* juga dapat mengidentifikasi, mendeteksi, melacak, memonitoring objek dan memicu proses terkait, secara otomatis dan *real-time*, pengembangan dan penerapan teknologi lainnya yang membawa dampak besar pada masyarakat manajemen ekonomi, operasi produksi, sosial manajemen, bahkan kehidupan pribadi (Zhou et al., 2016).

Sejak awal dikenalnya internet pada tahun 1989, banyak kegiatan dilakukan dengan memanfaatkan internet. Pada tahun 1990, diciptakan perangkat pemanggang roti yang dapat dikendalikan melalui internet. Pada tahun 1994, Steve Mann menciptakan WearCam, dan pada tahun 1997, Paul Saffo memberikan penjelasan singkat pertama tentang sensor dan masa depan (Adani & Salsabil, 2019). Namun, istilah *Internet of Things* atau IoT mulai dikenalkan oleh Kevin Ashton di MIT dalam sebuah presentasinya pada tahun 1999.

Internet Of Things menggunakan beberapa teknologi yang secara garis besar digabungkan menjadi satu kesatuan, di antaranya sensor sebagai pembaca data, koneksi internet dengan beberapa macam topologi, *radio frequency identification* (RFID), *wireless sensor network* (WSN) dan teknologi yang terus akan bertambah sesuai dengan kebutuhan (Wang et.al, 2013).

2.3 *Smart lighting*

Smart Lighting atau pencahayaan cerdas merupakan salah satu penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam bidang manajemen energi, yang memungkinkan sistem pencahayaan dapat dikendalikan dan dikontrol secara

otomatis serta *real-time* melalui jaringan internet. Sistem ini menggunakan sensor, perangkat lunak, dan komponen elektronik lainnya untuk mendeteksi kondisi lingkungan atau aktivitas manusia, dan menyesuaikan intensitas pencahayaan sesuai kebutuhan. Tujuan utama dari *smart lighting* adalah untuk meningkatkan efisiensi energi dan memberikan kenyamanan bagi pengguna, dengan tetap mempertimbangkan aspek keamanan dan fungsionalitas sistem (Park et al., 2013).

2.4 Metode Logika *Fuzzy* Mamdani

Logika *fuzzy* telah menjadi teknologi kunci dalam pengembangan sistem penerangan pintar, terutama karena kemampuannya menangani ketidakpastian dan ketidaktepatan data. Salah satu metode utama dalam logika *fuzzy* adalah metode *Fuzzy* Mamdani, yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 (Bova, 2010). Metode ini berfungsi sebagai bagian dari *Fuzzy Inference System* yang berguna untuk menarik kesimpulan dalam situasi yang tidak pasti. Dalam prosesnya, metode Mamdani menggunakan himpunan *fuzzy* untuk memodelkan variabel *input* dan *output*, seperti "sedikit," "sedang," dan "banyak," dengan algoritma yang dapat dianalisis secara matematis (McNeill, 1994). Fase-fase penting dalam metode ini meliputi fuzzifikasi, penerapan aturan *fuzzy*, dan defuzzifikasi, yang memungkinkan sistem menangani ketidakpastian dengan baik.

Kemampuan logika *fuzzy* ini telah dimanfaatkan dalam pengembangan sistem pencahayaan pintar untuk rumah dan ruang publik. Logika *fuzzy* memungkinkan pencahayaan untuk menyesuaikan secara otomatis berdasarkan preferensi pengguna, waktu, hunian, dan ketersediaan cahaya alami. Pala dan Ozkan menekankan bahwa teknologi kecerdasan buatan seperti logika *fuzzy* banyak

digunakan dalam rumah pintar untuk mengotomatiskan pencahayaan dan pemanas, yang meningkatkan kenyamanan serta efisiensi energi (Pala & Ozkan, 2020). Integrasi logika *fuzzy* dengan *Internet of Things* (IoT) juga telah menghasilkan sistem pencahayaan jalan pintar yang dapat menyesuaikan pencahayaan sesuai dengan lalu lintas dan aktivitas pejalan kaki. Ini tidak hanya meningkatkan keselamatan tetapi juga menghemat energi dengan meredupkan lampu saat lalu lintas rendah (Eriyadi et al., 2021).

Dalam konteks pencahayaan multiwarna, logika *fuzzy* memungkinkan pengontrolan yang dinamis, memungkinkan sistem untuk menyesuaikan intensitas dan warna cahaya berdasarkan kondisi lingkungan dan preferensi pengguna. Mutua dan Mbuthia menjelaskan bahwa pengontrol logika *fuzzy* dapat menciptakan sistem pencahayaan yang tidak hanya estetis tetapi juga hemat energi (Mutua & Mbuthia, 2020). Contoh lainnya adalah sistem pencahayaan ruangan pintar yang dirancang oleh Ramadhani et al., yang menggunakan logika *fuzzy* untuk mencapai penghematan energi yang signifikan, mengurangi konsumsi daya hingga 93% (Ramadhani et al., 2022).

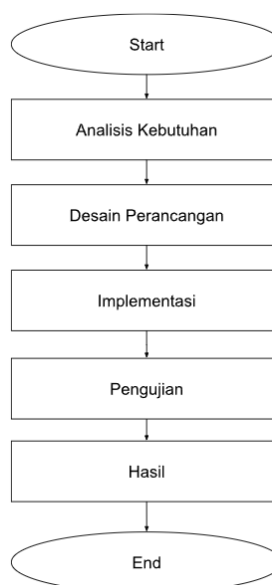
BAB III

DESAIN DAN PERANCANGAN SISTEM

Bab ini menyajikan proses desain dan perancangan sistem *smart lighting* yang menggunakan sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) dan PIR (*Passive Infrared*), serta menerapkan metode logika *fuzzy* Mamdani. Tahapan perancangan mencakup penyusunan alur penelitian, analisis kebutuhan, dan desain perancangan sistem. Seluruh proses dilakukan secara sistematis guna menghasilkan sistem yang adaptif, efisien, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian menggambarkan tahapan-tahapan yang dilakukan secara sistematis dalam pengembangan sistem. Penyusunan alur ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap langkah berjalan secara terstruktur dan mendukung pencapaian tujuan penelitian secara keseluruhan.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini akan memiliki alur seperti pada gambar 3.1. Untuk penjelasan lengkapnya sebagai berikut.

1. Tahap pertama dalam penelitian ini adalah analisis kebutuhan untuk sistem *smart lighting* yang akan dikembangkan. Ini mencakup identifikasi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak dalam membangun sistem smart lighting.
2. Setelah analisis kebutuhan, tahap selanjutnya adalah merancang sistem *smart lighting* berdasarkan hasil analisis tersebut. Ini mencakup perancangan arsitektur sistem, pemilihan komponen IoT yang sesuai, dan penentuan protokol komunikasi yang akan digunakan untuk menghubungkan perangkat-perangkat dalam sistem.
3. Tahap implementasi melibatkan pembangunan fisik dari sistem *smart lighting* berdasarkan desain yang telah dibuat sebelumnya. Ini termasuk pemasangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, dan konfigurasi jaringan untuk mengaktifkan komunikasi antar perangkat.
4. Setelah sistem *smart lighting* terimplementasi, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pengujian dapat mencakup uji fungsionalitas perangkat dan uji efektivitas sistem secara keseluruhan dalam menghemat konsumsi daya listrik penerangan.
5. Tahap terakhir dari alur penelitian ini adalah menganalisis hasil dari pengujian dan mengevaluasi kinerja sistem *smart lighting* yang telah dikembangkan. Ini mencakup mengevaluasi sejauh mana sistem memenuhi

kebutuhan awal, mengidentifikasi kekurangan atau masalah yang mungkin muncul, dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut dari sistem tersebut.

3.2 Analisis Kebutuhan

Tahap analisis kebutuhan dilakukan dengan menganalisis perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan dalam membangun sistem *smart lighting*. Berikut ini merupakan beberapa komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan dalam membangun sistem:

3.2.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

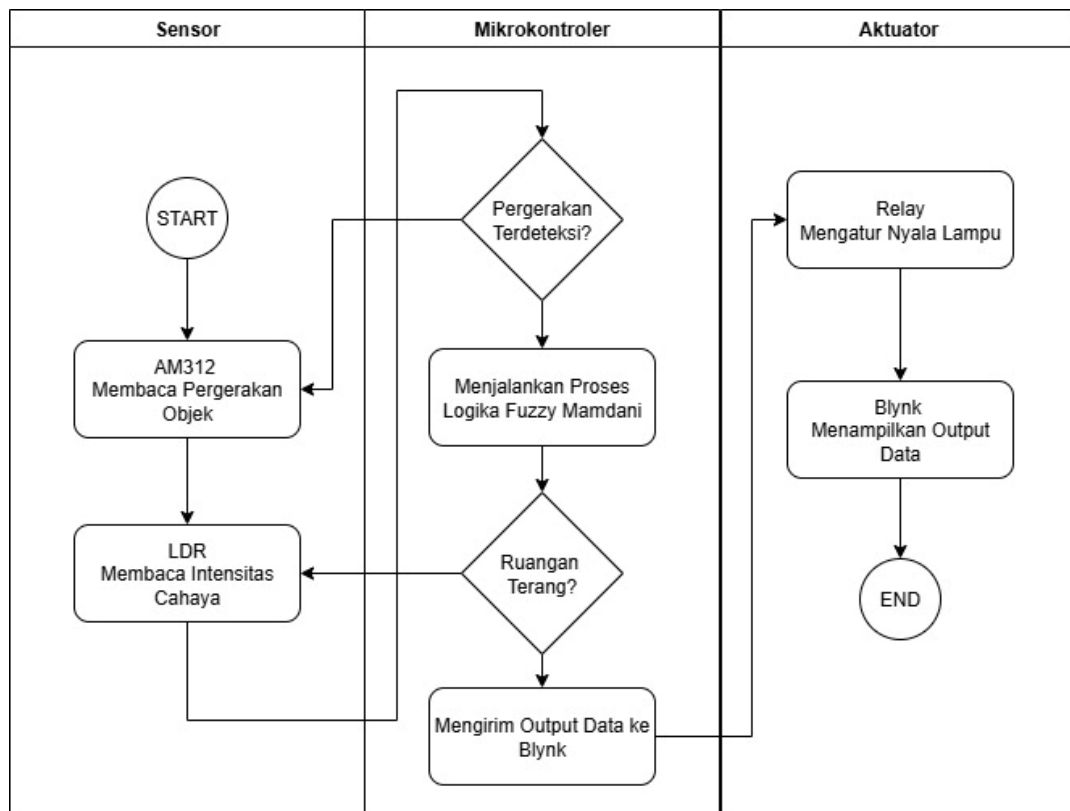
- 1 Laptop
- 2 LDR (*Light Dependent Resistor*)
- 3 Mini PIR(*Passive Infrared*) AM312 Sensor
- 4 Arduino UNO
- 5 Relay Module 5v 2 channel
- 6 Battery AA 1.5V
- 7 Lampu HPL (*High Power LED*) 1W
- 8 Kabel

3.2.2 Perangkat Lunak (*Software*)

- 1 Arduino IDE
- 2 *Blynk* App

3.3 Desain Perancangan Sistem

Pada penelitian ini, perancangan sistem dilakukan untuk membangun sebuah sistem *smart lighting* berbasis IoT yang mampu mengatur pencahayaan secara otomatis berdasarkan kondisi intensitas cahaya dan keberadaan manusia di dalam ruangan. Desain perancangan sistem mencakup beberapa tahapan utama, yaitu: (1) perancangan alur kerja sistem, (2) perancangan rangkaian alat elektronika, (3) perancangan prototipe miniatur ruangan, dan (4) penerapan metode logika *fuzzy* untuk pengambilan keputusan dalam pengaturan intensitas cahaya.

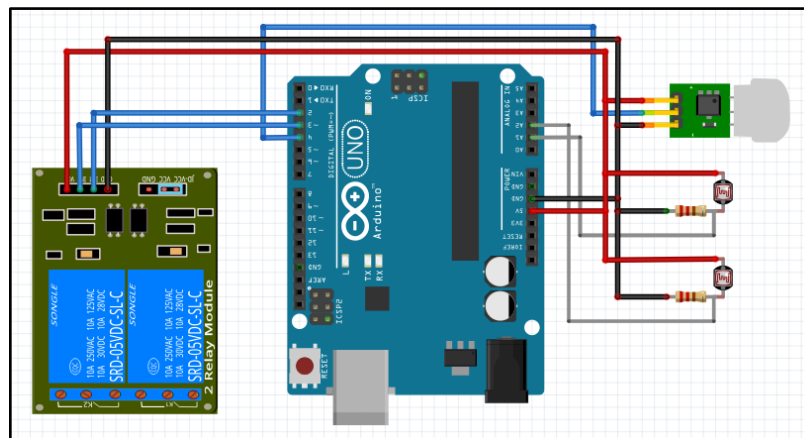


Gambar 3.2 Diagram Aktivitas Sistem *Smart Lighting*

Gambar 3.2 menunjukkan diagram aktivitas yang menggambarkan alur kerja sistem *smart lighting* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan penerapan logika *fuzzy* Mamdani. Proses dimulai dari tahap inisialisasi, di mana sensor

AM312 digunakan untuk membaca pergerakan objek di dalam ruangan, dan sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya. Data dari kedua sensor ini kemudian dikirim ke Arduino UNO sebagai mikrokontroler untuk diproses. Arduino UNO akan mengevaluasi apakah terdapat pergerakan yang terdeteksi. Jika pergerakan terdeteksi, sistem akan menjalankan proses logika *fuzzy* Mamdani untuk menentukan apakah ruangan dalam kondisi terang atau gelap. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, mikrokontroler mengirimkan output data ke aplikasi *Blynk* dan mengaktifkan aktuator berupa modul relay untuk mengatur kondisi nyala lampu sesuai kebutuhan pencahayaan. Aplikasi *Blynk* berperan dalam menampilkan informasi kondisi sistem secara real-time kepada pengguna.

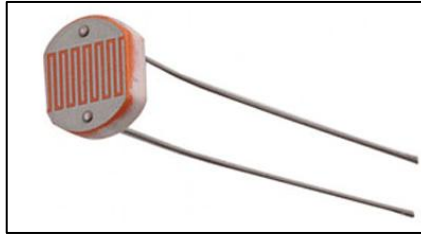
3.3.1 Perancangan Rangkaian Alat Elektronika



Gambar 3.3 Desain Rangkaian Alat Elektronika

Gambar 3.3 merupakan rangkaian alat elektronika dari sistem *smart lighting* berbasis Arduino UNO yang menghubungkan beberapa komponen utama yaitu sensor PIR (AM312), sensor cahaya (LDR), modul relay, dan Arduino UNO sebagai pusat kendali.

1. Sensor LDR

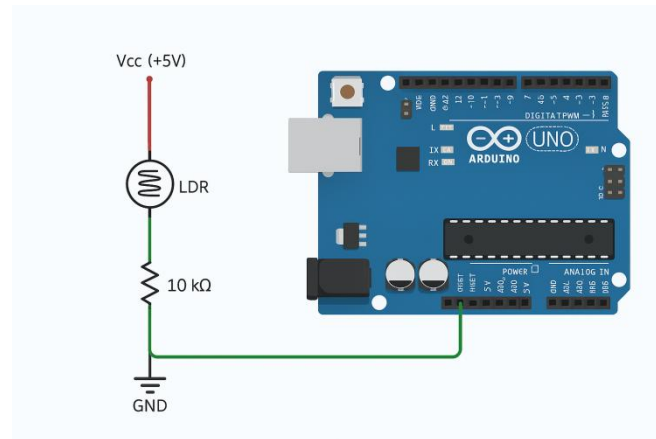


Gambar 3.4 Sensor LDR

Gambar 3.4 adalah Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya. Sensor ini memiliki karakteristik resistansi yang berubah seiring dengan perubahan tingkat pencahayaan. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima, maka resistansinya akan menurun; sebaliknya, pada kondisi gelap resistansinya meningkat. Perubahan resistansi ini tidak dapat langsung terbaca oleh mikrokontroler, sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi sinyal tegangan melalui rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*).

Dalam penelitian ini, LDR dipasangkan dengan resistor tetap bernilai $10\text{ k}\Omega$, yang disusun dalam konfigurasi pembagi tegangan. Pemilihan nilai resistor $10\text{ k}\Omega$ didasarkan pada hasil pengujian awal, dengan mempertimbangkan bahwa nilai tersebut memberikan rentang tegangan *output* yang proporsional terhadap variasi intensitas cahaya dalam kondisi lingkungan pengujian. Tegangan *output* dari pembagi tegangan ini dihubungkan ke pin analog pada mikrokontroler Arduino Uno, dan dikonversi menjadi sinyal digital oleh *Analog to Digital Converter* (ADC). Arduino Uno memiliki resolusi ADC sebesar 10-bit, yang berarti mampu mengubah tegangan antara 0 hingga 5 volt menjadi nilai digital antara 0 hingga 1023.

Konfigurasi rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Konfigurasi Rangkaian LDR

Tegangan *output* (V_{out}) yang masuk ke pin analog dapat dihitung dengan persamaan 3.1 berikut.

$$V_{out} = V_{cc} \times \frac{R}{R + R_{LDR}} \quad (3.1)$$

Keterangan:

V_{out} : tegangan keluaran dari pembagi tegangan (volt)

V_{cc} : tegangan suplai (biasanya 5V untuk Arduino Uno)

R : nilai resistor tetap, yaitu 10 kΩ

R_{LDR} : resistansi LDR yang berubah tergantung intensitas cahaya (ohm)

Dari persamaan tersebut, dapat diketahui bahwa saat LDR terkena cahaya terang (resistensi rendah), nilai V_{out} akan meningkat. Sebaliknya, saat kondisi gelap (resistensi tinggi), V_{out} akan menurun. Nilai tegangan ini kemudian dibaca oleh Arduino UNO dan diolah sebagai dasar pengambilan keputusan.

2. Sensor MiniPIR AM312



Gambar 3.6 Sensor AM312

Gambar 3.6 menunjukkan sensor AM312, yaitu sensor gerak berbasis teknologi *Passive Infrared* (PIR) yang dirancang untuk mendeteksi pergerakan objek hidup berdasarkan perubahan radiasi inframerah yang ditangkap dari lingkungan sekitarnya. Sensor ini memiliki tegangan operasi antara 3,3 hingga 5 volt dan menggunakan konsumsi daya rendah dengan arus *standby* kurang dari 50 μA . AM312 memiliki jangkauan deteksi efektif hingga 3 meter dengan sudut deteksi sekitar 100 derajat.

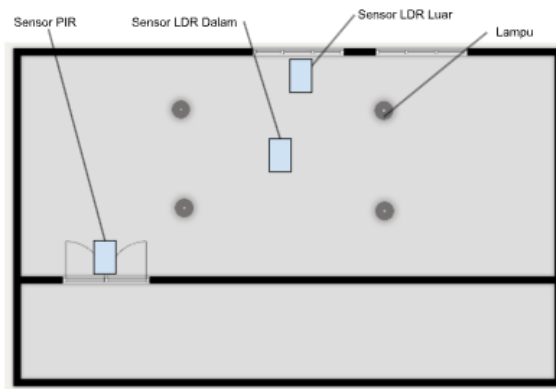
Dalam penelitian ini, sensor AM312 berperan sebagai pendeteksi keberadaan manusia di dalam ruangan, yang menjadi salah satu input utama dalam logika *fuzzy*. Sensor ini memiliki tiga pin koneksi, yaitu VCC, GND, dan OUT, yang masing-masing dihubungkan ke catu daya, ground, dan pin input digital pada Arduino UNO. Ketika mendeteksi gerakan, pin OUT akan mengeluarkan sinyal *HIGH* (logika 1) selama beberapa detik, yang kemudian digunakan untuk mengaktifkan aktuator lampu apabila kondisi intensitas cahaya lingkungan memenuhi kriteria yang telah ditentukan.

3. Arduino UNO

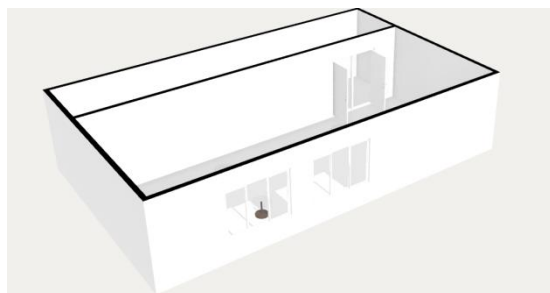
Arduino UNO memiliki peran sebagai mikrokontroler yang digunakan untuk melakukan pembacaan dari sensor, memberikan aksi pada aktuator, dan melakukan perhitungan *fuzzy*.

3.3.2 Perancangan Prototipe Ruangan Gedung

Pada penelitian ini diperlukan sebuah miniatur ruangan bangunan yang berfungsi sebagai media pengujian sistem *smart lighting* berbasis logika *fuzzy*. Miniatur bangunan dibuat dalam bentuk ruangan tertutup dengan satu pintu utama, dan dirancang menggunakan bahan dasar akrilik. Miniatur ini memiliki dimensi panjang 60 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 25 cm. Rancangan desain miniatur yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.7 dan gambar 3.8.



Gambar 3.7 Rancangan Prototipe Ruangan Tampak Atas



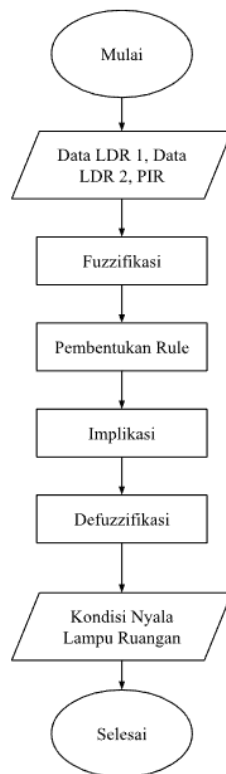
Gambar 3.8 Rancangan Prototipe Ruangan Tampak Samping

Pada Gambar 3.7 ditunjukkan tata letak komponen sistem dari tampak atas ruangan, yang terdiri dari empat buah lampu *High Power LED* (HPL) sebagai sumber pencahayaan, satu sensor PIR yang diletakkan dekat pintu masuk, satu sensor LDR dalam di tengah ruangan, serta satu sensor LDR luar yang diposisikan menghadap ke bagian luar ruangan. Penempatan komponen ini disesuaikan agar setiap sensor dapat menangkap kondisi lingkungan sesuai fungsinya secara optimal.

Pada gambar 3.8 ditampilkan tampak samping miniatur ruangan. Terlihat bahwa miniatur memiliki struktur ruang yang menyerupai kondisi nyata dengan bukaan pintu yang memungkinkan simulasi pergerakan objek. Posisi lampu dipasang di langit-langit miniatur untuk mensimulasikan pencahayaan ruangan. Sensor PIR diposisikan sedemikian rupa untuk mendeteksi pergerakan objek saat memasuki ruangan.

3.3.3 Perancangan Metode *Fuzzy Mamdani*

Metode *fuzzy Mamdani* digunakan sebagai logika pengendali dalam sistem *smart lighting* untuk menentukan tingkat pencahayaan berdasarkan data yang diterima dari sensor. Perancangan metode ini mencakup tahapan utama seperti fuzzifikasi, penerapan aturan *fuzzy (rule base)*, inferensi, dan defuzzifikasi. Setiap tahapan dirancang secara sistematis untuk memastikan bahwa pengambilan keputusan dapat dilakukan secara adaptif dan sesuai dengan kondisi lingkungan. Gambar 3.9 menggambarkan alur proses logika *fuzzy Mamdani* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.9 Flowchart *Fuzzy Mamdani*

1. Fuzzifikasi

Dalam proses fuzzifikasi, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya adalah variabel *fuzzy*, himpunan *fuzzy*, dan domain. Dari ketiga hal tersebut dapat diperoleh nilai keanggotaan *fuzzy* untuk tiap variabel.

Pada penelitian ini, variabel input terdiri dari nilai yang diperoleh dari dua buah sensor LDR yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya di lingkungan sekitar, serta satu sensor PIR yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan atau pergerakan manusia di dalam ruangan. Sementara itu, variabel output dari sistem adalah pengaturan pencahayaan lampu berdasarkan data yang diperoleh dari kedua sensor LDR dan sensor PIR tersebut. Dengan demikian, sistem logika *fuzzy* akan mengambil data dari sensor LDR dan PIR sebagai input, melakukan proses inferensi

berdasarkan aturan-aturan yang telah ditentukan, dan menghasilkan pengaturan pencahayaan yang sesuai untuk menciptakan kondisi pencahayaan yang optimal sesuai dengan kondisi lingkungan dan aktivitas di dalam ruangan.

a. Variabel *Input* Sensor LDR

Nilai variabel *input* sensor LDR diperoleh dari nilai ADC (*Analog-to-Digital Converter*) yang telah diubah menjadi nilai digital dan kemudian disesuaikan dengan nilai bit yang digunakan dalam mikrokontroler, yaitu 10 bit.

Persamaan 3.2 dapat digunakan untuk memperoleh konversi ADC dari rentang 0 - 1023.

$$\text{Resolusi Data} = (2^n - 1) \quad (3.2)$$

Di mana, variabel n adalah nilai bit pemrosesan data, sehingga diperoleh.

$$\text{Resolusi Data} = (2^{10} - 1) = 1023$$

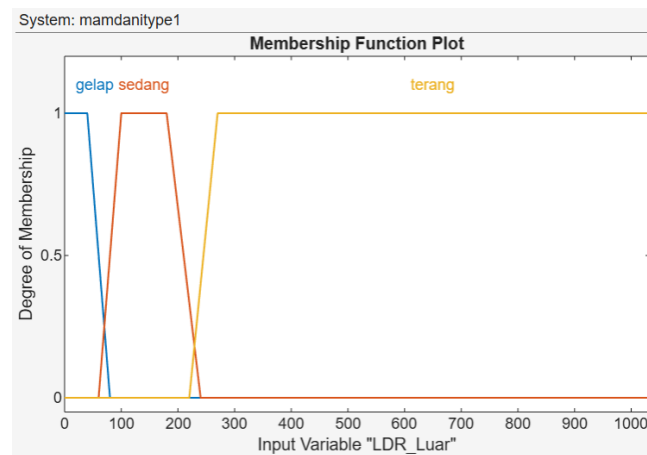
Berdasarkan hasil pembacaan sensor LDR dan resolusi data tersebut, ditetapkan domain *input fuzzy* pada rentang 0 hingga 1023. Penentuan fungsi keanggotaan dilakukan dengan memilih bentuk trapesium karena sifatnya yang sederhana, mudah dihitung, dan memberikan transisi nilai yang halus antar himpunan *fuzzy*. Fungsi ini dinilai sesuai untuk sistem *smart lighting* yang membutuhkan penyesuaian pencahayaan secara bertahap.

Parameter trapesium ditentukan melalui pengamatan terhadap kondisi pencahayaan nyata, seperti ketika seluruh lampu menyala, sebagian menyala, atau tidak menyala sama sekali. Berdasarkan hasil tersebut, ditetapkan tiga himpunan *fuzzy* untuk sensor LDR, yaitu Gelap, Redup, dan Terang, sebagaimana ditampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Keanggotaan LDR

No	Himpunan	Derajat Keanggotaan
1.	Gelap	0-80 {Trapezium: 0 0 40 80}
2.	Redup	60-240 {Trapezium: 60 100 180 240}
3.	Terang	220-1032 {Trapezium: 220 270 1032 1032}

Representasi grafik dari ketiga fungsi keanggotaan tersebut ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Representasi Fungsi Keanggotaan LDR

b. Variabel *Input* Sensor PIR

Sensor PIR pada umumnya memberikan *output* digital berupa sinyal digital biner yang menunjukkan apakah gerakan terdeteksi atau tidak. Ketika gerakan terdeteksi, sensor akan menghasilkan sinyal tinggi (*HIGH*), dan ketika tidak ada gerakan yang terdeteksi, sensor akan menghasilkan sinyal rendah (*LOW*).

Meskipun *output* sensor PIR bersifat digital, data tersebut tetap dapat difuzzifikasi dengan membentuk himpunan *fuzzy* yang merepresentasikan dua kondisi utama, yaitu "Tidak Ada Gerakan" dan "Terdeteksi Gerakan". Dengan demikian, sistem tetap dapat menggabungkan informasi dari sensor PIR ke dalam proses logika *fuzzy* Mamdani untuk menentukan keputusan secara lebih adaptif.

Derajat keanggotaan untuk masing-masing kondisi sensor PIR ditunjukkan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Variabel Keanggotaan Sensor PIR

No	Himpunan	Derajat Keanggotaan
1.	Tidak Ada Gerakan	0 {Trapeسيوم: 0 0 0 1}
2.	Terdeteksi Gerakan	1 {Trapeسيوم: 0 1 1 1}

c. Variabel *Output*

Kisaran nilai *output* yang digunakan dalam sistem ini berada pada rentang 0 hingga 100, yang merepresentasikan persentase tingkat terang dari lampu. Rentang ini kemudian dibagi ke dalam tiga kategori linguistik, yaitu Gelap, Redup, dan Terang, yang masing-masing didefinisikan melalui fungsi keanggotaan berbentuk trapesium.

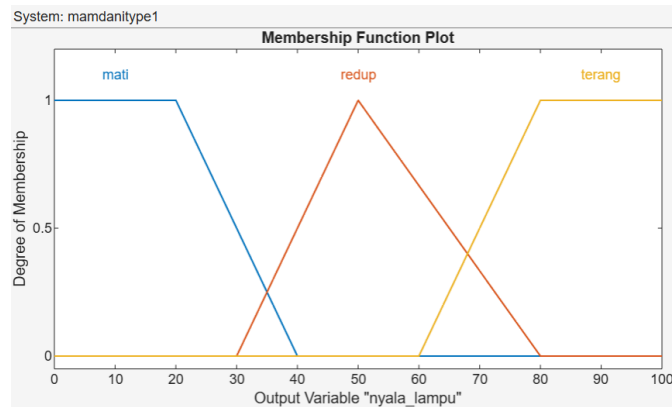
Kategori Gelap merepresentasikan kondisi ketika lampu dalam keadaan mati atau sangat minim cahaya, dengan rentang keanggotaan antara 0% hingga 40%. Untuk kondisi Redup, intensitas cahaya berada pada kisaran sedang, yaitu antara 30% hingga 70%. Sementara itu, kondisi Terang digunakan untuk mewakili intensitas maksimal cahaya, yaitu pada rentang 60% hingga 100%. Pemilihan fungsi trapesium pada *output* dilakukan untuk menciptakan transisi yang halus antar kondisi pencahayaan.

Nilai-nilai parameter trapesium untuk masing-masing kondisi *output* ditampilkan dalam tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variabel *Output*

No	Himpunan	Derajat Keanggotaan
1.	Gelap	0%-40% {Trapeسيوم: 0 0 20 40}
2.	Redup	30%-70% {Trapeسيوم: 30 50 50 70}
3.	Terang	60%-100% {Trapeسيوم: 60 80 100 100}

Representasi grafik dari fungsi keanggotaan *output* lampu dapat dilihat pada gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Representasi Fungsi Keanggotaan *Output* Lampu

2. Pembentukan Rule

Setelah proses fuzzifikasi, proses selanjutnya adalah pembentukan aturan-aturan *fuzzy*. Aturan-aturan tersebut digunakan untuk menyatakan keterkaitan antara *input* dan *output*, Jumlah variabel dan himpunannya. Untuk mempermudah menentukan jumlah serta outputnya, maka sebelumnya buat matriks untuk tiap himpunan LDR Luar, LDR Dalam, dan PIR seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pembentukan *Rule*

No	<i>Input</i>			<i>Output</i> Lampu
	LDR Luar	LDR Dalam	PIR	
1	Gelap	Gelap	Ada Gerakan	Terang
2	Gelap	Redup	Ada Gerakan	Terang
3	Redup	Gelap	Ada Gerakan	Terang
4	Redup	Redup	Ada Gerakan	Redup
5	Terang	Terang	Ada Gerakan	Mati
6	Terang	Terang	Tidak Ada Gerakan	Mati
7	Gelap	Gelap	Tidak Ada Gerakan	Mati
8	Gelap	Redup	Tidak Ada Gerakan	Mati
9	Redup	Gelap	Tidak Ada Gerakan	Mati
10	Redup	Redup	Tidak Ada Gerakan	Mati
11	Terang	Gelap	Ada Gerakan	Redup
12	Gelap	Terang	Ada Gerakan	Redup
13	Redup	Terang	Ada Gerakan	Redup
14	Terang	Redup	Ada Gerakan	Redup

3. Implikasi

Setelah memperoleh nilai keanggotaan dari tiap variabel, tahap berikutnya adalah aplikasi fungsi implikasi dengan menggunakan metode MIN menggunakan persamaan 3.3. Fungsi implikasi ini nantinya digunakan untuk mencari nilai Z .

$$\alpha_i = \mu A \cap B = \min(\mu A_i(x), \mu B_i(y)) \quad (3.3)$$

4. Defuzzifikasi

Setelah mendapatkan nilai, maka nilai defuzzifikasi bisa didapat dengan menghitung nilai Z dengan menggunakan persamaan 3.4.

$$Z = \frac{\sum x_i \cdot a_i}{\sum a_i}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (3.4)$$

3.4 Rencana Pengujian

Rencana pengujian dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem pencahayaan otomatis yang dikendalikan menggunakan logika *Fuzzy Mamdani*. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan output sistem berdasarkan *input* sensor dengan data referensi (*ground truth*) yang telah ditentukan sebelumnya. Evaluasi menggunakan metode *confusion matrix*, yang merupakan pendekatan umum dalam pengukuran performa sistem klasifikasi, dengan membandingkan hasil prediksi sistem terhadap label aktual. Dalam konteks sistem ini, *output* yang dihasilkan berupa tiga kategori kondisi lampu, yaitu: *OFF* : Lampu tidak menyala (mati), *REDUP* : Lampu menyala dengan intensitas rendah (redup), *ON* : Lampu menyala dengan intensitas penuh (terang).

3.4.1 Metode Pengambilan Data

Pengujian dilakukan dengan cara merekam pembacaan sensor LDR secara berkala setiap satu jam, dimulai pada pukul 07.00 WIB hingga 17.00 WIB, guna menangkap variasi pencahayaan alami sepanjang hari. Dua sensor LDR ditempatkan pada sisi yang berbeda dalam ruangan untuk merepresentasikan kondisi pencahayaan dari berbagai arah, seperti pada ruang kelas atau laboratorium.

Sementara itu, *input* dari sensor PIR dikondisikan secara manual untuk merepresentasikan keberadaan aktivitas manusia di dalam ruangan. Pengaturan ini dilakukan agar sistem dapat diuji dalam kondisi nyata yang mungkin terjadi dalam lingkungan institusi pendidikan.

3.4.2 Evaluasi *Output* Sistem

Setelah data *input* dikumpulkan, sistem *fuzzy* Mamdani dijalankan untuk menghasilkan *output* berdasarkan kombinasi nilai dari sensor LDR luar, LDR dalam, dan PIR. *Output* sistem kemudian dibandingkan dengan label referensi yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan aturan *fuzzy* yang dirancang. Perbandingan ini digunakan untuk mengevaluasi performa sistem dalam melakukan klasifikasi kondisi pencahayaan (Terang, Redup, dan Mati).

Hasil perbandingan tersebut disusun dalam bentuk *confusion matrix*, yang merepresentasikan distribusi prediksi benar dan salah untuk masing-masing kelas. *Confusion matrix* digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi serta jenis kesalahan klasifikasi yang terjadi, sehingga dapat menjadi dasar dalam menilai keandalan sistem. Struktur distribusi klasifikasi tersebut disajikan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 *Confussion Matrix*

	Output : Terang	Output : Redup	Output : Mati
Referensi : Terang	TP	FN	FN
Referensi : Redup	FP	TP	FN
Referensi : Mati	FP	FP	TN

Keterangan :

- a. **True Positives (TP)** merupakan jumlah data yang diklasifikasikan dengan benar sebagai kelas positif, misalnya: data aktual “Terang” diprediksi sebagai “Terang”.
- b. **False Positive (FP)** merupakan jumlah data dari kelas lain yang secara salah diklasifikasikan sebagai kelas positif, misalnya: data aktual “Redup” atau “Mati” diprediksi sebagai “Terang”.
- c. **False Negative (FN)** merupakan jumlah data dari suatu kelas positif yang secara salah diklasifikasikan sebagai kelas lain, misalnya: data aktual “Redup” diprediksi sebagai “Mati”.
- d. **True Negative (TN)** merupakan jumlah data yang bukan berasal dari kelas positif dan berhasil diklasifikasikan bukan sebagai kelas positif.

Akurasi sistem dihitung menggunakan persamaan 3.5, yang menunjukkan persentase data diprediksi benar oleh algoritma. Sebaliknya, kesalahan atau *misclassification rate* dihitung dengan persamaan 3.6, yang menunjukkan persentase prediksi salah.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{Total\ Data} \times 100\% \quad (3.5)$$

$$Misclassification\ Rate = \frac{FP + FN}{Total\ Data} \times 100\% \quad (3.6)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan yang mencakup implementasi sistem *smart lighting*, pengujian alat dan sistem, serta analisis hasil yang diperoleh

4.1 Implementasi Sistem *Smart Lighting*

Implementasi sistem *smart lighting* pada penelitian ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu implementasi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Kedua komponen ini dirancang dan dikembangkan secara terpadu untuk mewujudkan sistem pencahayaan cerdas yang adaptif terhadap kondisi lingkungan..

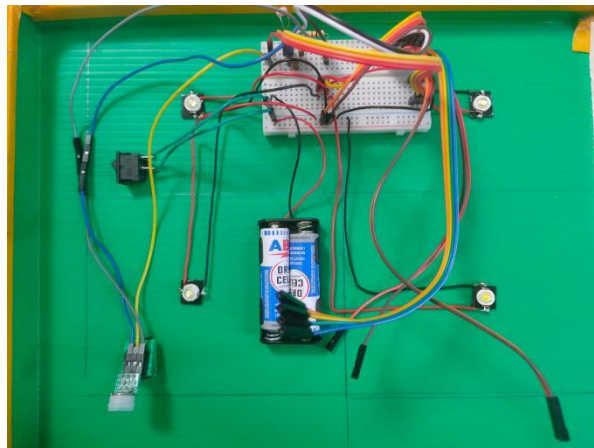
4.1.1 Hasil Implementasi *Hardware*

Langkah awal menyiapkan prototipe miniatur ruangan yang berfungsi sebagai objek simulasi. Prototipe ini digunakan untuk menguji respon sistem *smart lighting* terhadap kondisi pencahayaan dan keberadaan objek di dalam ruangan secara terkontrol.



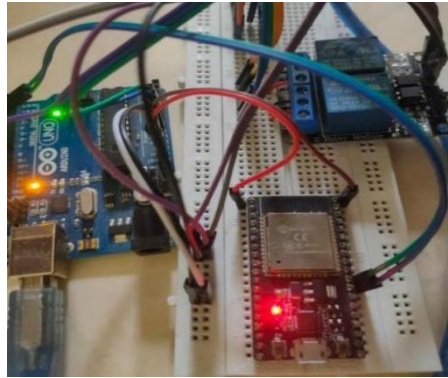
Gambar 4.1 Prototipe Ruangan

Prototipe ruangan ditunjukkan pada gambar 4.1. Prototipe ini berukuran 30 × 20 cm dan dirancang menyerupai kondisi nyata sebuah ruangan dalam gedung. Tujuannya adalah untuk mensimulasikan sistem pencahayaan otomatis dalam skala kecil yang dapat mewakili situasi sebenarnya. Ruangan ini dilengkapi dengan jendela kecil sebagai representasi sumber cahaya alami dari luar, serta area dalam ruangan tempat dipasangnya lampu dan sensor.



Gambar 4.2 Rangkaian Lampu dan Sensor Ruangan

Sistem pencahayaan pada penelitian ini menggunakan empat lampu HPL yang dipasang di langit-langit prototipe seperti pada gambar 4.2. Lampu-lampu ini diatur berdasarkan hasil pemrosesan logika *fuzzy* dalam tiga kondisi: mati, redup, atau terang, sesuai intensitas cahaya dan aktivitas ruangan. Untuk mendukung pengambilan keputusan, sistem dilengkapi dua sensor LDR dan satu sensor PIR. Sensor LDR luar membaca intensitas cahaya dari luar ruangan, sedangkan LDR dalam mengukur pencahayaan di dalam ruangan. Sensor PIR mendeteksi pergerakan dan keberadaan aktivitas di dalam ruangan. Ketiga sensor ini menjadi *input* utama dalam sistem *fuzzy*.

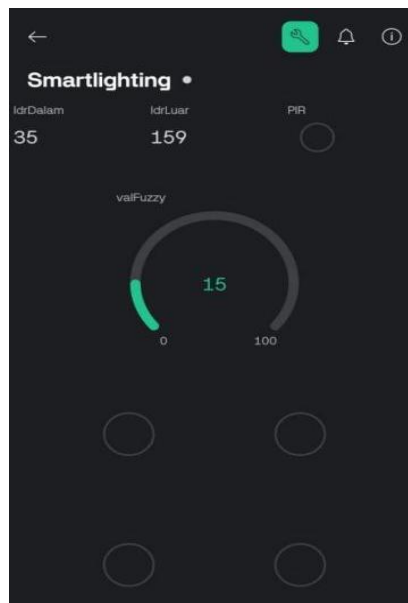


Gambar 4.3 Rangkaian Alat Elektronika

Seluruh komponen mulai dari sensor, *relay*, hingga modul komunikasi Wi-Fi terhubung ke mikrokontroler Arduino UNO, yang berfungsi sebagai unit pemroses utama sistem. Arduino UNO membaca data dari sensor, menjalankan algoritma *fuzzy logic*, dan memberikan sinyal kontrol kepada aktuator. Sistem ini juga dihubungkan ke aplikasi *Blynk* agar pengguna dapat memantau status lampu secara *real-time* melalui perangkat Android. Susunan lengkap rangkaian sistem ditampilkan pada gambar 4.3.

4.1.2 Tampilan Aplikasi *Blynk*

Aplikasi Blynk digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk memantau dan mengendalikan sistem *smart lighting* berbasis IoT. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat mengakses data intensitas cahaya dari sensor LDR, memantau status deteksi gerakan dari sensor PIR, serta mengetahui kondisi lampu—baik dalam keadaan terang, redup, maupun mati. Selain itu, aplikasi juga menyediakan fitur kontrol manual untuk menyesuaikan kondisi lampu sesuai kebutuhan. Dengan dukungan konektivitas internet, pengguna dapat mengakses sistem ini secara jarak jauh melalui perangkat Android.



Gambar 4.4 Tampilan Aplikasi *Blynk*

Antarmuka aplikasi Blynk pada gambar 4.4 menampilkan berbagai komponen visual seperti indikator pembacaan sensor, status sistem, dan tombol pengendali lampu. Tampilan ini dirancang agar informatif dan mudah digunakan, sehingga mendukung fungsionalitas sistem secara *real-time*.

4.1.3 Hasil Implementasi *Fuzzy Mamdani* pada Mikrokontroler

Implementasi logika *fuzzy Mamdani* pada penelitian ini diintegrasikan ke dalam mikrokontroler untuk mengatur tingkat pencahayaan secara otomatis berdasarkan data sensor. Berikut ini merupakan *pseudocode* yang menggambarkan alur proses *fuzzy Mamdani* yang diterapkan pada sistem:

A. Fuzzifikasi

Tahapan Fuzzifikasi dimulai dengan membaca nilai sensor cahaya sebagai *input* sistem, kemudian *input* ini dimasukkan ke dalam sistem *fuzzy* untuk dilakukan proses fuzzifikasi, yaitu proses mengubah nilai *input crisp* menjadi derajat

keanggotaan (μ) berdasarkan kurva keanggotaan (gelap, redup, terang) yang telah ditentukan sebelumnya. Adapun implementasi fuzzifikasi pada sistem ditunjukkan pada gambar 4.5.

```

BEGIN Fuzzification Process

  INPUT:
    ldrValueIn  $\leftarrow$  nilai dari sensor LDR dalam ruangan (misal:
110)
    ldrValueOut  $\leftarrow$  nilai dari sensor LDR luar ruangan (misal:
250)

  STEP 1: Set nilai input ke sistem fuzzy
    fuzzy.setInput(1, ldrValueIn)
    fuzzy.setInput(2, ldrValueOut)

  STEP 2: Fuzzify input (proses mencari derajat keanggotaan)
    fuzzy.fuzzify()

  // Proses internal:
  FOR setiap input (LDR1 dan LDR2)
    DO:
      Ambil nilai input (misalnya 110 atau 250)

      PERIKSA ke dalam masing-masing fuzzy set (gelap, redup,
terang):
        Hitung derajat keanggotaan ( $\mu$ ) menggunakan fungsi
segitiga atau trapezoid

          CONTOH (untuk LDR1 = 110):
             $\mu_{gelap1}$   $\leftarrow$  hitung_keanggotaan(110,
range_gelap1)  $\rightarrow$  hasil = 0.0
             $\mu_{redup1}$   $\leftarrow$  hitung_keanggotaan(110,
range_redup1)  $\rightarrow$  hasil = 0.8
             $\mu_{terang1}$   $\leftarrow$  hitung_keanggotaan(110,
range_terang1)  $\rightarrow$  hasil = 0.0

          CONTOH (untuk LDR2 = 250):
             $\mu_{gelap2}$   $\leftarrow$  hitung_keanggotaan(250,
range_gelap2)  $\rightarrow$  hasil = 0.0
             $\mu_{redup2}$   $\leftarrow$  hitung_keanggotaan(250,
range_redup2)  $\rightarrow$  hasil = 0.3
             $\mu_{terang2}$   $\leftarrow$  hitung_keanggotaan(250,
range_terang2)  $\rightarrow$  hasil = 0.6

      SIMPAN hasil  $\mu$  ke memori sistem fuzzy

END Fuzzification Process

```

Gambar 4.5 Pseudocode Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi yang ditunjukkan pada *pseudocode* gambar 4.5 memiliki beberapa tahap. Untuk masing-masing *input*, sistem menghitung nilai keanggotaan terhadap setiap himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi trapesium, yang menghasilkan nilai antara 0 hingga 1. Contohnya, jika nilai LDR dalam ruangan adalah 110, maka memiliki derajat keanggotaan 0.8 pada himpunan "redup", sementara pada himpunan lainnya bernilai nol. Nilai keanggotaan ini kemudian disimpan sebagai basis untuk tahap inferensi. Proses ini memungkinkan sistem untuk menginterpretasikan *input* sensor ke dalam format linguistik yang dapat diproses lebih lanjut dalam pengambilan keputusan.

1. Inferensi

Proses inferensi disini dimulai setelah nilai derajat keanggotaan tersedia. Sebagai ilustrasi, input yang diperoleh dari dua sensor pencahayaan berupa nilai derajat keanggotaan terhadap tiga kondisi pencahayaan: gelap, redup, dan terang. Misalnya, nilai untuk sensor pertama adalah $\mu_{gelap1} = 0.0$, $\mu_{redup1} = 0.8$, dan $\mu_{terang1} = 0.0$, sementara untuk sensor kedua adalah $\mu_{gelap2} = 0.0$, $\mu_{redup2} = 0.3$, dan $\mu_{terang2} = 0.6$.

Selanjutnya, sistem menerapkan *fuzzy rules* yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap aturan dievaluasi menggunakan operator logika *fuzzy*, dalam hal ini operator AND yang diimplementasikan dengan fungsi minimum (MIN) mengikuti model Mamdani. Sebagai contoh, aturan 5 berbunyi "IF redup2 AND redup1 THEN lampuSedang", yang menghasilkan nilai minimum dari μ_{redup2} dan μ_{redup1} , yaitu $\text{MIN}(0.3, 0.8) = 0.3$. Aturan lain, seperti aturan 8: "IF terang2 AND redup1 THEN lampuMati", menghasilkan nilai $\text{MIN}(0.6, 0.8) = 0.6$.

Adapun *pseudocode* tahapan inferensi ditampilkan pada gambar 4.6.

```

BEGIN Inference Process

INPUT:
  Semua nilai  $\mu$  (derajat keanggotaan) dari proses fuzzifikasi

CONTOH NILAI:
   $\mu_{gelap1}$    = 0.0
   $\mu_{redup1}$   = 0.8
   $\mu_{terang1}$  = 0.0

   $\mu_{gelap2}$    = 0.0
   $\mu_{redup2}$   = 0.3
   $\mu_{terang2}$  = 0.6

RULES:
  Contoh Rule 5:
    IF redup2 AND redup1 THEN lampuSedang
    => nilai rule = MIN( $\mu_{redup2}$ ,  $\mu_{redup1}$ ) = MIN(0.3, 0.8)
= 0.3

  Contoh Rule 8:
    IF terang2 AND redup1 THEN lampuMati
    => nilai rule = MIN(0.6, 0.8) = 0.6

LANGKAH:
  FOR setiap rule fuzzy
    - Evaluasi kondisi (AND  $\rightarrow$  ambil nilai minimum  $\mu$  input)
    - Hasil  $\rightarrow$  derajat aktivasi untuk output fuzzy tertentu

OUTPUT:
  Daftar output yang aktif + nilai aktivasinya
  CONTOH:
    lampuMati aktif dengan  $\mu$  = 0.6
    lampuSedang aktif dengan  $\mu$  = 0.3

END Inference Process

```

Gambar 4.6 *Pseudocode* Inherensi

Proses inferensi dilakukan juga terhadap seluruh aturan *fuzzy* yang aktif. Setiap aturan memberikan hasil berupa derajat aktivasi dari kondisi *output*, misalnya *output* "lampuMati" dengan nilai 0.6 dan "lampuSedang" dengan nilai 0.3. Nilai-nilai ini akan digunakan pada tahap selanjutnya, yaitu proses defuzzifikasi, untuk menentukan besaran aktual *output* sistem.

2. Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi bertujuan untuk mengubah hasil inferensi *fuzzy*, yang berupa nilai linguistik seperti lampuMati, lampuSedang, dan lampuTinggi, menjadi *output* numerik (*crisp*) yang dapat digunakan oleh sistem untuk mengatur intensitas pencahayaan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Center of Gravity* (COG), yaitu pendekatan yang menghitung nilai tengah dari distribusi *output fuzzy* berdasarkan derajat keanggotaannya (μ). Adapun *pseudocode* tahapan defuzzifikasi ditampilkan pada gambar 4.7.

```
BEGIN Defuzzification Process

TUJUAN:
    Mengubah hasil fuzzy (lampuMati, Sedang, Tinggi) menjadi
    angka output nyata (misalnya 0-100)

CONTOH:
    lampuMati    → aktif  $\mu = 0.6$ 
    lampuSedang → aktif  $\mu = 0.3$ 

GUNAKAN: Metode Center of Gravity (COG)

FOR setiap output fuzzy set (yang aktif):
    - Ambil range output (misal lampuMati = [0, 0, 20, 40])
    - Hitung titik tengah area aktif berdasarkan  $\mu$ 
    - Hitung kontribusi ( $\mu \times$  nilai tengah)

    CONTOH:
        lampuMati:  $\mu = 0.6$ , nilai tengah =  $(20+40)/2 = 30 \rightarrow$ 
        kontribusi =  $0.6 \times 30 = 18$ 
        lampuSedang:  $\mu = 0.3$ , nilai tengah =  $(50)$  → kontribusi =
         $0.3 \times 50 = 15$ 

    TOTAL = jumlah semua kontribusi =  $18 + 15 = 33$ 
    NORMALISASI = jumlah semua  $\mu = 0.6 + 0.3 = 0.9$ 

    NILAI OUTPUT FINAL:
        output_crisp =  $33 / 0.9 = 36.67$ 

    SIMPAN output_crisp ke variabel lampuOutput

END Defuzzification Process
```

Gambar 4.7 *Pseudocode* Defuzzifikasi

Setiap himpunan *fuzzy* yang aktif akan diolah dengan mengambil nilai rata-rata dari rentang *output* yang didefinisikan, kemudian dikalikan dengan derajat keanggotaannya untuk menghasilkan kontribusi numerik. Misalnya, jika lampuMati memiliki rentang [0, 0, 20, 40] dan μ sebesar 0.6, maka nilai kontribusi dihitung dari rata-rata titik tengah dikalikan dengan μ . Setelah semua kontribusi dihitung, nilai akhir *output* diperoleh dengan menjumlahkan seluruh kontribusi dan kemudian dinormalisasi dengan jumlah total derajat keanggotaan. Hasil akhir dari proses ini berupa nilai *output* (dalam contoh: 36.67), yang kemudian disimpan dalam variabel lampuOutput dan digunakan untuk menentukan intensitas nyala lampu secara aktual.

4.2 Hasil Pengujian Sistem *Smart Lighting*

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem *smart lighting* yang dikembangkan, meliputi pengujian sensor, pengujian logika *fuzzy* serta evaluasi akurasi menggunakan metode *Confusion Matrix*. Pengujian bertujuan memastikan bahwa sistem mampu beroperasi sesuai dengan fungsi perancangan, yaitu mengatur pencahayaan secara otomatis berdasarkan kondisi intensitas cahaya dan keberadaan manusia di dalam ruangan. Berikut penjelasannya.

4.2.1 Hasil Pengujian Sensor LDR

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor LDR berfungsi dengan baik dalam mendeteksi perubahan intensitas cahaya serta untuk memperoleh data yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan batas nilai terang dan redup pada sistem. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor LDR

No	Kondisi Pencahayaan Ruangan	Rata-Rata Nilai ADC
1	Lampu Menyala Terang	85
2	Lampu Menyala Sebagian	65
3	Lampu Mati	35

4.2.2 Hasil Pengujian Sensor PIR

Tujuan pengujian sensor PIR adalah untuk memastikan fungsinya dalam mendeteksi pergerakan sebagai *input* sistem pencahayaan otomatis.

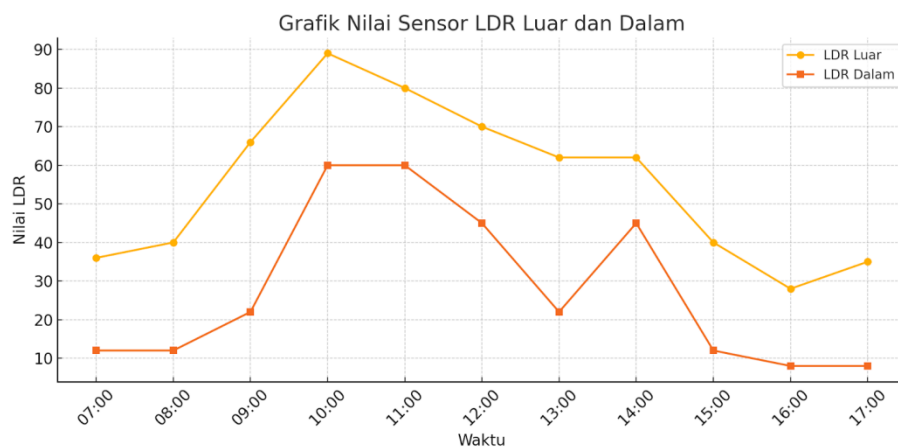
Pada tabel 4.2 ditampilkan hasil pengujian sensor PIR AM312 yang merangkum tingkat keberhasilan sensor dalam mendeteksi keberadaan object berdasarkan jarak.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor PIR

Jarak (cm)	Waktu Respons Rata-rata (ms)	Waktu Respons Minimum (ms)
10	250	200
20	270	220
30	310	250

4.2.3 Pengujian Logika Fuzzy Mamdani

Pengamatan dilakukan pada tanggal 21 Juni 2025 di ruang terbuka yang berada di jalan Puncak Cengkeh, Lowokwaru, Kota Malang.



Gambar 4.8 Grafik Data Pengamatan Output LDR

Pada gambar 4.8 menyajikan grafik hasil pengamatan data *output* dari sensor LDR. Grafik tersebut menunjukkan perubahan intensitas pencahayaan yang terdeteksi baik di dalam maupun di luar ruangan. Data direkam setiap satu jam dan digunakan sebagai *input* dalam perhitungan logika *fuzzy* Mamdani untuk menentukan status nyala lampu secara otomatis di dalam ruangan.

Data yang diperoleh dari skenario pengujian tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Logika *Fuzzy*

No	Waktu	LDR Luar		LDR Dala		PIR	Kondisi Aktual Lampu	Prediksi <i>Fuzzy</i>	Ket
		Nilai	Kondisi	Nilai	Kondisi				
1	07:00	36	Gelap	12	Gelap	1	Terang	Terang	TP
2	08:00	40	Gelap	12	Gelap	0	Mati	Mati	TN
3	09:00	66	Redup	22	Gelap	1	Terang	Terang	TP
4	10:00	89	Redup	60	Redup	1	Mati	Redup	FN
5	11:00	70	Redup	60	Redup	0	Mati	Mati	TN
6	12:00	70	Redup	45	Gelap	1	Redup	Terang	FN
7	13:00	62	Redup	12	Gelap	1	Terang	Terang	TP
8	14:00	62	Redup	45	Gelap	0	Mati	Mati	TN
9	15:00	40	Gelap	12	Gelap	1	Terang	Terang	TP
10	16:00	28	Gelap	8	Gelap	1	Terang	Terang	TP
11	17:00	35	Gelap	8	Gelap	0	Mati	Mati	TN

Dari data di atas, dapat dihitung nilai akurasi dan *error* menggunakan *Confusion matrix* sebagai berikut,

$$Accuracy = \frac{5 + 4}{11} \times 100\% = 81,82\%$$

$$Misclassification Rate = \frac{0 + 2}{11} \times 100\% = 18,18\%$$

Perhitungan akurasi menggunakan metode *Confusion Matrix* dari data di atas menunjukkan bahwa, sistem *smart lighting* ini memiliki tingkat akurasi sebesar 81,82%, yang berarti sebagian besar prediksi kondisi lampu oleh sistem sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Namun, masih terdapat tingkat kesalahan

sebesar 18,18% yang menunjukkan adanya beberapa kondisi yang tidak terprediksi dengan tepat, khususnya dalam membedakan kondisi "Mati" dan "Redup".

4.3 Pembahasan

Pada bagian ini disajikan analisis terhadap hasil pengujian sistem *smart lighting* yang telah dikembangkan. Pembahasan difokuskan pada dua aspek utama, yaitu efisiensi konsumsi energi listrik dan integrasi nilai-nilai Islam dalam pengelolaan sumber daya. Analisis dilakukan berdasarkan data sensor, kondisi aktual lampu, serta perbandingan antara sistem konvensional dan sistem otomatis berbasis *fuzzy logic*.

4.3.1 Konsumsi Energi

Sistem pencahayaan ini terdiri dari empat buah lampu HPL (*High Power LED*) masing-masing berdaya 1 *Watt*, sehingga total daya maksimum yang dapat dikonsumsi apabila seluruh lampu menyala secara bersamaan adalah 4 *Watt*. Sistem dilengkapi dengan dua buah sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya luar dan dalam, serta satu sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan manusia. Berdasarkan data sensor tersebut, sistem logika *fuzzy* menentukan tingkat pencahayaan yang dibutuhkan: Terang (4 W), Redup (2 W), atau Mati (0 W).

Pengujian dilakukan mulai pukul 07.00 hingga 17.00 WIB dengan interval pencatatan setiap satu jam. Hasil pengujian serta estimasi konsumsi energi berdasarkan kondisi pencahayaan ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisa Konsumsi Energi

No	Waktu	LDR Luar		LDR Dalam		PIR	Kondisi Aktual Lampu	Konsumsi Energi (Wh)
		Nilai	Kondisi	Nilai	Kondisi			
1	07:00	36	Gelap	12	Gelap	1	Terang	4
2	08:00	40	Gelap	12	Gelap	0	Mati	0
3	09:00	66	Redup	22	Gelap	1	Terang	4
4	10:00	89	Redup	60	Redup	1	Mati	0
5	11:00	70	Redup	60	Redup	0	Mati	0
6	12:00	70	Redup	45	Gelap	1	Redup	2
7	13:00	62	Redup	12	Gelap	1	Terang	4
8	14:00	62	Redup	45	Gelap	0	Mati	0
9	15:00	40	Gelap	12	Gelap	1	Terang	4
10	16:00	28	Gelap	8	Gelap	1	Terang	4
11	17:00	35	Gelap	8	Gelap	0	Mati	0
Total Energi								22

Energi listrik yang dikonsumsi dihitung menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \quad (4.1)$$

Keterangan:

E : energi listrik (Wh)

P : daya lampu (W)

t : durasi nyala (jam)

Karena setiap pencatatan dilakukan per jam, maka nilai $t = 1$ untuk masing-masing baris dalam tabel.

Tabel 4.5 Perbandingan Konsumsi Energi

Parameter	Sistem Konvensional	Sistem <i>Smart Lighting</i>
Total Energi (Wh)	44 Wh	22 Wh
Total Waktu Nyala (menit)	660 menit	360 menit
Rata-rata Daya (W)	4 W	2 W
Efisiensi Energi (%)	-	50%

Sebagai pembandingan, jika sistem pencahayaan dinyalakan secara konvensional (tanpa kontrol otomatis), seluruh lampu akan menyala selama 11 jam penuh, menghasilkan konsumsi energi sebesar 44 Wh. Sedangkan sistem *smart lighting* hanya mengkonsumsi total energi sebesar 22 Wh.

Dengan demikian, efisiensi energi yang dihasilkan oleh sistem dapat dihitung dengan rumus:

$$Efisiensi = \frac{44 - 22}{44} \times 100\% = 50\%$$

Dari hasil perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem *smart lighting* mampu menghemat konsumsi energi hingga 50% dibandingkan sistem pencahayaan konvensional. Penghematan ini dicapai berkat pengendalian otomatis berdasarkan data sensor lingkungan dan keberadaan manusia, sehingga lampu hanya menyala saat dibutuhkan.

4.3.2 Integrasi Islam

Penelitian ini mengembangkan sistem *smart lighting* untuk mengatur nyala lampu secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya dan keberadaan manusia. Sistem ini bertujuan untuk menghemat konsumsi energi dan meminimalkan pemborosan listrik harian. Prinsip penghematan ini selaras dengan ajaran Islam yang mendorong efisiensi dan melarang perilaku berlebih-lebihan (*israf*).

Sebagaimana difirmankan Allah SWT:

يٰۤاَيُّهَا اٰدَمُ خُذْ وَاٰزِجَتَكَ مِمَّا عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلُوْا وَاشْرَبُوْا وَلَا تُسْرِفُوْا اِنَّهٗ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِيْنَ ﴿٣١﴾

“Dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan.” (Q.S. Al-A’raf: 31)

Dalam tafsir Ibnu Katsir dijelaskan bahwa ayat ini menegaskan pentingnya bersikap seimbang dalam menggunakan nikmat Allah, baik dalam makan, minum, maupun sumber daya lainnya. Penggunaan energi listrik yang berlebihan, khususnya ketika tidak dibutuhkan, termasuk dalam kategori *israf* yang dilarang.

Sistem *smart lighting* yang dikembangkan menjadi bentuk nyata dari upaya penerapan prinsip ini, dengan menyalakan lampu hanya ketika intensitas cahaya rendah dan ada keberadaan manusia (Ibnu Katsir, 2000).

Selain itu, konsep manusia sebagai khalifah di bumi menuntut adanya tanggung jawab ekologis dalam penggunaan teknologi:

هُوَ الَّذِي جَعَلَكُمْ خَلَائِفَ فِي الْأَرْضِ فَمَنْ كَفَرَ فَعَلَيْهِ كُفْرُهُ ۖ وَلَا يَرِيدُ الْكَافِرِينَ كُفْرُهُمْ عِنْدَ رَبِّهِمْ إِلَّا مَقْتًا وَلَا يَرِيدُ الْكَافِرِينَ كُفْرُهُمْ إِلَّا خَسَارًا ﴿٣٩﴾

“Dialah yang menjadikan kamu sebagai khalifah-khalifah di bumi. Siapa yang kufur, (akibat) kekufurannya akan menimpa dirinya sendiri. Kekufuran orang-orang kafir itu hanya akan menambah kemurkaan di sisi Tuhan mereka. Kekufuran orang-orang kafir itu juga hanya akan menambah kerugian mereka..” (Q.S. Al-Fathir: 39).

Menurut Tafsir Al-Muyassar, ayat ini menyatakan bahwa manusia diberi amanah untuk mengelola bumi secara bijaksana. Maka dari itu, pengembangan teknologi seperti *smart lighting* bukan sekadar pencapaian teknis, tetapi juga bentuk amanah dalam memelihara ciptaan Allah dengan mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan (Al-Muyassar, 2007).

Lebih jauh, tujuan dari pengembangan sistem ini juga mencerminkan semangat memberi manfaat bagi umat manusia, sebagaimana disabdakan Rasulullah SAW:

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya.” (HR. al-Mu’jam al-Ausath, no. 5787; dinilai hasan oleh al-Albani dalam Shahih al-Jami’, no. 3289).

Hadis ini menunjukkan bahwa setiap ilmu dan keterampilan yang dimiliki oleh seorang muslim semestinya diarahkan untuk memberikan kebaikan. Maka,

pemanfaatan teknologi dalam bentuk sistem otomatisasi hemat energi adalah salah satu bentuk implementasi nilai manfaat tersebut dalam konteks kontemporer (al-Albani, 1988).

Dengan demikian, integrasi nilai-nilai Islam dalam penelitian ini tercermin melalui penerapan prinsip efisiensi, tanggung jawab ekologis, dan penggunaan akal untuk kemaslahatan. Sistem *smart lighting* yang dikembangkan tidak hanya menjadi solusi teknologi, tetapi juga bentuk pengamalan nilai-nilai Islam dalam menghadapi tantangan modern.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sistem *smart lighting* untuk studi kasus ruangan gedung fakultas UIN Malang telah dilakukan. Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *smart lighting* dengan metode *fuzzy* Mamdani mampu mengatur pencahayaan secara otomatis dan efektif dalam meningkatkan efisiensi energi pada sebuah prototipe ruangan gedung fakultas. Sistem ini bekerja dengan memproses data intensitas cahaya dari sensor LDR dan keberadaan objek dari sensor PIR untuk menentukan kondisi pencahayaan yang sesuai. Evaluasi kinerja menggunakan metode *Confusion Matrix* menunjukkan bahwa dari 11 skenario pengujian diperoleh 5 data *True Positive* (TP), 4 *True Negative* (TN), dan 2 *False Negative* (FN), tanpa ditemukan *False Positive* (FP), sehingga tingkat akurasi sistem mencapai 81,82% dengan tingkat kesalahan sebesar 18,18%. Kesalahan tersebut umumnya terjadi pada kondisi pencahayaan redup dan mati, yang memiliki rentang nilai input yang berdekatan dan dapat menimbulkan ambiguitas dalam proses *defuzzifikasi*. Pengujian efisiensi energi menunjukkan bahwa sistem otomatis hanya mengonsumsi energi sebesar 22 Wh dalam satu hari, sedangkan sistem pencahayaan konvensional diperkirakan mengonsumsi 44 Wh, sehingga sistem menghasilkan efisiensi energi sebesar 50%. Hasil ini mengindikasikan bahwa penerapan logika *fuzzy* pada sistem pencahayaan otomatis mampu mengurangi pemborosan energi secara signifikan.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini, Penulis menyadari terdapat beberapa keterbatasan dalam pengembangan sistem *smart lighting* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan metode *fuzzy* Mamdani yang perlu dipertimbangkan untuk mencapai hasil yang lebih optimal di masa mendatang. Beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya antara lain:

1. Dari segi akurasi, sistem masih mengalami kesalahan klasifikasi pada kondisi pencahayaan redup dan mati. Hal ini dapat diatasi dengan memperbaiki rentang nilai keanggotaan *fuzzy*, atau menambahkan parameter tambahan seperti waktu, suhu, atau kelembapan agar proses defuzzifikasi menjadi lebih presisi.
2. Jumlah skenario pengujian yang terbatas perlu diperluas baik dari sisi durasi waktu maupun variasi kondisi pencahayaan. Pengujian dalam jangka waktu yang lebih lama serta pada lingkungan dengan intensitas cahaya alami yang lebih beragam akan memberikan hasil yang lebih representatif.
3. Sistem ini belum diintegrasikan dengan platform manajemen gedung secara keseluruhan. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan sistem *smart lighting* agar dapat terhubung dengan sistem otomatisasi lainnya untuk mendukung konsep bangunan cerdas (*smart building*) secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adani, F., & Salsabil, S. (2019). Internet of things: Sejarah teknologi dan penerapannya. *Isu Teknologi STT Mandala*, 14(2), 92–100.
- Al-Muyassar. (2010). *Tafsir al-Muyassar: Terjemahan Bahasa Indonesia*. Jakarta: Pustaka Al-Kautsar.
- Bova, S., Codara, P., MacCari, D., & Marra, V. (2010). A logical analysis of Mamdani-type fuzzy inference, II: An experiment on the technical analysis of financial markets. *2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI 2010)*. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2010.5584834>
- Chinchero, H. F., Alonso, J. M., & Toh, H. O. (2020). LED lighting systems for smart buildings: a review. *IET Smart Materials and Structures*, 2, 126–134. <https://doi.org/10.1049/iet-smc.2020.0061>
- Eriyadi, M., Abdullah, A., Hasbullah, H., & Mulia, S. (2021). Internet of things and fuzzy logic for smart street lighting prototypes. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 10(3), 528–535. <https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i3.pp528-535>
- Febriany, N., Agustina, F., & Marwati, R. (2017). Aplikasi Metode *Fuzzy* Mamdani Dalam Penentuan Status Gizi Dan Menggunakan Software Matlab. *Jurnal Eureka Matika*, 5(1), 84–96.
- Firdaus, R., & Mulyana, E. (2018). Smart Building Lighting System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 384(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/384/1/012071>
- Hanani, A., & Hariyadi, M. A. (2020). Smart Home Berbasis IoT Menggunakan Suara Pada Google Assistant. 14(1), 49–56.
- Ibnu Katsir. (2000). *Tafsir Al-Qur'an al-Azim (Jilid 3)*. Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Kawasi, B. (2024). Pemetaan Program Kegiatan Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca di Provinsi Kepulauan Riau 2023–2025: -. *Jurnal Archipelago*, 3(02). <https://doi.org/10.69853/ja.v3i02.143>
- McNeill, F. M., & Thro, E. (1994). *Fuzzy logic: A practical approach*. Academic Press Limited.
- Mohammadrezaei, E., Ghasemi, S., Dongre, P., Gracanin, D., & Zhang, H. (2024). Systematic Review of Extended Reality for Smart Built Environments Lighting Design Simulations. *IEEE Access*, 12, 17058–17089. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3359167>
- Muliadi, Sari Areni, I., Palantei, E., Achmad, A., & Sabirin Hadis, M. (2021). *An IoT Based Power Consumption and Losses Monitoring Technique Applied for a Mini Scale Electrical Network*.

- Pala, Z., & Özkan, O. (2020). Artificial intelligence helps protect smart homes against thieves. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11(3), 945–952. <https://doi.org/10.24012/dumf.700311>
- Park, S., Seo, S., Lee, B., & Byun, J. (2014). An Energy Efficient Smart LED Lighting System for Building Energy Management. *Conference Proceedings*, 1–2.
- Putrada, A. G., Abdurohman, M., Perdana, D., & Nuha, H. H. (2022). Machine Learning Methods in Smart Lighting Toward Achieving User Comfort : A Survey. *IEEE Access*, 10, 45137–45178. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3169765>
- 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>
- Rifaldi, M. (2021). PENERAPAN INTERNET OF THINGS PADA PROTOTYPE SMART HOME MENGGUNAKAN POLA SUARA PROGRAM STUDI SI TEKNIK INFORMATIKA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM RIAU.
- Suresh, P., Daniel, J. V., & Aswathy, R. H. (2014). A state of the art review on the Internet of Things (IoT) History , Technology and fields of deployment.
- Takeuchi, T., Ohnuki, S., Sako, T., Li, R., & Liu, H. (2018). Smart Building Lighting System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 384(1), 012071.
- UNEP. (2009). *Buildings and Climate Change Summary for Decision Makers Sustainable Buildings & Climate Initiative*. (n.d.). <http://www.tge.ca>
- Wang, Z., Shao, X., Lv, C., & Chen, J. (2013). Relay node placement algorithm based on grid in wireless sensor network. *International Conference on Instrumentation and Measurement*, 278–283.
- Zhou, B., Li, W., Chan, K. W., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X., & Wang, X. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.047>
- Zuyyinal Haqqul Barir, M., Kurniawan, F., & Harini, S. (2024). Perbandingan Metode Penjadwalan di Universitas Hasyim Asy'ari Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani dan Sugeno Terhadap Algoritma Genetika. *Teknik Dan Teknologi Terapan*, 1(2), 110–121. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13749135>