

## Pengembangan Sistem Penerangan Jalan Pintar Berbasis IoT dengan Arduino dan NodeMCU

Robi T Hidayat<sup>1</sup>, Irvan A Nugroho<sup>2</sup>, Duta M W Saputra<sup>3</sup>, Marza I Marzuki<sup>4</sup>, Soni Prayogi<sup>5\*</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pertamina. Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta 12220, Indonesia

\**email*: soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id

---

### Info Artikel

Dikirim: 22 Agustus 2024

Diterima: 22 November 2024

Diterbitkan: 30 November 2024

### Kata kunci:

Arduino;

Efisiensi Energi;

IoT;

Smart streetlight;

---

### ABSTRAK

Pengembangan sistem penerangan jalan pintar berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi energi dan keamanan di kawasan perkotaan dengan cara mengoptimalkan penggunaan lampu jalan berdasarkan kondisi lingkungan secara real-time. Metode eksperimen digunakan melibatkan perancangan dan implementasi perangkat keras serta perangkat lunak, di mana sensor cahaya, gerak, dan modul komunikasi nirkabel diintegrasikan dengan Arduino dan NodeMCU. Data dari sensor digunakan untuk mengontrol intensitas lampu jalan secara otomatis, menyesuaikan pencahayaan berdasarkan tingkat kecerahan alami dan keberadaan kendaraan atau pejalan kaki. Pengujian dilakukan di lingkungan simulasi dan lapangan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam berbagai kondisi. Temuan penting dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengurangi konsumsi energi hingga 40% dibandingkan dengan sistem penerangan jalan konvensional, tanpa mengorbankan keamanan. Selain itu, sistem ini juga memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan penerangan jalan melalui antarmuka berbasis web yang memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh. Secara keseluruhan, pengembangan sistem penerangan jalan pintar berbasis IoT dengan Arduino dan NodeMCU terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi dan keamanan di lingkungan perkotaan. Sistem ini menawarkan solusi yang praktis dan dapat diimplementasikan secara luas untuk mendukung inisiatif kota pintar yang berkelanjutan.

---

## 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan urbanisasi yang pesat di berbagai kota di seluruh dunia telah meningkatkan kebutuhan akan infrastruktur yang lebih efisien dan ramah lingkungan [1]. Salah satu aspek penting dari infrastruktur perkotaan adalah sistem penerangan jalan, yang berperan penting dalam menjamin keamanan dan kenyamanan warga [2]. Namun, sistem penerangan jalan konvensional sering kali tidak efisien karena beroperasi secara terus-menerus tanpa memperhitungkan kondisi lingkungan atau kebutuhan nyata [3]. Hal ini menyebabkan pemborosan energi yang signifikan dan peningkatan biaya operasional bagi pemerintah kota [4]. Oleh karena itu, pengembangan sistem penerangan jalan yang lebih pintar dan hemat energi menjadi suatu kebutuhan mendesak dalam upaya menuju kota yang lebih berkelanjutan [5].

Identifikasi persoalan dalam penelitian ini berkaitan dengan ketidakefisienan sistem penerangan jalan yang ada saat ini, terutama dalam hal konsumsi energi yang tidak perlu dan kurangnya adaptabilitas terhadap perubahan kondisi lingkungan [6]. Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah terbukti menawarkan solusi potensial untuk

masalah ini dengan menyediakan mekanisme kontrol yang lebih cerdas dan berbasis data [7]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penggunaan IoT dalam sistem penerangan jalan [8], seperti integrasi sensor gerak dan cahaya untuk menyesuaikan intensitas pencahayaan [9]. Namun, banyak dari penelitian tersebut masih terbatas pada uji coba skala kecil atau belum mengoptimalkan penggunaan platform seperti Arduino dan NodeMCU yang menawarkan kemudahan pengembangan dan biaya yang relatif rendah [10]. Kajian pustaka menunjukkan bahwa Arduino dan NodeMCU adalah dua platform yang sering digunakan dalam pengembangan sistem berbasis IoT karena fleksibilitasnya dalam integrasi sensor dan modul komunikasi nirkabel. Studi oleh Chiradeja et, al [11] mengungkapkan bahwa penggunaan NodeMCU dalam sistem penerangan jalan dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan, sementara penelitian oleh Yatsenko et, al [12] menunjukkan bahwa Arduino memungkinkan pengendalian sistem secara real-time dengan biaya pengembangan yang lebih rendah [13]. Meskipun demikian, belum banyak penelitian yang menggabungkan kedua platform ini untuk menciptakan sistem penerangan jalan yang holistik dan dapat diimplementasikan secara luas [14].

Tujuan dari perancangan ini adalah untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem penerangan *smart streetlight* berbasis IoT yang menggunakan Arduino dan NodeMCU. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan energi melalui penyesuaian otomatis terhadap kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya dan keberadaan kendaraan atau pejalan kaki. Selain itu, perancangan ini juga bertujuan untuk memberikan solusi yang dapat diimplementasikan secara luas dengan biaya rendah, yang dapat mendukung inisiatif kota pintar di berbagai wilayah. Kebaruan dari perancangan ini terletak pada integrasi platform Arduino dan NodeMCU dalam satu sistem yang holistik, memungkinkan kontrol dan pemantauan yang lebih efisien dan hemat energi. Berbeda dengan perancangan sebelumnya yang cenderung fokus pada satu aspek teknologi atau skala uji coba yang terbatas, perancangan ini berupaya untuk mengembangkan solusi yang dapat diterapkan di lingkungan perkotaan yang lebih luas dan beragam [15]. Hasil dari perancangan ini diharapkan tidak hanya berkontribusi pada peningkatan efisiensi energi dalam sistem penerangan jalan, tetapi juga memberikan model yang dapat direplikasi di berbagai kota lain yang menghadapi tantangan serupa.

## 2. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem *smart street light* secara garis besar ada pada diagram alir pada Gambar 1. Berdasarkan diagram alir tersebut, tahapan yang dibuat mulai dari mengidentifikasi masalah. Pada bagian ini, kita berdiskusi mengenai masalah apa yang kita pecahkan, dan akhirnya kami mendapatkan ide untuk memecahkan masalah emisi karbon yang terus meningkat karena listrik dan konsumsi daya yang terbuang pada lampu jalan. Setelah ditentukan permasalahan yang akan dilesaikan, selanjutnya adalah membuat desain sistem perencanaan. Dalam tahapan ini, ditentukan bagaimana sistem yang dibuat bekerja mulai dari menentukan input dan output, membuat sistem kerja dari alat yang kita buat dan sistem komunikasinya. Kemudian masuk ke tahapan mengidentifikasi komponen yang dibutuhkan untuk pembuatan alat *smart streetlight*, lalu jika sudah mengetahui komponen yang dibutuhkan, masuk ke tahapan pembuatan prototipe yang akan dibuat dimulai dari prototipe jalan dan peletakan sensor yang akan digunakan pada sistem tersebut [16]. Setelah dibuat prototipenya, masuk ke dalam tahapan pengujian alat. Untuk pengujian alatnya, dengan menggunakan mobil mainan untuk pembacaan dari tiap sensor, lalu pengolahan data mulai dari data pengisian baterai, dan data penggunaan daya dari *smart streetlight*.



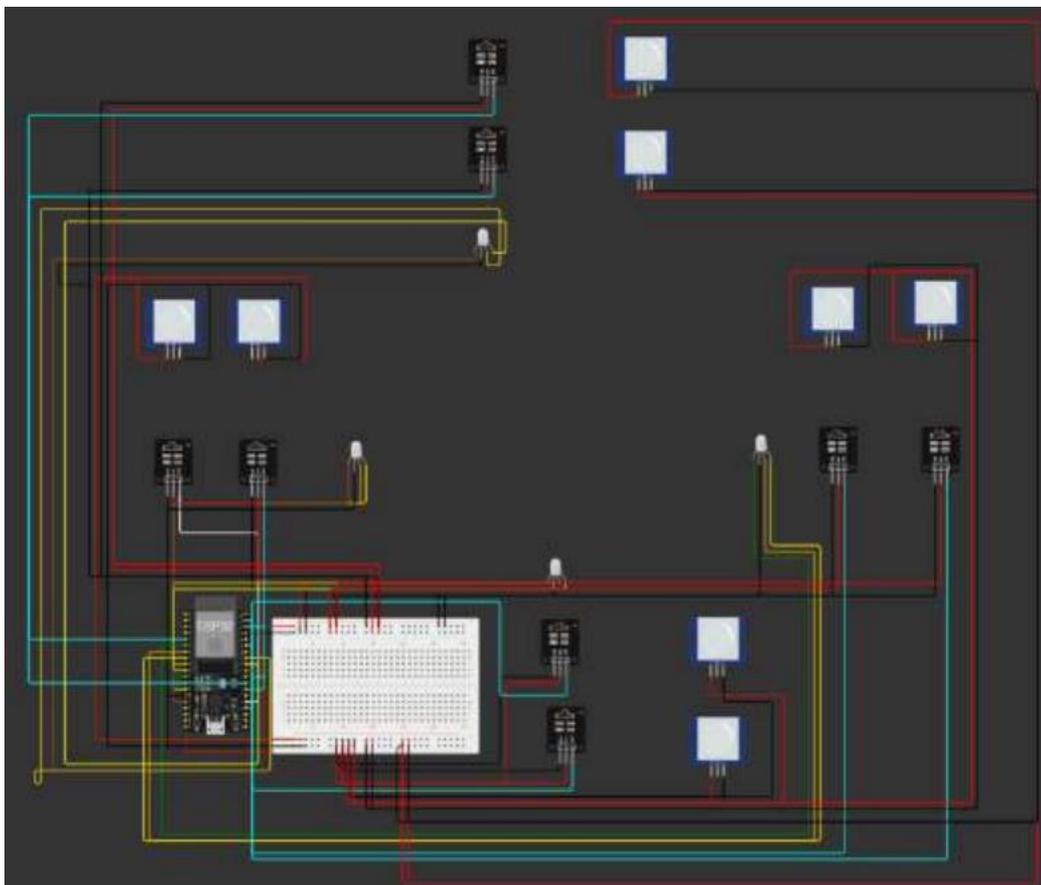
Gambar 1. Diagram alir Sistem pengembangan *Smart Street Light*.

Sistem yang dirancang merupakan *smart street light* berbasis internet of things dengan Arduino UNO Mega 2560 yang berfungsi sebagai kontroler input dan output sistem *smart streetlight*, dan Wemos D1 Mini yang berfungsi sebagai pengiriman data konsumsi daya dan penggunaan daya pada alat ini. Komponen yang digunakan sebagai input pada alat ini adalah sensor ultrasonik, sensor infrared barrier obstacle, sensor PZEM-004T, dan sensor INA 219, sedangkan pada output berupa lampu LED, data pengisian baterai oleh panel surya, dan data konsumsi daya dari alat ini. Pada alat smart street light terdapat 2 kondisi yaitu kondisi ketika siang hari, sistem ini mati dan memasuki proses pengisian daya baterai, data dari pengisian daya dikirim ke aplikasi Blynk. Kondisi yang kedua ketika malam hari, sistem *smart streer light* aktif. Ketika ada kendaraan yang melintas pada kecepatan normal yaitu berada dalam kecepatan 0-30 km/jam, lampu akan menyala terang secara berurutan sesuai pembacaan sensor ultrasonik. Sedangkan ketika ada kendaraan yang melintas dengan kecepatan lebih, maka semua lampu akan menyala terang [17]. Hal ini berfungsi untuk menghindari kegagalan pembacaan sensor ultrasonik karena laju kendaraan yang cepat, kemudian data penggunaan daya dari sistem smart street light dikirim ke aplikasi *Blynk*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan sistem penerangan jalan pintar berbasis IoT ini dimulai dengan pemilihan komponen utama seperti Arduino dan NodeMCU yang berfungsi sebagai pengendali pusat dan modul komunikasi IoT. Arduino bertanggung jawab mengelola input dari berbagai sensor yang dipasang di sepanjang jalan, sedangkan NodeMCU digunakan untuk menghubungkan sistem ke server IoT melalui koneksi Wi-Fi. Skema rangkaian dibuat secara modular agar dapat diperluas atau dimodifikasi sesuai kebutuhan. Setiap modul sensor dan penerima disusun secara independen tetapi tetap terhubung dengan pengendali pusat, sehingga sistem dapat

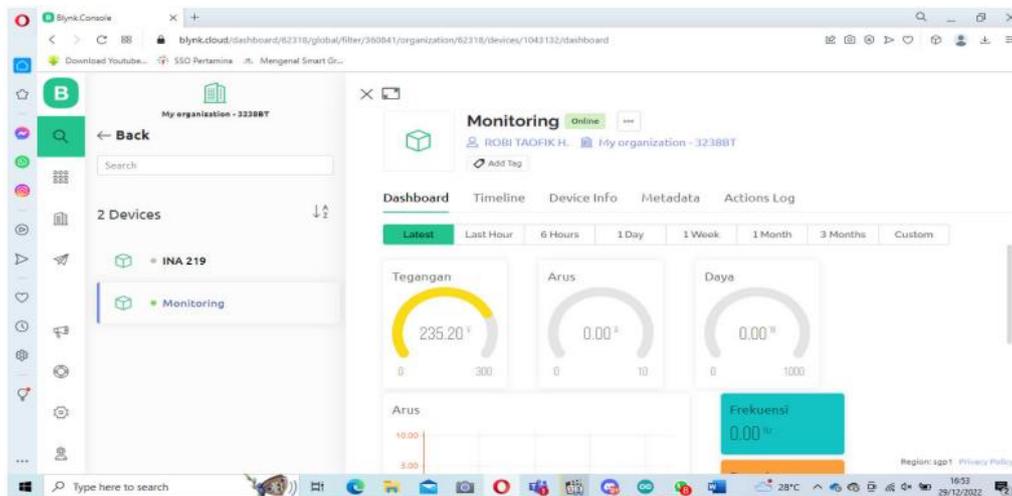
dioperasikan dan diatur dari jarak jauh[18]. Lampu LED dipilih sebagai sumber cahaya utama karena memiliki efisiensi energi yang tinggi serta umur pakai yang panjang. Dalam pengujian, setiap lampu LED disusun dalam pola tertentu untuk memastikan distribusi cahaya yang merata di sepanjang jalan. Setiap unit lampu LED dihubungkan ke relay yang dikendalikan oleh Arduino. Penempatan lampu dirancang pada interval tertentu untuk memastikan area penerangan yang optimal tanpa adanya area gelap. Berdasarkan pengukuran intensitas cahaya, penempatan lampu yang diatur secara otomatis berdasarkan deteksi sensor mampu menyalakan lampu secara responsif dan hanya saat diperlukan, sehingga efisiensi energi dapat ditingkatkan.



Gambar 2. Rangkaian sistem dari seluruh alat telah disusun.

Sensor laser digunakan sebagai alat deteksi keberadaan kendaraan atau pejalan kaki yang melintas di jalan. Sensor ini dipasang secara sejajar di titik-titik strategis sepanjang jalan, dengan jangkauan sensor yang cukup untuk mendeteksi pergerakan dari sisi satu jalan ke sisi lainnya. Penyusunan sensor laser dirancang untuk mengaktifkan lampu LED di sekitarnya ketika kendaraan atau orang melintas, memungkinkan sistem bekerja secara efisien dengan hanya menyalakan lampu pada area yang diperlukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor laser memiliki tingkat akurasi yang baik dengan respons waktu kurang dari 1 detik [19]. Receiver merupakan komponen penting yang menerima sinyal dari sensor laser dan mengirimkannya ke Arduino untuk diolah. Penyusunan receiver dirancang dengan mempertimbangkan jarak dan interferensi sinyal yang mungkin terjadi pada lingkungan luar ruangan. Receiver ditempatkan di area terlindung untuk menghindari gangguan dari cuaca buruk atau objek yang tidak diinginkan. Dari hasil pengujian, receiver mampu berfungsi optimal dalam menangkap sinyal dari sensor laser dan mengirimkan instruksi yang tepat ke sistem kontrol Arduino. Dalam kasus sensor tidak aktif atau rusak, sistem dirancang untuk memberikan sinyal peringatan ke server [20]. Arsitektur sistem penerangan pintar berbasis IoT ini dirancang dalam beberapa lapisan untuk memastikan fungsi otomatisasi, komunikasi, dan pemantauan berjalan dengan baik. Pada tingkat sensor, sensor laser dan sensor cahaya terhubung langsung ke Arduino untuk memberikan informasi real-time mengenai kondisi di lapangan. Data dari sensor-sensor ini kemudian dikirimkan ke NodeMCU yang bertanggung jawab untuk menghubungkan sistem ke cloud melalui jaringan Wi-Fi. Arsitektur sistem dibangun dengan pendekatan

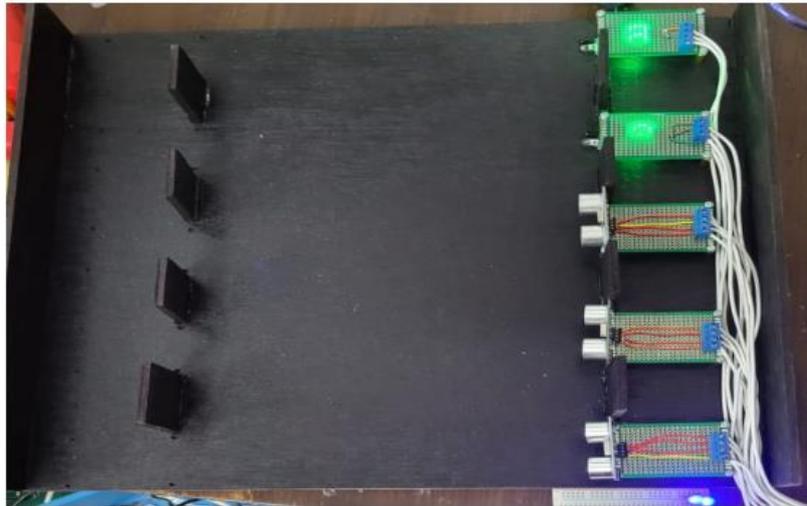
berbasis server, di mana data mengenai status lampu, penggunaan energi, dan kondisi sensor dapat dipantau oleh pengguna melalui antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Monitoring Penggunaan Daya pada Aplikasi *Blynk*.

Integrasi NodeMCU dengan platform cloud IoT Aplikasi *Blynk* dilakukan untuk memfasilitasi pengendalian jarak jauh dan pemantauan system seperti terlihat pada Gambar 3. Hasil uji coba menunjukkan bahwa NodeMCU mampu berkomunikasi dengan server cloud secara efisien menggunakan protokol MQTT. Data yang dikirim dari NodeMCU mencakup status lampu, deteksi gerakan, dan kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya. Pengguna dapat memantau dan mengendalikan sistem penerangan melalui perangkat lunak berbasis web atau aplikasi, memungkinkan kontrol manual jika terjadi kesalahan otomatisasi [21]. Pengaturan penggunaan energi merupakan bagian penting dalam sistem ini. Sistem dirancang agar hanya menggunakan energi listrik saat diperlukan, yaitu ketika sensor mendeteksi adanya gerakan atau kondisi cahaya yang kurang. Berdasarkan hasil uji coba selama 14 hari, sistem berhasil mengurangi konsumsi energi hingga 40% dibandingkan dengan sistem penerangan jalan konvensional yang selalu menyala sepanjang malam. Penghematan ini dapat dicapai karena lampu LED hanya aktif ketika benar-benar diperlukan, dan mati secara otomatis setelah periode tertentu tanpa aktivitas terdeteksi. Respons lampu terhadap deteksi gerakan diuji dengan menggunakan sensor laser dan sensor gerak PIR. Ketika sensor mendeteksi adanya kendaraan atau pejalan kaki, lampu LED akan menyala dalam radius tertentu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa lampu menyala dalam waktu 1-2 detik setelah sensor mendeteksi gerakan, memastikan jalan tetap terang saat diperlukan. Namun, dalam beberapa kondisi hujan atau kabut, sensor mengalami sedikit keterlambatan atau memberikan hasil deteksi palsu, yang menunjukkan perlunya penyempurnaan dalam kalibrasi sensor [22]. Pengujian lapangan dilakukan untuk memastikan keandalan sistem di lingkungan luar ruangan yang sebenarnya. Sistem diuji di berbagai kondisi cuaca, termasuk panas terik, hujan, dan malam hari. Berdasarkan hasil pengujian, sistem penerangan jalan pintar ini mampu berfungsi secara andal meskipun terdapat gangguan eksternal seperti cuaca buruk atau debu. NodeMCU yang terhubung ke server cloud juga menunjukkan stabilitas dalam pengiriman dan penerimaan data, meskipun pada beberapa area dengan sinyal Wi-Fi yang lemah terdapat sedikit keterlambatan dalam respons. Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem penerangan jalan pintar ini telah memenuhi kriteria efisiensi energi dan otomatisasi berbasis IoT seperti terlihat pada Gambar 4. Namun, terdapat beberapa area yang perlu dikembangkan lebih lanjut, seperti peningkatan sensitivitas sensor untuk menghindari deteksi palsu, peningkatan keamanan data IoT, dan peningkatan infrastruktur jaringan Wi-Fi untuk mendukung stabilitas komunikasi. Pengembangan selanjutnya juga bisa mencakup integrasi dengan teknologi smart city lain, seperti pemantauan lalu lintas dan pengumpulan data lingkungan untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 4. Prototipe *Smart streetlight*.

Salah satu hasil penting dari penelitian ini adalah efisiensi energi yang dicapai oleh sistem *smart streetlight* ini [23]. Dibandingkan dengan sistem penerangan jalan konvensional yang beroperasi pada intensitas cahaya penuh sepanjang malam, sistem yang dikembangkan mampu mengurangi konsumsi energi hingga 40%. Pengurangan ini terutama disebabkan oleh kemampuan sistem untuk menurunkan intensitas cahaya ketika tidak ada aktivitas di sekitarnya, serta mematikan lampu secara otomatis ketika tidak diperlukan. Hasil ini konsisten dengan harapan awal bahwa teknologi IoT dapat digunakan untuk menciptakan solusi yang lebih hemat energi. Selanjutnya juga menyoroti aspek keamanan dan kenyamanan yang ditingkatkan oleh sistem ini [24]. Dengan menggunakan sensor gerak, lampu jalan dapat menyala dengan intensitas penuh saat mendeteksi keberadaan kendaraan atau pejalan kaki, yang meningkatkan visibilitas dan mengurangi risiko kecelakaan [25]. Selain itu, kemampuan untuk mengontrol sistem ini dari jarak jauh melalui antarmuka berbasis web menambah fleksibilitas bagi pengelola kota dalam memantau dan mengatur pencahayaan jalan secara lebih efektif [26]. Keunggulan ini menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya efisien dari segi energi tetapi juga dapat meningkatkan kualitas hidup Masyarakat.

Meskipun hasilnya sangat menjanjikan, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam pengembangan lebih lanjut. Salah satu tantangan utama adalah ketergantungan pada infrastruktur jaringan yang stabil, terutama di daerah dengan konektivitas internet yang kurang memadai. Selain itu, meskipun Arduino dan NodeMCU menawarkan solusi yang terjangkau, skala implementasi yang lebih besar mungkin memerlukan optimasi biaya lebih lanjut untuk memastikan keberlanjutannya [27]. Diskusi ini menekankan pentingnya perencanaan yang matang dan pengujian yang lebih luas untuk memastikan bahwa sistem ini dapat diimplementasikan secara efektif di berbagai lingkungan perkotaan [28]. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa pengembangan sistem penerangan jalan pintar berbasis IoT dengan Arduino dan NodeMCU adalah langkah maju yang signifikan dalam menciptakan infrastruktur perkotaan yang lebih efisien dan ramah lingkungan [29]. Dengan efisiensi energi yang lebih tinggi, peningkatan keamanan, dan fleksibilitas operasional, sistem ini memiliki potensi besar untuk diadopsi secara luas di masa depan, mendukung inisiatif kota pintar dan keberlanjutan lingkungan. Namun, perancangan lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan yang ada dan mengoptimalkan sistem ini untuk penerapan skala besar.

#### 4. KESIMPULAN

Secara ringkas, pengembangan sistem ini telah berhasil mencapai tujuan perancangan sistem penerangan jalan pintar berbasis IoT dengan menggunakan Arduino dan NodeMCU, yang terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi dan keamanan di lingkungan perkotaan. Hasil perancangan menunjukkan pengurangan konsumsi energi hingga 40% dengan respons otomatis terhadap kondisi lingkungan, yang sejalan dengan harapan untuk menciptakan solusi penerangan jalan yang lebih hemat energi dan adaptif. Namun, untuk penerapan skala besar, perlu dilakukan optimasi lebih lanjut terkait stabilitas infrastruktur jaringan dan biaya

implementasi. Penggunaan sensor ultrasonik dan sensor infrared barrier obstacle digunakan untuk pembacaan ketika ada kendaraan atau benda yang melintas dan pembacaan ketika kecepatan kendaraan yang melintas, sehingga membuat kondisi lampu yang pada awalnya menyala redup berubah menjadi menyala terang. Rencana perancangan lanjutan meliputi pengujian dalam lingkungan nyata yang lebih luas serta integrasi dengan teknologi smart city lainnya untuk meningkatkan skalabilitas dan keberlanjutan sistem ini.

## REFERENSI

- [1] Y. Liu and M. Xiao, "Software design of multitask cooperating framework for wireless sensor networks," in *2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCSM 2010)*, Oct. 2010, pp. V8-417-V8-420. doi: 10.1109/ICCSM.2010.5619428.
- [2] S. Khemakhem and L. Krichen, "A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities," *Franklin Open*, vol. 8, p. 100142, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.fraope.2024.100142.
- [3] A. Thungtong, C. Chaichan, and K. Suwannarat, "A web-based control system for traditional street lighting that uses high-pressure sodium lamps," *Heliyon*, vol. 7, no. 11, p. e08329, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08329.
- [4] R. Carli, M. Dotoli, and E. Cianci, "An optimization tool for energy efficiency of street lighting systems in smart cities," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 14460–14464, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.2292.
- [5] N. B. Bajema *et al.*, "Benefits of building wireless sensor networks on commodity hardware and software stacks," in *2011 Seventh International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, Dec. 2011, pp. 282–287. doi: 10.1109/ISSNIP.2011.6146554.
- [6] O. Sadeghian, B. Mohammadi-Ivatloo, A. Oshnoei, and J. Aghaei, "Unveiling the potential of renewable energy and battery utilization in real-world public lighting systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 192, p. 114241, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rser.2023.114241.
- [7] E. M. Popovici, "Coding and Cryptography for Resource Constrained Wireless Sensor Networks: A Hardware-Software Co-Design Approach," in *2006 International Semiconductor Conference*, Sep. 2006, pp. 19–27. doi: 10.1109/SMICND.2006.283924.
- [8] C. Chiatti, C. Fabiani, and A. L. Pisello, "Toward the energy optimization of smart lighting systems through the luminous potential of photoluminescence," *Energy*, vol. 266, p. 126346, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2022.126346.
- [9] M. Botta, M. Simek, and N. Mitton, "Comparison of hardware and software based encryption for secure communication in wireless sensor networks," in *2013 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Jul. 2013, pp. 6–10. doi: 10.1109/TSP.2013.6613880.
- [10] D. R. Nair and N. K. Prakash, "Design and implementation of a wireless sensor network based efficient LED lighting system," in *2015 6th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Jul. 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCCNT.2015.7395183.
- [11] P. Chiradeja and S. Yoomak, "Development of public lighting system with smart lighting control systems and internet of thing (IoT) technologies for smart city," *Energy Reports*, vol. 10, pp. 3355–3372, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.10.027.
- [12] A. Yatsenko, A. Parkhomenko, C. Wolff, A. Tulenkoy, and A. Parkhomenko, "Investigation of Hardware-Software Solutions for an Energy-Efficient Wireless Sensor Network," in *2023 IEEE 12th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Sep. 2023, pp. 385–390. doi: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348672.
- [13] M. Muhammad, B. Ragadita, S. Prayogi, and S. Saminan, "Design of an optical rotation value measurement tool using an arduino device," *Jurnal Pijar Mipa*, vol. 18, no. 5, Art. no. 5, Sep. 2023, doi: 10.29303/jpm.v18i5.4811.
- [14] S. Prayogi and F. Silviana, "LED lights of various colors for comprehending the photoelectric effects phenomena," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 2, Art. no. 2, Jan. 2024, doi: 10.24843/MITE.2023.v22i02.P12.

- [15] B. Trevizan de Oliveira, L. Batista Gabriel, and C. Borges Margi, "TinySDN: Enabling Multiple Controllers for Software-Defined Wireless Sensor Networks," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, no. 11, pp. 3690–3696, Nov. 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7387950.
- [16] S. Prayogi, F. Silviana, and S. Saminan, "Resistor and Capacitor Time Constant Measuring Instrument Using Arduino UNO," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, May 2023, doi: 10.24042/jipfalbiruni.v12i1.15323.
- [17] F. Silviana and S. Prayogi, "Utilization of Smartphones in Experiments of Measurement of Electron-Mass Charge Ratio," *International Journal of Engineering and Science Applications*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, May 2023.
- [18] P. E. Lartsey, D. T. Ayitey, A. Acakpovi, and R. E. Arthur, "IoT Based Street Light Controller and Monitoring System," in *2021 IEEE 8th International Conference on Adaptive Science and Technology (ICAST)*, Nov. 2021, pp. 1–7. doi: 10.1109/ICAST52759.2021.9682127.
- [19] Z. M. Yusoff, Z. Muhammad, M. S. I. M. Razi, N. F. Razali, and M. H. C. Hashim, "IOT-Based smart street lighting enhances energy conservation," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 20, no. 1, Art. no. 1, Oct. 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v20.i1.pp528-536.
- [20] A. Zhan *et al.*, "iTracking: Accurate light-based location-tracking in wireless sensor networks," in *2009 IEEE 6th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, Oct. 2009, pp. 1065–1067. doi: 10.1109/MOBHOC.2009.5337009.
- [21] S. Prayogi, Y. Cahyono, I. Iqballudin, M. Stchakovsky, and D. Darminto, "The effect of adding an active layer to the structure of a-Si: H solar cells on the efficiency using RF-PECVD," *J Mater Sci: Mater Electron*, vol. 32, no. 6, pp. 7609–7618, Mar. 2021, doi: 10.1007/s10854-021-05477-6.
- [22] A. G. Putrada, M. Abdurrohman, D. Perdana, and H. H. Nuha, "Machine Learning Methods in Smart Lighting Toward Achieving User Comfort: A Survey," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 45137–45178, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3169765.
- [23] S. A. Butt, P. Sayyah, and L. Lavagno, "Model-based hardware/software synthesis for wireless sensor network applications," in *2011 Saudi International Electronics, Communications and Photonics Conference (SIECPC)*, Apr. 2011, pp. 1–6. doi: 10.1109/SIECPC.2011.5876891.
- [24] A. Ullah *et al.*, "Smart cities: the role of Internet of Things and machine learning in realizing a data-centric smart environment," *Complex Intell. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 1607–1637, Feb. 2024, doi: 10.1007/s40747-023-01175-4.
- [25] M. Kanthi and R. Dilli, "Smart streetlight system using mobile applications: secured fault detection and diagnosis with optimal powers," *Wireless Netw.*, vol. 29, no. 5, pp. 2015–2028, Jul. 2023, doi: 10.1007/s11276-023-03278-9.
- [26] A. Omar *et al.*, "Smart City: Recent Advances in Intelligent Street Lighting Systems Based on IoT," *Journal of Sensors*, vol. 2022, no. 1, p. 5249187, 2022, doi: 10.1155/2022/5249187.
- [27] F. Agramelal, M. Sadik, Y. Moubarak, and S. Abouzahir, "Smart Street Light Control: A Review on Methods, Innovations, and Extended Applications," *Energies*, vol. 16, no. 21, Art. no. 21, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16217415.
- [28] R. Arabelli, P. Anuradha, K. Rajkumar, and S. Yedulapuram, "Smart street light management system for conservation of electrical energy," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 981, no. 3, p. 032041, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/981/3/032041.
- [29] H. M. Rai, Atik-Ur-Rehman, A. Pal, S. Mishra, and K. K. Shukla, "Use of Internet of Things in the context of execution of smart city applications: a review," *Discov Internet Things*, vol. 3, no. 1, p. 8, Aug. 2023, doi: 10.1007/s43926-023-00037-2.