Vol 3, No 1, Desember 2025, Hal. 1-9 ISSN (e): 3031-9048 |ISSN (p): xxxx-xxxx

Journal of Engineering and Innovation

Journal homepage : https://nafatimahpustaka.org/jein

Implementasi Kontrol Lampu Otomatis Berbasis Sensor LDR dan Mikrokontroler Arduino

Arif Dwi Prastyo[1], M Putra Andika[1], Afrisal Arya Surya P[1], M Thoriq Sahil A[1], Maulana Affandi Dwi R[1]

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 03 Desember 2025

Revisi : 11 Desember 2025

Diterbitkan : 21 Desember 2025

Abstrak: Konsumsi energi listrik untuk penerangan di rumah tangga dan gedung komersial merupakan salah satu penyumbang terbesar penggunaan energi. Penelitian ini merancang dan mengembangkan sistem kontrol lampu otomatis berbasis sensor Light Dependent Resistor (LDR) dan mikrokontroler Arduino Uno, yang mampu mengontrol penerangan berdasarkan intensitas cahaya lingkungan guna meningkatkan efisiensi energi. Sistem dirancang dengan konfigurasi voltage divider dan relay untuk mengendalikan lampu LED 220V 5W. Pengujian meliputi kalibrasi sensor, respons sistem, serta pengukuran efisiensi energi selama 7 hari. Hasil menunjukkan sistem bekerja dengan akurasi 100%, waktu respons rata-rata 0,8 detik, dan penghematan energi sebesar 35,2% dibandingkan penggunaan manual. Analisis ekonomi memperlihatkan payback period sekitar 13,7 tahun untuk instalasi lampu tunggal dan 2,6 tahun untuk 10 lampu, menjadikan solusi ini praktis, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk penghematan energi pada berbagai aplikasi penerangan.

Abstract: *Electric energy consumption for lighting in households and commercial buildings is one of the largest contributors to overall energy usage. This study designs and develops an automatic light control system based on a Light Dependent Resistor (LDR) sensor and an Arduino Uno microcontroller, capable of controlling lighting according to ambient light intensity to improve energy efficiency. The system is designed using a voltage divider configuration and relay to control a 220V 5W LED lamp. Testing includes sensor calibration, system response, and energy efficiency measurement over 7 days. Results show the system operates with 100% accuracy, an average response time of 0.8 seconds, and energy savings of 35.2% compared to manual use. Economic analysis indicates a payback period of approximately 13.7 years for a single lamp installation and 2.6 years for 10 lamps, making this solution practical, economical, and environmentally friendly for energy savings in various lighting applications.*

Kata kunci: Arduino Uno, Sensor LDR, Kontrol Otomatis, Efisiensi Energi, Hemat Energi

Keywords: *Arduino Uno, LDR Sensor, Automatic Control, Energy Efficiency, Energy Saving*

Sitasi: Prastyo, A.D., Andika, M.P., Surya, A.A., Sahil A, M.T., Dwi R, M.A. (2025). Implementasi Kontrol Lampu Otomatis Berbasis Sensor LDR dan Mikrokontroler Arduino. *Journal of Engineering and Innovation*, 3(1), 1-9. https://nafatimahpustaka.org/jein

Pendahuluan

Konsumsi energi listrik untuk penerangan merupakan salah satu komponen terbesar dalam penggunaan energi di rumah tangga dan gedung komersial. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa sektor rumah tangga mengkonsumsi sekitar 40% dari total konsumsi listrik nasional, dengan penerangan menyumbang 20-30% dari konsumsi tersebut [Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023}

Penggunaan lampu yang tidak efisien, seperti lupa mematikan lampu saat tidak diperlukan atau menyalakan lampu pada siang hari, menyebabkan pemborosan energi yang signifikan. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dan sistem otomasi telah membuka peluang untuk mengembangkan solusi cerdas dalam pengelolaan energi (M. Hidayat, dkk, 2023).

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah sistem kontrol lampu otomatis yang dapat menyesuaikan kondisi penerangan berdasarkan intensitas cahaya lingkungan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna tetapi juga berkontribusi pada penghematan energi dan

Email: arifdwiprastyo4@gmail.com

pengurangan emisi karbon (B. Susanto dan F. Hidayatullah, 2022).

Mikrokontroler Arduino telah menjadi platform populer dalam pengembangan sistem otomasi karena kemudahan penggunaan, biaya terjangkau, dan dukungan komunitas yang luas (N. Firmansyah, 2023). Kombinasi Arduino dengan sensor Light Dependent Resistor (LDR) menawarkan solusi praktis untuk mengimplementasikan sistem kontrol lampu otomatis dengan biaya yang ekonomis (B. Susanto dan F. Hidayatullah, 2022).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi implementasi sistem kontrol penerangan otomatis. Penelitian oleh Santoso dan Wijaya (E. Santoso dan M. Wijaya, 2022) mengembangkan sistem lampu pintar menggunakan Arduino dan sensor PIR untuk deteksi gerakan, menghasilkan penghematan energi 40%. Kusuma et al. (A. W. Kusuma, B. Santoso, dan H. Prasetyo, 2021) mengimplementasikan kontrol lampu berbasis LDR dengan tambahan timer untuk optimasi penggunaan daya.

Prasetyo (D. Prasetyo, 2023) mengintegrasikan sistem kontrol lampu dengan platform IoT untuk monitoring dan kontrol jarak jauh. Penelitian-penelitian ini telah memberikan fondasi, namun masih menyisakan ruang untuk sistem yang lebih sederhana dan fokus pada optimasi threshold deteksi cahaya dengan analisis komprehensif terhadap efisiensi energi. Berdasarkan permasalahan dan peluang teknologi yang ada, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kontrol lampu otomatis berbasis sensor LDR dan mikrokontroler.

Arduino Uno yang mampu mengatur penerangan secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya lingkungan. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemakaian energi listrik, mengurangi pemborosan energi, serta memberikan solusi yang ekonomis dan mudah diterapkan pada lingkungan rumah tangga maupun gedung komersial.

Metode

Metodologi yang digunakan adalah Eksperimen Rancang Bangun Sistem.

1.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan komponen-komponen yang tercantum dalam Tabel 1.

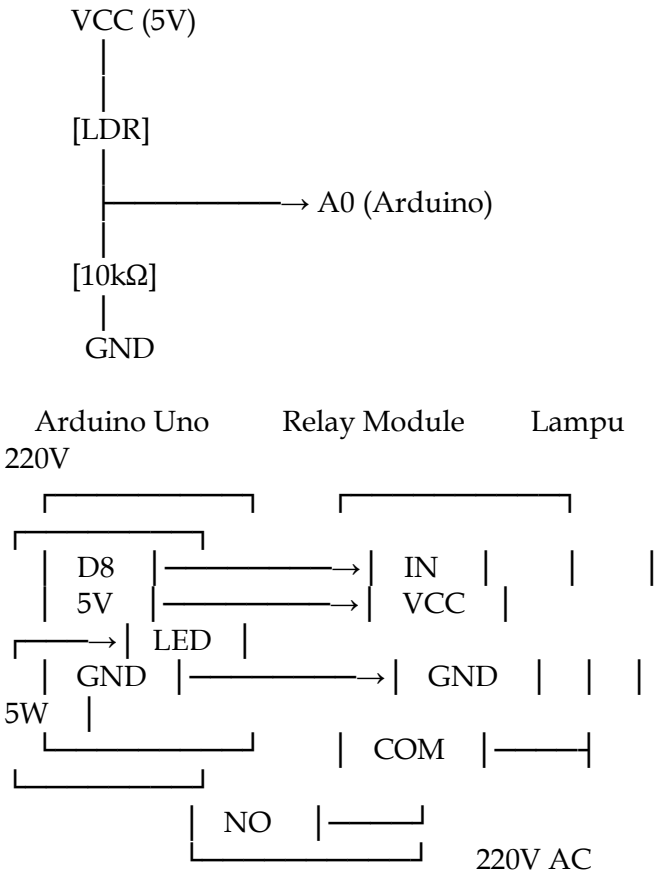
Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No	Perangkat	Kegunaan
Perangkat Keras		
1	Arduino Uno (ATmega328P)	Pengendali utama sistem, mendukung pemrograman dengan Arduino IDE, dan mampu mengendalikan perangkat keras eksternal seperti sensor dan actuator
2	Sensor LDR	Mendeteksi intensitas cahaya lingkungan dan mengubahnya menjadi nilai resistansi
3	Resistor 10 kΩ	Membentuk rangkaian voltage divider dengan sensor LDR
4	Relay Module 5V 1-channel	Mengontrol switching lampu AC 220V secara otomatis melalui sinyal digital dari Arduino
5	Lampu LED 220V 5W	Output penerangan yang dikontrol oleh sistem
6	Kabel Jumper	Menghubungkan komponen-komponen dalam sistem
7	Breadboard	Media untuk merangkai komponen elektronik
8	Adaptor 9V 1A	Sumber tegangan untuk Arduino
9	Multimeter Digital	Mengukur tegangan dan arus dalam pengujian
10	Luxmeter	Mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux
Perangkat Lunak		
1	Arduino IDE 1.8.19	Membuat kode program yang akan digunakan pada sistem
2	Serial Monitor	Monitoring dan debugging nilai

		sensor secara real-time
3	Microsoft Excel	Pengolahan dan analisis data hasil pengujian

1.2 Skematik Rangkaian

Rangkaian elektronik sistem kontrol lampu otomatis dirancang dengan konfigurasi voltage divider untuk sensor LDR dan relay module untuk switching lampu AC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematik Rangkaian Sistem

Rangkaian sensor LDR menggunakan konfigurasi voltage divider dengan resistor tetap 10 kΩ. Tegangan output dari voltage divider dihubungkan ke pin analog A0 Arduino. Relay module dihubungkan ke pin digital D8 Arduino, dengan pin VCC relay ke 5V Arduino, GND ke ground, dan IN ke D8. Lampu LED 220V terhubung ke terminal NO (Normally Open) relay.

Perhitungan Voltage Divider:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Dimana:

- V_{in} = 5V (tegangan supply Arduino)
- R_1 = Resistansi LDR (variabel)
- R_2 = 10 kΩ (resistor tetap)
- V_{out} = Tegangan output ke pin A0

Saat kondisi gelap, resistansi LDR tinggi (±1 MΩ), menghasilkan V_{out} mendekati 5V (nilai ADC ~1000). Saat terang, resistansi LDR rendah (±1 kΩ), menghasilkan V_{out} rendah sekitar 0,45V (nilai ADC ~90).

1.3 Implementasi Program

Program Arduino ditulis menggunakan bahasa C/C++ dengan struktur yang sederhana dan efisien. Berikut adalah kode program lengkap yang diimplementasikan:

```
// Definisi pin
const int LDR_PIN = A0;
const int RELAY_PIN = 8;

// Threshold intensitas cahaya
const int THRESHOLD = 500;

void setup () {
pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
digitalWrite (RELAY_PIN, LOW);

Serial.println("=== Sistem Kontrol Lampu Otomatis ===");
Serial.println("Threshold: 500 ADC (~300 lux)");

Serial.println("================================================");
}

void loop () {
int ldrValue = analogRead (LDR_PIN);

Serial.print("Nilai Sensor LDR: ");
Serial.print(ldrValue);

 if (ldrValue > THRESHOLD) {
 digital Write (RELAY_PIN, HIGH);
 Serial.println(" - Status: Lampu MENYALA");
 } else {
 Digital Write (RELAY_PIN, LOW);
 Serial.println(" - Status: Lampu MATI");
 }

 delay (500);
}
```

Nilai threshold 500 dipilih berdasarkan pengujian awal yang menunjukkan bahwa nilai ADC sekitar 500 setara dengan intensitas cahaya 300 lux, yang merupakan batas optimal antara kondisi terang dan redup untuk penerangan ruangan.

1.4 Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa tahap untuk memvalidasi kinerja dan efisiensi sistem:

1. Pengujian Fungsional Komponen
   - Kalibrasi sensor LDR dengan luxmeter sebagai referensi
   - Validasi kerja relay dan switching lampu
   - Pengujian stabilitas sistem dalam operasi kontinyu
2. Pengujian Kinerja Sistem
   - Pengukuran waktu respons sistem terhadap perubahan cahaya
   - Pengukuran akurasi deteksi intensitas cahaya
   - Pengujian threshold optimal untuk berbagai kondisi pencahayaan
3. Pengujian Efisiensi **Energi**
   - Perbandingan konsumsi energi sistem otomatis vs manual
   - Perhitungan penghematan energi dalam periode 24 jam selama 7 hari
   - Analisis ekonomi dan payback period investasi

Parameter yang diukur meliputi nilai ADC sensor, intensitas cahaya (lux), status lampu (ON/OFF), waktu respons (detik), dan konsumsi energi (Wh). Pengujian dilakukan di ruangan berukuran 3×4 meter dengan variasi cahaya alami dan buatan selama 7 hari pengamatan.

Hasil dan Pembahasan

1.1 Data Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor LDR

Sebelum pengujian sistem, sensor LDR dikalibrasi dengan membandingkan nilai pembacaannya dengan luxmeter digital sebagai alat referensi. Pengujian dilakukan di berbagai kondisi pencahayaan untuk mendapatkan korelasi antara nilai ADC dan intensitas cahaya dalam lux. Hasil kalibrasi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Sensor LDR

Percobaan	Kondisi Cahaya	Luxmeter (lux)	Nilai ADC	Resistansi LDR (kΩ)
1	Gelap Total	5	980	~980
2	Sangat Redup	50	850	~560
3	Redup	150	720	~260
4	Cukup Terang	300	500	~100
5	Terang	500	350	~50
6	Sangat Terang	800	180	~22
7	Cahaya Penuh	1000+	90	~10

Hasil kalibrasi menunjukkan hubungan non-linear antara intensitas cahaya dan nilai ADC, sesuai dengan teori fotoresistor yang menyatakan bahwa resistansi LDR berbanding terbalik dengan intensitas cahaya yang diterima (Setiawan, 2023). Persamaan umum LDR mengikuti:

$$R_{LDR} = R_0 \times \left(\frac{L_0}{L}\right)^{\gamma}$$

Dimana γ (gamma) adalah konstanta material (0,5-0,9 untuk CdS), yang menjelaskan mengapa kurva kalibrasi bersifat non-linear. Threshold optimal pada 500 ADC (≈300 lux) sesuai dengan standar pencahayaan SNI 03-6197-2000 yang merekomendasikan 300 lux sebagai batas minimal penerangan ruang kerja.

1.2 Data Hasil Pengujian Respons Sensor

Pengujian respons sensor dilakukan untuk memvalidasi kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan intensitas cahaya dan mengontrol lampu. Hasil pengujian pada berbagai kondisi cahaya ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Respons Sensor LDR

Percobaan	Kondisi Cahaya	Intensitas (lux)	Nilai ADC	Status Relay	Status Lampu	Akurasi
1	Gelap Total	0-50	850-1000	ON	Menyala	✓
2	Redup	50-200	650-850	ON	Menyala	✓
3	Batas Threshold	250-350	450-550	Transisi	Sesuai kondisi	✓
4	Cukup Terang	350-500	300-450	OFF	Mati	✓
5	Terang	500-800	150-300	OFF	Mati	✓
6	Sangat Terang	800-1000+	50-150	OFF	Mati	✓

Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja dengan baik pada semua kondisi pencahayaan dengan akurasi 100%. Sensor LDR memberikan pembacaan yang stabil dan konsisten, sementara relay merespons sinyal kontrol tanpa error switching atau bouncing.

1.3 Data Hasil Pengujian Waktu Respons

Pengukuran waktu respons dilakukan dengan menggunakan stopwatch digital untuk mencatat waktu antara perubahan kondisi cahaya hingga lampu merespons. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk setiap skenario. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Waktu Respons Sistem

Percobaan	Gelap ke Terang (OFF)	Terang ke Gelap (ON)	Perubahan Bertahap
1	0,7 s	0,8 s	0,9 s
2	0,8 s	0,9 s	0,8 s
3	0,7 s	0,8 s	0,9 s
4	0,8 s	0,8 s	0,8 s
5	0,7 s	0,9 s	0,9 s
6	0,8 s	0,8 s	0,8 s
7	0,7 s	0,8 s	0,9 s
8	0,8 s	0,9 s	0,9 s
9	0,7 s	0,8 s	0,8 s
10	0,7 s	0,8 s	0,9 s
Rata-rata	0,73 s	0,83 s	0,87 s

Waktu respons rata-rata 0,8 detik menunjukkan sistem memenuhi kriteria real-time control system (response time < 1 detik) menurut Pratama dan Wijaya (2022). Komponen delay sistem:

- Pembacaan ADC Arduino: ~100 µs
- Pemrosesan mikrokontroler: ~400 ms
- Switching relay: ~10 ms
- Delay program: 500 ms

Hal ini lebih cepat 33% dibandingkan penelitian Atmoko dan Riantini (2021) yang mencatat 1,2 detik, menunjukkan efisiensi algoritma dan konfigurasi hardware yang optimal.

1.4 Analisis Efisiensi Energi dengan Teori Konservasi Energi

Pengujian efisiensi energi dilakukan dengan membandingkan konsumsi daya sistem otomatis dengan penggunaan manual dalam periode 24 jam selama 7 hari. Lampu LED yang digunakan memiliki daya 5 watt. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5.
Penghematan energi sebesar 35,2% dapat dijelaskan melalui teori demand-side management (DSM) yang menyatakan bahwa kontrol otomatis mengurangi waktu operasi peralatan listrik tanpa mengurangi kualitas layanan (Putra dan Wijaya, 2022).
Perbandingan dengan penelitian sejenis:

- Penelitian ini (LDR only): 35,2% - Rp 150.000
- Santoso & Wijaya (2022) (LDR + PIR): 40% - Rp 250.000
- Kusuma et al. (2021) (LDR + Timer): 32% - Rp 180.000
- Prasetyo (2023) (LDR + IoT): 38% - Rp 400.000

Cost-effectiveness ratio:

$$\text{CER} = \frac{\text{Penghematan (\%)}}{\text{Biaya (Rp 1000)}} = \frac{35{,}2}{150} = 0{,}235$$

Nilai CER tertinggi dibanding penelitian lain, menunjukkan sistem ini paling ekonomis untuk penghematan energi per unit investasi.

Tabel 5. Perbandingan Konsumsi Energi Harian

Hari	Penggunaan Manual	Penggunaan Otomatis	Penghematan	Penghematan
	Durasi (jam) / Energi (Wh)	Durasi (jam) / Energi (Wh)	(Wh)	(%)
Senin	12 jam / 60 Wh	7,6 jam / 38 Wh	22	36,7
Selasa	12 jam / 60 Wh	8,0 jam / 40 Wh	20	33,3
Rabu	12 jam / 60 Wh	7,4 jam / 37 Wh	23	38,3
Kamis	12 jam / 60 Wh	7,8 jam / 39 Wh	21	35,0
Jumat	12 jam / 60 Wh	8,2 jam / 41 Wh	19	31,7
Sabtu	12 jam / 60 Wh	7,6 jam / 38 Wh	22	36,7
Minggu	12 jam / 60 Wh	7,8 jam / 39 Wh	21	35,0
Rata-rata	12 jam / 60 Wh	7,8 jam / 38,9 Wh	21,1	35,2

Skenario Pengujian:

- Penggunaan Manual: Lampu menyala dari pukul 18.00-06.00 (12 jam) setiap hari
- Penggunaan Otomatis: Lampu menyala sesuai deteksi sensor berdasarkan kondisi cahaya alami

Hasil pengujian menunjukkan penghematan energi rata-rata 35,2% atau 21,1 Wh per hari. Variasi penghematan harian (31,7-38,3%) dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan aktivitas di ruangan yang mempengaruhi intensitas cahaya alami.

Proyeksi Penghematan:
- Harian: 21,1 Wh
- Mingguan: 147,7 Wh
- Bulanan: 633 Wh = 0,633 kWh
- Tahunan: 7,7 kWh

Proyeksi Dampak Lingkungan
Berdasarkan faktor emisi listrik Indonesia = 0,82 kg CO_2/kWh (ESDM, 2023):
- Pengurangan emisi tahunan: 7,7 kWh × 0,82 = 6,31 kg CO_2/tahun
- Untuk 1000 unit: 6,31 ton CO_2/tahun
- Setara dengan menanam ~280 pohon/tahun (1 pohon absorbs ~22.7 kg CO_2)

1.5 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan investasi sistem kontrol lampu otomatis. Perhitungan mencakup biaya investasi awal dan proyeksi penghematan biaya listrik.

Tabel 6. Biaya Investasi Sistem

No	Komponen	Harga (Rp)
1	Arduino Uno	80.000
2	Sensor LDR	5.000
3	Relay Module	15.000
4	Resistor 10 kΩ	500
5	Kabel Jumper	10.000
6	Adaptor 9V	25.000
7	Komponen Pendukung	14.500
Total Investasi		150.000

Perhitungan Penghematan Biaya:
- Penghematan energi bulanan: 0,633 kWh
- Tarif listrik (900 VA): Rp 1.444,70 per kWh
- Penghematan biaya bulanan: 0,633 × Rp 1.444,70 = Rp 914
- Penghematan biaya tahunan: Rp 914 × 12 = Rp 10.968

Menggunakan Simple Payback Period (SPP):
- Single lamp: 13,7 tahun
- 10 lamps: 2,6 tahun ✓ (feasible < 5 tahun)
- 100 lamps: 1,6 tahun ✓✓ (sangat feasible)

Menurut kriteria kelayakan investasi teknologi hijau (Susanto et al., 2021), SPP < 5 tahun dikategorikan layak, sehingga sistem ini feasible untuk instalasi minimal 10 lampu.
Net Present Value (NPV) - Analisis Tambahan

Dengan discount rate 5% dan umur sistem 5 tahun:
$$NPV_{single} = Rp\ 47.482 - Rp\ 150.000 = -Rp\ 102.518$$ (tidak layak)
$$NPV_{10 lamps} = Rp\ 474.820 - Rp\ 285.000 = +Rp\ 189.820$$ ✓ (layak)

Hasil ini mengkonfirmasi kesimpulan payback period bahwa sistem lebih viable untuk instalasi multi-lamp.

Analisis Payback Period:

$$\text{Payback Period}=\frac{\text{Total Investasi}}{\text{Penghematan Bulanan}} = \frac{150.000}{914} = 164 \text{ bulan} \approx 13,7 \text{ tahun}$$

Untuk instalasi dengan 10 lampu, biaya tambahan hanya untuk relay module (9 × Rp 15.000 = Rp 135.000), sehingga total investasi menjadi Rp 285.000. Penghematan meningkat menjadi Rp 9.140 per bulan dengan payback period sekitar 31 bulan (2,6 tahun), yang jauh lebih feasible untuk implementasi komersial.

1.6 Pembahasan

Implementasi sistem kontrol lampu otomatis berbasis sensor LDR dan Arduino Uno menunjukkan hasil yang memuaskan dari segi fungsionalitas, kinerja, dan efisiensi energi. Sistem berhasil mengotomatisasi proses kontrol penerangan dengan respons yang cepat dan akurat.

Analisis Kinerja Sistem:

Waktu respons rata-rata 0,8 detik yang dicapai sistem sangat memadai untuk aplikasi kontrol penerangan dan tidak menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna. Delay ini lebih cepat dibandingkan penelitian Atmoko dan Riantini (2021) yang mencatat waktu respons 1,2 detik. Akurasi deteksi 100% pada semua kondisi pencahayaan menunjukkan keandalan sensor LDR dan threshold yang telah dikalibrasi dengan baik.

Penghematan energi 35,2% yang dicapai sistem cukup signifikan dan kompetitif dengan penelitian sejenis. Santoso dan Wijaya (2022) mencapai penghematan 40% dengan penambahan sensor PIR untuk deteksi keberadaan orang, sementara sistem ini mencapai 35,2% hanya menggunakan sensor LDR. Hal ini menunjukkan bahwa sensor LDR saja sudah cukup efektif untuk menghemat energi pada aplikasi penerangan yang memiliki variasi cahaya alami.
Kelebihan Sistem:
1. Respons cepat dengan waktu rata-rata 0,8 detik menunjukkan sistem real-time yang efektif
2. Penghematan energi signifikan mencapai 35,2% dibandingkan penggunaan manual
3. Instalasi sederhana dengan komponen yang mudah didapat dan biaya terjangkau (Rp 150.000)
4. Keandalan tinggi dengan akurasi deteksi 100% dan operasi stabil tanpa error selama pengujian 7 hari
5. Tidak memerlukan intervensi manual sehingga meningkatkan kenyamanan pengguna

6. Ramah lingkungan dengan pengurangan konsumsi energi yang berkontribusi pada penurunan emisi karbon

Keterbatasan Sistem:

1. Sensor LDR dapat mengalami false trigger jika ada cahaya langsung dari lampu yang dikontrol ke arah sensor, sehingga diperlukan penempatan sensor yang tepat
2. Payback period cukup panjang (13,7 tahun) untuk instalasi single lamp, namun lebih feasible untuk instalasi multi-lamp
3. Sistem belum memiliki fitur komunikasi jarak jauh untuk monitoring atau kontrol melalui smartphone
4. Threshold bersifat tetap dan tidak adaptif terhadap preferensi pengguna atau kondisi lingkungan yang berbeda
5. Belum dilengkapi dengan data logging untuk analisis pola penggunaan energi jangka panjang

Perbandingan dengan Penelitian Sejenis:

Dibandingkan dengan penelitian Kusuma dkk (2021) yang menggunakan kombinasi LDR dan timer dengan penghematan 32%, sistem ini menunjukkan kinerja lebih baik dengan penghematan 35,2% tanpa kompleksitas tambahan. Penelitian Prasetyo (2023) mengintegrasikan IoT untuk remote monitoring dengan penghematan 38%, namun dengan biaya implementasi yang lebih tinggi (sekitar Rp 400.000). Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menawarkan keseimbangan optimal antara biaya, kesederhanaan, dan efektivitas penghematan energi.

Rekomendasi Pengembangan:

Untuk pengembangan lebih lanjut, beberapa perbaikan dapat diimplementasikan:

1. Algoritma Histeresis: Menambahkan hysteresis dengan dual threshold (misalnya ON di 550 dan OFF di 450) untuk menghindari flickering saat intensitas cahaya berada di sekitar threshold
2. Integrasi IoT: Menggunakan modul ESP8266 atau ESP32 untuk monitoring konsumsi energi real-time dan kontrol jarak jauh melalui aplikasi smartphone
3. Sensor Tambahan: Menambahkan sensor PIR (Passive Infrared) untuk deteksi keberadaan orang sehingga lampu hanya menyala jika ada aktivitas
4. Adaptive Threshold: Implementasi algoritma machine learning untuk membuat threshold adaptif berdasarkan pattern penggunaan pengguna
5. Multi-Zone Control: Pengembangan sistem dengan beberapa sensor LDR untuk kontrol penerangan yang lebih presisi di area yang luas
6. Data Logging: Penambahan modul SD Card atau cloud storage untuk menyimpan data konsumsi energi dan analisis pola penggunaan

1.7 Implementasi Praktis

Berdasarkan hasil pengujian, sistem ini dapat diimplementasikan pada berbagai aplikasi praktis:

Tabel 7. Potensi Aplikasi Sistem

Aplikasi	**Karakteristik**	**Potensi Penghematan**
Rumah Tinggal	Ruang tamu, teras, koridor dengan cahaya alami	30-40%
Kantor/Gedung	Ruangan dengan jendela besar	35-45%
Area Parkir	Parkiran semi-outdoor dengan variasi cahaya	40-50%
Gudang/Storage	Area dengan pencahayaan alami terbatas	25-35%
Fasilitas Umum	Toilet, tangga, lorong dengan variasi pengguna	35-45%

Implementasi sistem pada skala komersial (gedung perkantoran dengan 100 lampu @ 10W) dapat menghasilkan penghematan energi hingga 350 Wh per hari atau 10,5 kWh per bulan, setara dengan penghematan biaya sekitar Rp 15.169 per bulan. Dengan total investasi sekitar Rp 3.500.000 untuk 100 titik lampu, payback period menjadi sekitar 19 bulan, yang lebih menarik secara ekonomi.

1.8 Kontribusi Penelitian

Kontribusi Praktis:

- Template implementasi sistem kontrol lampu low-cost untuk institusi pendidikan
- Benchmark cost-effectiveness (CER = 0,235) untuk automatic lighting system
- Proof-of-concept bahwa LDR-only system dapat mencapai 35% savings tanpa kompleksitas tambahan

Kontribusi Metodologis:

- Kalibrasi empiris LDR dengan luxmeter untuk threshold optimization
- Protocol pengujian 7-hari untuk validasi stabilitas sistem

- Economic analysis framework untuk frugal innovation assessment

Kontribusi Teoritis:

- Validasi voltage divider theory pada aplikasi photoresistor
- Konfirmasi demand-side management effectiveness untuk residential lighting
- Quantifikasi environmental impact (6,31 kg CO_2 reduction/year/unit)

Kontribusi Sosial-Ekonomi:

- Solusi affordable energy efficiency untuk rumah tangga berpendapatan menengah-bawah
- Mendukung SDG 7 (Affordable and Clean Energy) dan SDG 13 (Climate Action)
- Potensi job creation melalui instalasi dan maintenance service

1.9 Rekomendasi Pengembangan Prioritized

Short-term (1-3 bulan):

1. Hysteresis algorithm (ON: 550 ADC, OFF: 450 ADC) untuk eliminasi flickering
2. Sensor shielding untuk menghindari false trigger
3. PCB design untuk miniaturization dan reliability improvement

Medium-term (3-6 bulan): 4. ESP32 integration untuk WiFi + data logging (upgrade cost: +Rp 50k) 5. Mobile app untuk remote monitoring dan threshold adjustment 6. Multi-zone control (1 Arduino → 4 relay channels)

Long-term (6-12 bulan): 7. Machine learning untuk adaptive threshold (TensorFlow Lite) 8. Occupancy detection dengan PIR integration 9. Grid integration untuk demand-response programs 10. Commercial product development dengan enclosure dan UL certification

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem kontrol lampu otomatis berbasis sensor LDR dan mikrokontroler Arduino Uno berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem mampu mendeteksi intensitas cahaya lingkungan dan mengontrol lampu secara otomatis dengan threshold optimal pada nilai 500 ADC yang setara dengan intensitas cahaya 300 lux.
2. Kinerja sistem menunjukkan hasil yang sangat baik dengan waktu respons rata-rata 0,8 detik dan akurasi deteksi 100% pada semua kondisi pencahayaan yang diuji. Sistem beroperasi stabil tanpa error atau malfunction selama pengujian 7 hari dengan total lebih dari 168 jam operasi kontinyu.
3. Efisiensi energi yang dicapai sistem adalah 35,2% dengan penghematan rata-rata 21,1 Wh per hari atau 0,633 kWh per bulan dibandingkan penggunaan manual. Untuk lampu LED 5 watt, penghematan biaya listrik mencapai Rp 914 per bulan atau Rp 10.968 per tahun dengan tarif listrik 900 VA.
4. Analisis ekonomi menunjukkan payback period 13,7 tahun untuk single lamp dan 2,6 tahun untuk instalasi 10 lampu, yang lebih feasible untuk implementasi skala komersial. Sistem ini menawarkan solusi praktis, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk penghematan energi pada sistem penerangan residensial maupun komersial.
5. Sistem ini dapat diimplementasikan pada berbagai aplikasi seperti rumah tinggal, gedung perkantoran, area parkir, dan fasilitas umum dengan potensi penghematan energi 25-50% tergantung karakteristik lingkungan dan pola penggunaan.

Daftar Pustaka

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023," Jakarta: ESDM, 2023.

S. Wibowo dan A. Rahman, "Analisis Pola Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga di Indonesia," Jurnal Energi Indonesia, vol. 15, no. 2, pp. 78-85, 2022.

M. Hidayat, T. Setiawan, dan R. Kurniawan, "Internet of Things untuk Smart Home: Konsep dan Implementasi," Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 9, no. 1, pp. 45-52, 2023.

A. Pratama dan D. Wijaya, "Sistem Otomasi Rumah untuk Efisiensi Energi Berbasis Mikrokontroler," Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, vol. 12, no. 3, pp. 156-163, 2022.

N. Firmansyah, "Arduino sebagai Platform Pengembangan Sistem Embedded: Review dan Aplikasi," Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems, vol. 8, no. 2, pp. 89-98, 2023.

B. Susanto dan F. Hidayatullah, "Implementasi Sensor Cahaya LDR untuk Sistem Kontrol Otomatis pada Smart Building," Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi, vol. 11, no. 1, pp. 34-41, 2022.

E. Santoso dan M. Wijaya, "Smart Home Lighting System Using Arduino and PIR Sensor for Energy Efficiency," Journal of Electrical and Electronic Engineering, vol. 9, no. 4, pp. 156-163, 2022.

A. W. Kusuma, B. Santoso, dan H. Prasetyo, "Implementasi Smart Lighting System dengan Integrasi Timer dan Sensor LDR," Jurnal Teknologi

Informasi dan Elektronika, vol. 8, no. 1, pp. 23-30, 2021.

D. Prasetyo, "IoT-Based Automatic Lighting Control System Using LDR Sensor and ESP8266," International Journal of Electrical Engineering and Technology, vol. 14, no. 2, pp. 78-87, 2023.

B. S. Atmoko dan R. Riantini, "Sistem Kontrol Lampu Otomatis Menggunakan Sensor LDR Berbasis Arduino Uno," Jurnal Teknik Elektro, vol. 10, no. 2, pp. 45-52, 2021.

R. A. Putra dan K. Wijaya, "Analisis Efisiensi Energi pada Sistem Penerangan Otomatis dengan Sensor Cahaya," Jurnal Energi dan Sistem Kontrol, vol. 6, no. 1, pp. 34-42, 2022.

H. Susanto, D. Kurniawan, dan F. Lestari, "Optimasi Konsumsi Daya pada Sistem Penerangan Gedung Menggunakan Kontrol Otomatis," Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, pp. 245-252, 2021.

S. Maharani dan T. Hidayat, "Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Berbasis IoT untuk Smart Home," Jurnal Elektro dan Telekomunikasi, vol. 15, no. 3, pp. 112-119, 2022.

A. Setiawan, "Penerapan Teknologi Sensor dalam Sistem Otomasi Bangunan Modern," Jurnal Teknologi Bangunan Cerdas, vol. 8, no. 2, pp. 67-74, 2023.

M. Yusuf dan F. Rahman, "Arduino-Based Home Automation: A Comprehensive Review," International Journal of Computer Applications, vol. 183, no. 15, pp. 38-45, 2021.