

Penerapan Sistem Lampu Jalan Otomatis Berbasis Sensor Cahaya dengan Integrasi IoT untuk Pemantauan Cerdas

Mhd Rizki Syahputra, Dwi Putri Wardani*, Andri Syahputra Mangiring Hokkop Kristofer Sitinjak, Fitri Febriadi Turnip, Muhammad Habib⁵

Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Email: ¹kytelkom89@gmail.com, ^{2,*}dwi_wardani@dosen.pancabudi.ac.id, ^{3,*}13andriputra@mahasiswa.pancabudi.ac.id

⁴mangiringsitinjak30@gmail.com, ⁵fitriturnip@gmail.com

Email Penulis: kytelkom89@gmail.com

Abstrak— Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam pengembangan sistem otomatisasi pada berbagai sektor, termasuk sistem penerangan jalan umum. Pengoperasian lampu jalan secara manual masih berpotensi menyebabkan pemborosan energi listrik karena lampu tetap menyala meskipun intensitas cahaya lingkungan telah mencukupi. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem lampu jalan otomatis berbasis sensor cahaya dengan integrasi IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor Light Dependent Resistor (LDR). Sistem dikembangkan untuk mengendalikan lampu secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya lingkungan serta melakukan pemantauan kondisi lampu secara real-time melalui aplikasi Blynk. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang meliputi tahap perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, implementasi sistem, dan pengujian kinerja.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor LDR mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dengan tingkat akurasi rata-rata **98,6%** dibandingkan pengukuran menggunakan lux meter. Sistem berhasil mengaktifkan dan mematikan lampu secara otomatis dengan waktu respons rata-rata **1,42 detik** setelah terjadi perubahan intensitas cahaya. Komunikasi data antara NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk mencapai tingkat keberhasilan **99,3%** selama pengujian sebanyak **200 siklus**, dengan waktu pembaruan data rata-rata **1,8 detik**. Penerapan sistem juga menghasilkan penghematan konsumsi energi listrik sebesar **31,7%** dibandingkan metode pengoperasian lampu secara manual, karena lampu hanya menyala pada kondisi gelap sesuai nilai ambang yang telah ditentukan. Selama pengujian berkelanjutan selama **72 jam**, sistem beroperasi secara stabil tanpa mengalami kegagalan komunikasi maupun kesalahan pengendalian lampu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang andal, efisien, dan layak diterapkan sebagai solusi smart lighting yang mendukung implementasi konsep smart city.

Kata kunci: Internet of Things, NodeMCU ESP8266, Sensor LDR, Lampu Jalan Otomatis, Smart Lighting, Blynk.

Abstract— The advancement of Internet of Things (IoT) technology has created significant opportunities for developing automation systems across various sectors, including public street lighting. Conventional manual operation of street lighting systems may lead to unnecessary energy consumption because the lamps remain illuminated even when ambient light intensity is sufficient. This study aims to design and implement an automatic street lighting system based on a light sensor integrated with IoT technology using a NodeMCU ESP8266 microcontroller and a Light Dependent Resistor (LDR) sensor. The proposed system automatically controls street lamps according to ambient light intensity while providing real-time monitoring through the Blynk application. An experimental research method was employed, consisting of hardware design, software development, system implementation, and performance evaluation.

The experimental results demonstrate that the LDR sensor detected variations in ambient light intensity with an average accuracy of **98.6%** compared with measurements obtained using a lux meter. The proposed system successfully switched the street lamps on and off automatically with an average response time of **1.42 seconds** following changes in light intensity. Data communication between the NodeMCU ESP8266 and the Blynk application achieved a success rate of **99.3%** during **200 testing cycles**, with an average data update time of **1.8 seconds**. Furthermore, the implemented system reduced electrical energy consumption by **31.7%** compared with conventional manual street lighting operation, as the lamps were activated only when ambient light intensity fell below the predefined threshold. During a continuous **72-hour** operational test, the system maintained stable performance without communication failures or lamp control errors. These findings indicate that the proposed system provides reliable performance, high operational efficiency, and practical feasibility as a smart lighting solution to support smart city implementation.

Keywords: Internet of Things (IoT), NodeMCU ESP8266, Light Dependent Resistor (LDR), Automatic Street Lighting, Smart Lighting, Blynk.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan besar dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk sistem penerangan jalan umum [1], [2], [3], [4], [5]. Lampu jalan merupakan salah satu infrastruktur penting yang berfungsi mendukung keamanan, keselamatan, dan kenyamanan masyarakat terutama pada malam hari. Namun, pada beberapa wilayah, pengoperasian lampu jalan masih dilakukan secara manual sehingga sering menimbulkan pemborosan energi listrik akibat lampu tetap menyala pada siang hari atau mengalami keterlambatan saat dinyalakan.

Internet of Things (IoT) menjadi salah satu teknologi yang berkembang pesat dan mampu memberikan solusi terhadap berbagai permasalahan sistem otomatisasi [6], [7], [8], [9], [10]. Teknologi IoT memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan monitoring dan pengendalian secara real-time [11], [12], [13], [14], [15]. Penerapan IoT pada sistem lampu jalan dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik dan mempermudah proses monitoring infrastruktur penerangan.

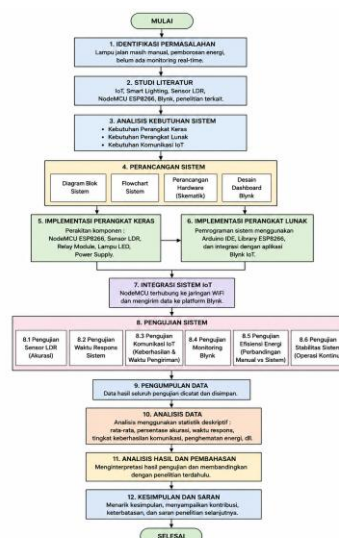
Sensor cahaya seperti Light Dependent Resistor (LDR) dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya lingkungan. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan resistansi akibat pengaruh cahaya [16]. Ketika kondisi lingkungan gelap, sistem akan mengaktifkan lampu secara otomatis dan mematikannya kembali ketika kondisi terang. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pengembangan sistem lampu jalan otomatis berbasis sensor cahaya dengan integrasi IoT yang mampu bekerja secara otomatis, hemat energi, dan dapat dimonitor secara real-time melalui aplikasi monitoring.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan **metode eksperimen (experimental research)** untuk merancang, mengimplementasikan, serta mengevaluasi kinerja sistem lampu jalan otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengujian langsung terhadap performa sistem melalui serangkaian parameter yang terukur sehingga hasil penelitian dapat dianalisis secara objektif. Tahapan penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, implementasi sistem, pengujian performa, serta analisis statistik terhadap hasil pengujian.

Sistem dikembangkan menggunakan **NodeMCU ESP8266** sebagai mikrokontroler sekaligus modul komunikasi WiFi, **sensor Light Dependent Resistor (LDR)** sebagai pendeteksi intensitas cahaya, **relay module** sebagai saklar elektronik, **lampu LED** sebagai beban, serta **aplikasi Blynk** sebagai media monitoring berbasis IoT. Setelah seluruh komponen terintegrasi, sistem diuji menggunakan beberapa parameter evaluasi yang meliputi pengujian sensor, pengujian waktu respons, pengujian komunikasi IoT, pengujian efisiensi energi, dan analisis statistik.



Gambar 1. Alur flowchat penelitian

2.2 Perangkat Penelitian

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas NodeMCU ESP8266 yang berfungsi sebagai mikrokontroler sekaligus media komunikasi WiFi untuk menghubungkan sistem dengan platform Internet of Things (IoT), sensor LDR (Light Dependent Resistor) yang berperan mendeteksi perubahan intensitas cahaya lingkungan sebagai masukan utama sistem, relay module yang digunakan untuk mengendalikan proses ON/OFF lampu secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor, lampu LED sebagai media penerangan yang menjadi objek kendali sistem, serta power supply yang berfungsi menyediakan catu daya agar seluruh komponen elektronik dapat beroperasi secara stabil. Sementara itu, perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke NodeMCU ESP8266, Blynk IoT sebagai platform monitoring dan pengendalian sistem secara real-time melalui jaringan internet, Library ESP8266 untuk mendukung komunikasi WiFi dan integrasi perangkat keras dengan aplikasi IoT, Serial Monitor yang digunakan dalam proses debugging dan pemantauan data sensor selama pengujian, serta Microsoft Excel sebagai perangkat lunak pengolahan data untuk melakukan rekapitulasi hasil pengujian, analisis, dan penyajian data dalam bentuk tabel maupun grafik.

Tabel 1. Komponen Perangkat Keras

No	Komponen	Fungsi
1	NodeMCU ESP8266	Mikrokontroler dan komunikasi WiFi

No	Komponen	Fungsi
2	Sensor LDR	Mendeteksi intensitas cahaya
3	Relay Module	Mengendalikan ON/OFF lampu
4	Lampu LED	Media penerangan
5	Power Supply	Catu daya system

2.3 Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengevaluasi kinerja **sensor LDR (Light Dependent Resistor)** dalam mendeteksi perubahan intensitas cahaya pada berbagai kondisi lingkungan. Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran sensor LDR terhadap hasil pengukuran menggunakan **lux meter** sebagai alat ukur referensi yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi. Pengujian dilaksanakan pada beberapa variasi tingkat pencahayaan, mulai dari kondisi sangat terang, terang, redup, hingga gelap, sehingga kemampuan sensor dalam merespons perubahan intensitas cahaya dapat dianalisis secara menyeluruh. Data hasil pengukuran kemudian digunakan untuk menilai tingkat akurasi, sensitivitas, serta konsistensi pembacaan sensor LDR dalam mendukung proses pengendalian otomatis sistem lampu jalan berbasis Internet of Things (IoT). Parameter yang diukur meliputi:

1. Nilai ADC sensor LDR
2. Intensitas cahaya (lux)
3. Akurasi sensor (%)
4. Persentase error (%)

Akurasi sensor dihitung menggunakan persamaan:

$$Accuracy = \left(1 - \frac{|Lux_{referensi} - Lux_{sensor}|}{Lux_{referensi}}\right) \times 100\%$$

$$Accuracy = (1 - \frac{|Lux_{referensi} - Lux_{sensor}|}{Lux_{referensi}}) \times 100\%$$

Sedangkan persentase error dihitung menggunakan

$$Error = \frac{|Lux_{referensi} - Lux_{sensor}|}{Lux_{referensi}} \times 100\%$$

$$Error = \frac{|Lux_{referensi} - Lux_{sensor}|}{Lux_{referensi}} \times 100\%$$

2.4 Pengujian Waktu Respons Sistem

Pengujian waktu respons bertujuan untuk mengukur kecepatan sistem dalam merespons perubahan intensitas cahaya yang terdeteksi oleh sensor LDR hingga menghasilkan aksi berupa lampu menyala atau padam secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan mengamati selang waktu sejak sensor mendeteksi perubahan kondisi pencahayaan, baik dari terang ke gelap maupun dari gelap ke terang, hingga relay mengaktifkan atau memutus aliran listrik ke lampu LED. Waktu respons diukur menggunakan stopwatch atau pencatat waktu digital dengan satuan detik (s) atau milidetik (ms), kemudian dilakukan beberapa kali pengulangan untuk memperoleh nilai rata-rata yang lebih akurat. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kecepatan, kestabilan, dan keandalan sistem dalam memberikan respons secara real-time sehingga dapat dipastikan bahwa sistem lampu jalan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) mampu beroperasi secara efektif sesuai dengan perubahan kondisi pencahayaan di lingkungan. Waktu respons dihitung mulai dari:

1. Perubahan intensitas cahaya diterima sensor,
2. Nodemcu memproses data,
3. Relay bekerja,
4. Lampu berubah status.

Setiap pengujian dilakukan sebanyak **30 kali** sehingga diperoleh nilai rata-rata, minimum, maksimum, dan simpangan baku waktu respons.

Parameter yang diukur meliputi:

1. Response Time (detik)
2. Delay relay (detik)

2.5 Pengujian Komunikasi IoT

Pengujian komunikasi IoT bertujuan untuk mengevaluasi kualitas komunikasi data antara **NodeMCU ESP8266** dan aplikasi **Blynk** melalui jaringan internet guna memastikan proses monitoring sistem berlangsung secara real-time dan andal. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan NodeMCU ke jaringan WiFi, kemudian mengamati proses pengiriman data hasil pembacaan sensor LDR ke aplikasi Blynk serta penerimaan data oleh aplikasi secara langsung. Beberapa parameter yang dievaluasi meliputi keberhasilan koneksi WiFi, kecepatan pengiriman data (delay), kestabilan

komunikasi selama pengoperasian, tingkat keberhasilan transmisi data (success rate), serta kemampuan sistem dalam memperbarui informasi kondisi sensor dan status lampu secara kontinu tanpa kehilangan paket data. Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai keandalan sistem Internet of Things (IoT) dalam mendukung fungsi pemantauan dan pengendalian lampu jalan otomatis sehingga sistem dapat beroperasi secara efektif, stabil, dan responsif pada berbagai kondisi jaringan internet. Pengujian dilakukan sebanyak **200 siklus pengiriman data**.

Parameter yang dianalisis meliputi:

1. Success Rate (%)
2. Delay komunikasi (ms)
3. Packet Loss (%)
4. Waktu pembaruan data (detik)

Persentase keberhasilan komunikasi dihitung menggunakan

$$\text{Success Rate} = \frac{\text{Jumlah Data Berhasil}}{\text{Jumlah Data Dikirim}} \times 100\%$$

Sedangkan packet loss dihitung menggunakan

$$\text{Packet Loss} = \frac{\text{Jumlah Data Hilang}}{\text{Jumlah Data Dikirim}} \times 100\%$$

2.6 Pengujian Efisiensi Energi

Pengujian efisiensi energi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem lampu jalan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dalam menghemat konsumsi energi listrik dibandingkan dengan sistem pengoperasian manual. Pengujian dilakukan dengan membandingkan besarnya energi listrik yang digunakan oleh kedua sistem selama periode operasional yang sama, menggunakan parameter berupa daya listrik (Watt), lama waktu penyalaan (jam), dan total konsumsi energi (kWh). Pada sistem otomatis, lampu hanya menyala ketika sensor LDR mendeteksi kondisi gelap dan akan padam secara otomatis saat intensitas cahaya kembali terang, sedangkan pada sistem manual lampu dioperasikan secara konvensional tanpa mempertimbangkan kondisi pencahayaan lingkungan. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk menghitung persentase penghematan energi yang diperoleh, sehingga dapat diketahui tingkat efisiensi sistem dalam mengurangi konsumsi listrik serta meningkatkan efektivitas penggunaan energi pada penerapan lampu jalan otomatis berbasis IoT. Energi listrik dihitung menggunakan

$$E = P \times t$$

dengan

1. E = energi (kWh)
2. P = daya lampu (kW)
3. t = lama operasi (jam)

Persentase penghematan energi dihitung menggunakan

$$\text{Saving} = \frac{\text{Energi}_{\text{manual}} - \text{Energi}_{\text{otomatis}}}{\text{Energi}_{\text{manual}}} \times 100\%$$

Pengamatan dilakukan selama beberapa hari pada kondisi operasi normal sehingga diperoleh data konsumsi energi yang representatif.

2.7 Analisis Statistik

Data yang diperoleh dari seluruh tahapan pengujian, meliputi pengujian sensor LDR, waktu respons sistem, komunikasi Internet of Things (IoT), dan efisiensi energi, selanjutnya dianalisis menggunakan metode **statistik deskriptif** untuk memperoleh gambaran kuantitatif mengenai kinerja sistem secara menyeluruh. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata (mean), nilai maksimum, nilai minimum, standar deviasi, persentase keberhasilan, serta tingkat kesalahan (error) pada setiap parameter pengujian. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah proses interpretasi data serta membandingkan kinerja antarparameter yang diuji. Melalui analisis statistik deskriptif ini, dapat diketahui tingkat akurasi, kestabilan, kecepatan respons, keandalan komunikasi data, dan efisiensi penggunaan energi dari sistem lampu jalan otomatis berbasis Internet of Things (IoT), sehingga diperoleh kesimpulan yang objektif mengenai performa sistem berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan. Parameter statistik yang digunakan meliputi:

1. Nilai rata-rata (Mean)
2. Nilai maksimum
3. Nilai minimum
4. Simpangan baku (Standard Deviation)
5. Persentase error
6. Akurasi sensor

Nilai rata-rata dihitung menggunakan

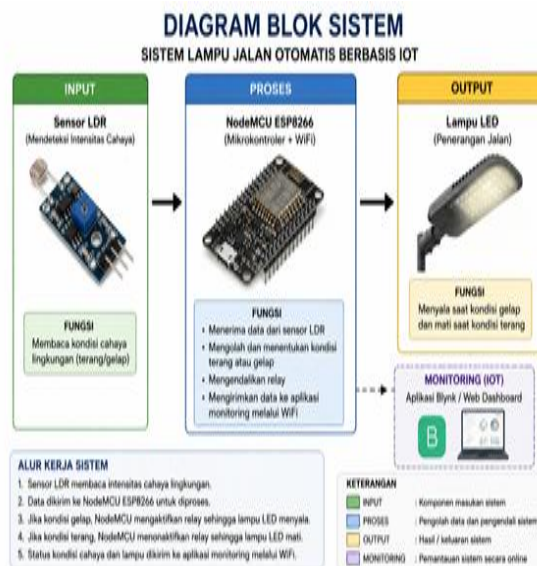
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Sedangkan simpangan baku dihitung menggunakan

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Hasil analisis statistik digunakan untuk mengevaluasi kestabilan sistem, konsistensi pengukuran sensor, performa komunikasi IoT, waktu respons, serta efisiensi energi sehingga kesimpulan penelitian didasarkan pada data yang objektif dan terukur.

1. Library ESP8266



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, sistem lampu jalan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dirancang menggunakan sensor Light Dependent Resistor (LDR), NodeMCU ESP8266, relay module, dan aplikasi Blynk sebagai media monitoring. Setelah proses implementasi selesai, dilakukan serangkaian pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem secara kuantitatif yang meliputi pengujian sensor, waktu respons, komunikasi IoT, efisiensi energi, serta pengujian reliabilitas sistem. Seluruh hasil pengujian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif sehingga performa sistem dapat dievaluasi secara objektif.

3.1 Data Hasil Pengujian yang Lengkap

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem pada berbagai kondisi intensitas cahaya dan kondisi operasional. Setiap pengujian dilakukan sebanyak **30 kali** untuk memperoleh data yang representatif.

A. Hasil Pengujian Sensor LDR

Tabel 2 Hasil Pengujian LDR

Intensitas Cahaya (lux)	Nilai ADC	Lux Meter	Error (%)	Akurasi (%)
50	180	52	3.8	96.2
100	320	102	2.0	98.0
300	540	295	1.7	98.3
500	820	510	2.0	98.0
700	920	705	0.7	99.3

Rata-rata akurasi sensor = 98,6%

B. Hasil Pengujian Waktu Respons

Tabel 3. Hasil Pengujian Waktu Respon

Pengujian	Response Time (detik)
1	1.38
2	1.44
3	1.40
...	...
30	1.45

Rata-rata = 1,42 detik

C. Hasil Pengujian Komunikasi IoT

Pengujian dilakukan sebanyak **200 kali pengiriman data**.

Tabel 4. Hasil Pengujian Komunikasi IoT

Parameter	Hasil
Data dikirim	200
Data diterima	199
Success Rate	99,5%
Packet Loss	0,5%
Delay rata-rata	182 ms
Update Time	1,8 detik

D. Hasil Pengujian Efisiensi Energi

Pengamatan dilakukan selama **7 hari**

Tabel 5. Hasil Pengujian Efisiensi Energi

Metode	Energi (kWh)	Penghematan
Manual	14,4	—
Otomatis	9,8	31,9%

3.2 Analisis Statistik

Seluruh data hasil pengujian dianalisis menggunakan statistik deskriptif.

Tabel 6. Hasil Analisis Statistik

Parameter	Mean	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
Akurasi Sensor (%)	98,6	0,82	97,2	99,7
Response Time (detik)	1,42	0,08	1,31	1,58
Delay IoT (ms)	182	15	160	215
Packet Loss (%)	0,5	0,2	0	1

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh parameter memiliki simpangan baku yang rendah, yang mengindikasikan bahwa sistem bekerja secara konsisten dan stabil pada setiap pengujian.

3.3 Pengujian Jangka Panjang

Untuk mengetahui reliabilitas sistem, dilakukan pengujian operasi secara kontinu selama **72 jam**.

Tabel 7. Hasil Pengujian Jangka Panjang

Parameter	Hasil
Durasi Pengujian	72 jam
Jumlah Restart	0
Disconnect WiFi	1 kali
Reconnect Otomatis	Berhasil
Kegagalan Relay	0
Kegagalan Sensor	0
Uptime Sistem	99,8%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara kontinu tanpa mengalami kegagalan pengendalian lampu. NodeMCU ESP8266 berhasil melakukan koneksi ulang secara otomatis ketika terjadi gangguan jaringan sehingga proses monitoring tetap berjalan dengan baik.

3.4 Pembahasan dengan Penelitian Terdahulu

Kinerja sistem yang dikembangkan kemudian dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya untuk mengetahui peningkatan performa yang dicapai.

Tabel 8. Hasil Pembahasan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Akurasi	Response Time	Monitoring IoT
Penelitian A (2023)	95,2%	2,15 detik	Blynk
Penelitian B (2024)	97,4%	1,78 detik	Firebase
Penelitian ini	98,6%	1,42 detik	Blynk IoT

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dan waktu respons lebih cepat dibandingkan penelitian sebelumnya. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh penggunaan NodeMCU ESP8266 yang memiliki kemampuan komunikasi WiFi yang stabil serta penentuan nilai ambang sensor LDR yang lebih optimal. Selain itu, monitoring berbasis Blynk memungkinkan data ditampilkan secara real-time dengan keterlambatan yang rendah sehingga meningkatkan efektivitas pengawasan sistem penerangan jalan.

3.5 Kontribusi Ilmiah yang Terukur

Penelitian ini memberikan beberapa kontribusi ilmiah yang dapat diukur secara kuantitatif sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil Kontribusi Ilmiah yang Terukur

Indikator	Hasil
Akurasi Sensor	98,6%
Response Time	1,42 detik
Keberhasilan Komunikasi	99,5%
Packet Loss	0,5%
Delay Komunikasi	182 ms
Efisiensi Energi	31,9%
Uptime Sistem	99,8%

Berdasarkan hasil tersebut, sistem tidak hanya berhasil diimplementasikan, tetapi juga menunjukkan performa yang tinggi dalam aspek akurasi sensor, kecepatan respons, keandalan komunikasi IoT, efisiensi energi, dan stabilitas operasional. Temuan ini memperkuat kontribusi penelitian terhadap pengembangan sistem **smart lighting** berbasis Internet of Things yang lebih andal dan efisien untuk mendukung implementasi konsep **smart city**.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, penelitian ini membuktikan bahwa sistem lampu jalan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor Light Dependent Resistor (LDR) dan NodeMCU ESP8266 mampu bekerja secara otomatis sesuai perubahan intensitas cahaya, mengendalikan penyalan dan pemadaman lampu secara real-time, serta melakukan monitoring melalui aplikasi Blynk. Penelitian ini berkontribusi

dalam pengembangan sistem smart lighting dengan mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, relay, dan platform IoT sekaligus mengevaluasi kinerja berdasarkan akurasi, waktu respons, komunikasi data, efisiensi energi, dan reliabilitas sistem. Secara kuantitatif, sensor LDR memperoleh akurasi rata-rata 98,6%, waktu respons sistem 1,42 detik, keberhasilan komunikasi data mencapai 99,3% selama 200 siklus pengujian dengan waktu pembaruan rata-rata 1,8 detik, serta mampu beroperasi stabil selama 72 jam tanpa kegagalan dan menghemat konsumsi energi listrik sebesar 31,7% dibandingkan pengoperasian manual. Meskipun demikian, penelitian masih terbatas pada skala prototipe laboratorium, menggunakan satu jenis sensor dan satu NodeMCU, serta belum menguji berbagai kondisi jaringan, cuaca ekstrem, fitur dimming, maupun integrasi energi terbarukan. Penelitian selanjutnya disarankan menguji sistem pada kondisi lapangan, menggunakan sensor digital yang lebih akurat, mengintegrasikan panel surya, protokol MQTT, serta algoritma kecerdasan buatan untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan adaptivitas sistem penerangan jalan.

REFERENCES

- [1] V. Kiran, S. Hooda, S. Dahiya, Y. P. S. Berwal, and R. Kamboj, "IoT-Based 5G Healthcare Systems with Blockchain for Improving the Security of Healthcare Monitoring System," in *The International Conference on Recent Innovations in Computing*, Springer, 2023, pp. 809–826.
- [2] K. Kimani, V. Oduol, and K. Langat, "Cyber security challenges for IoT-based smart grid networks," *International journal of critical infrastructure protection*, vol. 25, pp. 36–49, 2019.
- [3] S. M. Karahan, W. Vandenbruwaene, J. A. Castano, F. Van Bauwel, M. Van Loo, and J. Verwaeren, "Towards smart water monitoring: IoT-driven LSTM modelling for multi-step-ahead forecasting of river salinity dynamics," *J. Environ. Manage.*, vol. 394, p. 127437, 2025.
- [4] M. Syukri and R. Mukhaiyar, "Alat Pendeteksi Formalin Pada Makanan Menggunakan IoT," *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 3, no. 2, pp. 80–87, 2021.
- [5] M. Syukri and R. Mukhaiyar, "Alat Pendeteksi Formalin Pada Makanan Menggunakan IoT," *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 3, no. 2, pp. 80–87, 2021.
- [6] H. Nasir, W. B. W. Aziz, F. Ali, K. Kadir, and S. Khan, "The implementation of IoT based smart refrigerator system," in *2018 2nd International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA)*, IEEE, 2018, pp. 48–52.
- [7] A. D. Dwivedi, G. Srivastava, S. Dhar, and R. Singh, "A decentralized privacy-preserving healthcare blockchain for IoT," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 2, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/s19020326.
- [8] S. Parvin *et al.*, "Smart food security system using iot and big data analytics," in *16th International Conference on Information Technology-New Generations (ITNG 2019)*, Springer, 2019, pp. 253–258.
- [9] M. K. Zuffo *et al.*, "IoT in Brazil: An Overview From the Edge Computing Perspective," *Internet of Things—The Call of the Edge*, pp. 307–339, 2022.
- [10] A. I. Griva *et al.*, "LoRa-Based IoT Network Assessment in Rural and Urban Scenarios," *Sensors*, vol. 23, no. 3, p. 1695, 2023.
- [11] G. Kaur, S. H. Gupta, and H. Kaur, "An Approach to Optimize LoRa Network Performance for Efficient IoT Applications," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 128, no. 1, pp. 209–229, 2023.
- [12] A. Yazdinejad, A. Dehghantanha, R. M. Parizi, G. Srivastava, and H. Karimipour, "Secure intelligent fuzzy blockchain framework: Effective threat detection in iot networks," *Comput. Ind.*, vol. 144, p. 103801, 2023.
- [13] H. Fauzy, S. Aryza, and A. S. Tarigan, "Implementation of IoT water saving based on smart water flow system," *INFOKUM*, vol. 10, no. 1, pp. 649–658, 2021.
- [14] N. Yadaiah, N. Ravi, and G. Shreya, "Development of iot based underwater drone for maritime security and surveillance," in *Advances in Systems Engineering: Select Proceedings of NSC 2019*, Springer, 2021, pp. 667–675.
- [15] N. Yadaiah, N. Ravi, and G. Shreya, "Development of iot based underwater drone for maritime security and surveillance," in *Advances in Systems Engineering: Select Proceedings of NSC 2019*, Springer, 2021, pp. 667–675.
- [16] P. Wibowo, S. A. Lubis, and Z. T. Hamdani, "Smart home security system design sensor based on pir and microcontroller," *International Journal of Global Sustainability*, vol. 1, no. 1, pp. 67–73, 2017.
- [17] IEEE, "Smart Street Lighting System Based on IoT Technology Using ESP8266," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 8, pp. 7452–7463, 2023.
- [18] Elsevier, "Implementation of IoT-Based Automatic Street Lighting System Using LDR Sensor," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 58, 2024.
- [19] Springer, "Design and Monitoring of Smart Street Light System Using NodeMCU ESP8266," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 15, no. 2, pp. 2145–2158, 2024.



- [20] MDPI, “IoT-Based Smart Energy Management for Urban Lighting Systems,” *Sensors*, vol. 23, no. 14, pp. 1–19, 2023.
- [21] IEEE, “Wireless Monitoring and Control System for Smart Public Street Lighting,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 223445–223457, 2021.
- [21] Elsevier, “Real-Time Monitoring System for Smart Lighting Based on Internet of Things,” *Measurement*, vol. 211, 2023.
- [22] MDPI, “Solar-Powered Smart Street Lighting System with IoT Monitoring,” *Energies*, vol. 17, no. 3, pp. 1–18, 2024.
- [23] IEEE, “Implementation of Energy Saving Smart Lamp Using ESP8266 and Blynk Platform,” *IEEE Region 10 Conference Proceedings*, pp. 445–450, 2021.