Jurnal Publikasi Teknik Informatika
Volume 5 Nomor 3, September 2026
e-ISSN: 2808-8972 p-ISSN: 2808-9367, Hal. 64-83
DOI: https://doi.org/10.55606/jupti.v5i3.7920
Tersedia: https://journalcenter.org/index.php/jupti

Perancangan Lampu Pintar Otomatis menggunakan *Sensor Passive Infrared* (PIR) dan *Light Dependent Resistor* (LDR) dengan Konsep *Internet of Things* (IoT)

Ahmad Islahul Arif[1*], Nur Azmi Ainul Bashir[2], Septian Rico Hermawan[3], Joang Ipmawati[4]
[1-4]Program Studi Teknik Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Indonesia
E-mail: ahmad.islahul.kom21@student.unu-jogja.ac.id[1], nurazmiab@unu-jogja.ac.id[2], rico@unu-jogja.ac.id[3], joang@unu-jogja.ac.id[4]
**Penulis Korespondensi: ahmad.islahul.kom21@student.unu-jogja.ac.id*

Abstract. *Electrical energy waste remains a major challenge in household energy management, with human factors such as forgetting to turn off lights contributing significantly to unnecessary energy consumption. This study aimed to design and implement an Internet of Things (IoT)-based smart lighting system using Passive Infrared (PIR) and Light Dependent Resistor (LDR) sensors. The PIR sensor was utilized to detect human movement, while the LDR sensor was employed to measure ambient light intensity. An ESP32 microcontroller processed the sensor data and transmitted the information to the Blynk application for real-time monitoring and control. The research adopted a prototype development method consisting of problem identification, requirements analysis, system design, implementation, and evaluation using the Black Box Testing approach. The results demonstrated that the proposed system operated effectively with an overall success rate of 95.8%. Automatic lamp activation and PIR data transmission achieved 100% accuracy, LDR sensor readings reached 90%, and energy monitoring through the PZEM-004T module achieved 95% accuracy. The implementation of the proposed system improved energy efficiency through automated operation and real-time monitoring, providing a practical and reliable solution for smart home applications.*

Keywords: *Blynk; Energy Efficiency; ESP32; Internet Of Things (Iot); Smart Lighting System.*

Abstrak. Pemborosan energi listrik tetap menjadi tantangan utama dalam pengelolaan energi rumah tangga, dengan faktor manusia seperti lupa mematikan lampu berkontribusi secara signifikan terhadap konsumsi energi yang tidak perlu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pencahayaan pintar berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor Passive Infrared (PIR) dan Light Dependent Resistor (LDR). Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi pergerakan manusia, sedangkan sensor LDR digunakan untuk mengukur intensitas cahaya sekitar. Mikrokontroler ESP32 memproses data sensor dan mentransmisikan informasi tersebut ke aplikasi Blynk untuk pemantauan dan pengendalian secara real-time. Penelitian ini mengadopsi metode pengembangan prototipe yang terdiri dari identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan evaluasi menggunakan pendekatan Black Box Testing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan beroperasi secara efektif dengan tingkat keberhasilan keseluruhan sebesar 95,8%. Aktivasi lampu otomatis dan transmisi data PIR mencapai akurasi 100%, pembacaan sensor LDR mencapai 90%, dan pemantauan energi melalui modul PZEM-004T mencapai akurasi 95%. Implementasi sistem yang diusulkan ini meningkatkan efisiensi energi melalui pengoperasian otomatis dan pemantauan real-time, sehingga memberikan solusi yang praktis dan handal untuk aplikasi smart home.

Kata Kunci: *Blynk; Efisiensi Energi; ESP32; Internet Of Things (Iot); Sistem Lampu Pintar Otomatis.*

1. LATAR BELAKANG

Peningkatan kebutuhan energi listrik seiring dengan pertumbuhan populasi, perkembangan teknologi, dan meningkatnya aktivitas manusia telah mendorong berbagai upaya untuk mewujudkan sistem pemanfaatan energi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Salah satu sektor yang memiliki kontribusi besar terhadap konsumsi energi adalah sistem pencahayaan, baik pada lingkungan rumah tangga, perkantoran, maupun fasilitas umum. Menurut laporan *International Energy Agency* (IEA), penerapan teknologi yang mampu

Naskah Masuk: 30 Juni 2026; Revisi: 07 Agustus 2026; Diterima: 31 Agustus 2026; Terbit: 01 September 2026

mengoptimalkan penggunaan energi dapat menjadi salah satu solusi utama untuk mengurangi pemborosan energi listrik sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan (International Energy Agency, 2023; International Energy Agency, 2020). Selain itu, data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan bahwa sebagian besar pemborosan energi listrik dipengaruhi oleh faktor manusia, seperti kelalaian dalam mematikan lampu ketika ruangan tidak digunakan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem pencahayaan konvensional masih memiliki tingkat efisiensi yang rendah sehingga diperlukan suatu pendekatan yang lebih adaptif dan otomatis.

Berkat perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT), terdapat peluang besar untuk menciptakan sistem pencahayaan cerdas yang dapat beroperasi secara otonom dan terhubung ke internet. Dengan bantuan sistem ini, berbagai perangkat elektronik dapat saling terhubung dan berbagi data secara *real-time*, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengendalian dan pemantauan perangkat. (Atzori *et al*., 2019; Li *et al*., 2020). Penerapan sistem pencahayaan berbasis IoT tidak hanya memberikan kemudahan dalam pengendalian perangkat, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan kenyamanan pengguna. Penelitian yang dilakukan oleh Patel dan Joshi (2020) menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dengan sensor gerak mampu mengoptimalkan penggunaan energi listrik secara signifikan. Penelitian lain juga melaporkan bahwa sistem pencahayaan otomatis mampu menghemat konsumsi energi hingga 30% pada bangunan dengan tingkat aktivitas pengguna yang tinggi (Zhang & Chen, 2020).

Salah satu metode umum untuk membuat sistem pencahayaan otomatis adalah dengan menggunakan *Light Dependent Resistor* (LDR) dan sensor *Passive Infrared* (PIR). Dengan memanfaatkan variasi radiasi inframerah, sensor PIR dapat mendeteksi keberadaan manusia, sedangkan LDR mengukur intensitas cahaya di sekitar (Schwartz, 2020; Horowitz & Hill, 2015). Di ruangan yang gelap, sensor-sensor ini bekerja sama untuk menyalakan lampu, dan ketika cahaya dari luar sudah cukup atau tidak ada orang di dalam ruangan, lampu akan mati. Lee *et al*. (2021) melaporkan bahwa penerapan sistem pencahayaan otomatis berbasis sensor mampu menurunkan konsumsi energi hingga 40% pada bangunan komersial dan perumahan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Brown *et al*. (2022) menunjukkan bahwa integrasi sensor dalam sistem pencahayaan cerdas dapat mengurangi emisi karbon sekaligus meningkatkan efisiensi energi. Selain itu, Kumar *et al*. (2019) menjelaskan bahwa penggunaan sistem otomatis berbasis sensor mampu mengurangi konsumsi energi hingga 30% dan meningkatkan kenyamanan pengguna.

Penelitian telah berkembang ke arah sistem pencahayaan otomatis berbasis sensor; namun, sebagian besar studi hanya membahas fungsi pengendalian pencahayaan tanpa menyertakan pemantauan konsumsi energi secara *real-time*. Sistem pencahayaan berbasis IoT memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi melalui teknik pengendalian yang lebih adaptif, sebagaimana ditunjukkan oleh Khan *et al*. (2022). Di saat yang sama, menurut Liu *et al*. (2021), pengguna dapat menjadi lebih sadar akan perlunya pengendalian konsumsi listrik yang lebih baik melalui pemantauan secara *real-time*.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) berupa belum optimalnya integrasi antara sistem pencahayaan otomatis berbasis sensor PIR dan LDR, teknologi IoT, serta sistem pemantauan konsumsi energi yang terpusat dalam satu platform. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem lampu pintar otomatis berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor PIR, sensor LDR, aplikasi Blynk, dan modul PZEM-004T sebagai perangkat pemantauan daya listrik. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi fungsi pendeteksian gerakan, pengukuran intensitas cahaya, pengendalian lampu, dan pemantauan konsumsi energi secara *real-time* dalam satu sistem yang terhubung melalui jaringan internet. Sistem pencahayaan cerdas otomatis untuk meningkatkan efisiensi energi listrik di lingkungan rumah merupakan tujuan dari tahapan perancangan, implementasi, dan evaluasi dalam penelitian ini.

2. KAJIAN TEORITIS

Lampu Pintar Otomatis

Lampu pintar otomatis merupakan sistem pencahayaan yang dirancang untuk mengendalikan proses penyalaan dan pemadaman lampu secara mandiri berdasarkan kondisi lingkungan dan aktivitas pengguna. Sistem ini dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik melalui pemanfaatan berbagai sensor yang mampu mendeteksi perubahan kondisi di sekitarnya. Berbeda dengan sistem pencahayaan konvensional yang masih dioperasikan secara manual, lampu pintar mampu menyesuaikan kondisi pencahayaan secara otomatis sehingga dapat mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan kenyamanan pengguna. Lee *et al*. (2021) menjelaskan bahwa sistem pencahayaan otomatis mampu menurunkan konsumsi energi hingga 40% pada bangunan komersial dan perumahan, sedangkan Johnson (2018) menyatakan bahwa integrasi teknologi sensor pada sistem pencahayaan dapat meningkatkan efisiensi energi sekaligus memperpanjang usia pemakaian lampu.

***Sensor Passive Infrared* (PIR)**

Sensor Passive Infrared (PIR) merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mendeteksi keberadaan objek berdasarkan perubahan radiasi inframerah yang dipancarkan oleh tubuh manusia. Sensor ini bekerja secara pasif karena tidak menghasilkan radiasi sendiri, melainkan menerima energi inframerah dari lingkungan sekitar. Dalam sistem pencahayaan otomatis, sensor PIR digunakan untuk mengaktifkan lampu ketika mendeteksi pergerakan manusia dan mematikannya ketika tidak ada aktivitas yang terdeteksi. Menurut Schwartz (2020), sensor PIR memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dalam mendeteksi perubahan suhu yang dihasilkan oleh tubuh manusia sehingga banyak digunakan dalam sistem keamanan, otomasi bangunan, dan teknologi rumah pintar.

Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR)

Komponen elektronik yang disebut LDR dapat mengubah nilai resistansinya bergantung pada jumlah cahaya yang diterimanya. Berbeda dengan kondisi saat cahaya minim, nilai resistansi menurun seiring dengan meningkatnya tingkat cahaya. Karakteristik tersebut menjadikan sensor LDR sebagai salah satu komponen utama dalam sistem pencahayaan otomatis karena mampu mendeteksi kondisi pencahayaan lingkungan secara akurat. Horowitz dan Hill (2015) menjelaskan bahwa sensor LDR memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dan biaya implementasi yang relatif rendah, sedangkan Zhang dan Chen (2020) menyatakan bahwa penggunaan sensor ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem pencahayaan rumah tangga.

Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dirancang untuk mendukung berbagai aplikasi berbasis embedded system dan Internet of Things (IoT). Perangkat ini dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth yang memungkinkan proses pertukaran data dilakukan secara nirkabel. Dalam penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah data dari sensor PIR, sensor LDR, dan modul PZEM-004T sebelum mengirimkannya ke aplikasi Blynk untuk ditampilkan secara real-time. Lynch (2022) menyatakan bahwa kompatibilitas ESP32 dengan berbagai macam sensor dan perangkat elektronik lainnya, serta konsumsi dayanya yang rendah dan kemampuan pemrosesan data yang tinggi, menjadikannya pilihan populer untuk pengembangan sistem IoT.

***Internet of Things* (IoT)**

Istilah "Internet of Things" (IoT) mengacu pada arsitektur jaringan yang memungkinkan interkoneksi dan pertukaran data secara otomatis di antara berbagai jenis perangkat elektronik. Melalui penggunaan perangkat lunak berbasis internet, teknologi ini

memungkinkan pemantauan dan pengendalian berbagai peralatan dari jarak jauh. Menurut Atzori *et al*. (2019), IoT menjadi salah satu fondasi utama dalam pengembangan sistem otomasi modern karena mampu menghubungkan berbagai perangkat dalam satu sistem yang terintegrasi. Sementara itu, Li *et al*. (2020) menyatakan bahwa penerapan IoT mampu meningkatkan efisiensi operasional, mempercepat proses pengambilan keputusan, dan mengoptimalkan penggunaan energi berdasarkan data yang diperoleh secara real-time.

Modul PZEM-004T

Penggunaan listrik, faktor daya, frekuensi, tegangan, dan arus merupakan beberapa parameter kelistrikan yang dapat diukur oleh modul PZEM-004T. Modul ini mampu mengirimkan data pengukuran secara real-time melalui mikrokontroler serta memberikan tingkat presisi yang tinggi. Dalam penelitian ini, modul PZEM-004T dimanfaatkan untuk memantau konsumsi energi listrik sehingga efektivitas sistem pencahayaan otomatis dapat dievaluasi secara kuantitatif. Data yang diperoleh dari modul tersebut kemudian ditampilkan melalui aplikasi Blynk untuk memudahkan proses pemantauan dan analisis penggunaan energi listrik.

Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem pencahayaan otomatis berbasis sensor mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik secara signifikan. Patel dan Joshi (2020) mengembangkan sistem pencahayaan berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor PIR untuk mengoptimalkan penggunaan energi listrik secara otomatis. Lee *et al*. (2021) menunjukkan bahwa penerapan sistem pencahayaan cerdas mampu mengurangi konsumsi energi hingga 40%, sedangkan Brown *et al*. (2022) menjelaskan bahwa integrasi berbagai sensor dalam sistem pencahayaan cerdas berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi energi. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada pengendalian lampu secara otomatis dan belum mengintegrasikan sistem pemantauan konsumsi energi listrik secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem yang menggabungkan sensor PIR, sensor LDR, modul PZEM-004T, teknologi IoT, dan aplikasi Blynk dalam satu sistem yang terintegrasi sehingga mampu meningkatkan efisiensi energi sekaligus menyediakan data konsumsi listrik secara langsung dan berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas sistem pencahayaan cerdas otomatis berbasis IoT dengan menggunakan pendekatan pembuatan prototipe untuk tahap perencanaan, pembangunan, dan pengujiannya. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pencapaian tujuan penelitian melalui proses pengembangan bertahap yang mencakup identifikasi kebutuhan pengguna, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan penyempurnaan prototipe. Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi permasalahan berupa tingginya tingkat pemborosan energi listrik akibat penggunaan lampu yang masih dioperasikan secara manual. Tahap berikutnya adalah analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, yang meliputi mikrokontroler ESP32, sensor *Passive Infrared* (PIR), sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), modul PZEM-004T, modul relai, aplikasi Blynk, serta jaringan internet. Setelah itu, dilakukan proses perancangan sistem yang mencakup penyusunan diagram alir, perancangan rangkaian elektronik, serta pengembangan program menggunakan *Arduino IDE*. Sistem yang telah dirancang kemudian diimplementasikan ke dalam bentuk prototipe dan diuji untuk mengetahui tingkat keberhasilan setiap komponen dalam menjalankan fungsinya. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*, yang berfokus pada kesesuaian fungsi masukan dan keluaran tanpa memperhatikan struktur internal program. Parameter yang diuji meliputi kemampuan sensor PIR dalam mendeteksi pergerakan manusia, kemampuan sensor LDR dalam membaca intensitas cahaya, kemampuan modul PZEM-004T dalam memantau konsumsi energi listrik, serta keberhasilan aplikasi Blynk dalam menampilkan data dan mengendalikan sistem secara *real-time*. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil pengujian terhadap spesifikasi sistem yang telah dirancang. Tingkat keberhasilan sistem dihitung berdasarkan persentase keberhasilan fungsi setiap komponen yang diuji untuk menentukan tingkat efektivitas sistem dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Sistem

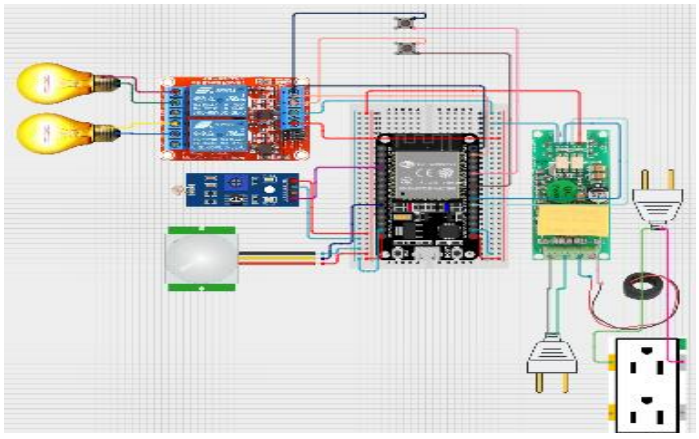
Perancangan sistem merupakan tahapan yang dilakukan untuk menerjemahkan hasil analisis kebutuhan ke dalam bentuk rancangan sistem yang siap diimplementasikan. Pada tahap ini, sistem lampu pintar otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dirancang dengan mengintegrasikan perangkat keras, perangkat lunak, serta jaringan komunikasi data agar mampu bekerja secara optimal. Analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan spesifikasi komponen yang digunakan, sekaligus memastikan keterpaduan fungsi setiap komponen dalam

mendukung proses otomatisasi pencahayaan. Sistem ini dirancang agar mampu mendeteksi keberadaan manusia, membaca intensitas cahaya di lingkungan sekitar, serta mengendalikan lampu secara otomatis maupun manual melalui aplikasi Blynk. Selain itu, perancangan juga mempertimbangkan aspek akurasi sensor, stabilitas jaringan, dan kompatibilitas antarkomponen guna menghasilkan sistem yang andal dan responsif.

Komponen perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem, sensor *Passive Infrared* (PIR) untuk mendeteksi pergerakan manusia, sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mengukur intensitas cahaya, modul relai untuk mengatur aliran arus listrik, lampu sebagai perangkat keluaran, serta kabel jumper dan *breadboard* sebagai media penghubung antarkomponen. Sementara itu, perangkat lunak yang digunakan terdiri atas Arduino IDE, berbagai *library* pendukung, platform Blynk, *web browser*, dan sistem operasi Windows. Seluruh komponen tersebut diintegrasikan melalui jaringan Wi-Fi sehingga sistem mampu melakukan pemantauan dan pengendalian lampu secara *real-time*. Integrasi sensor PIR dan LDR memungkinkan lampu hanya menyala ketika ruangan berada dalam kondisi gelap dan terdapat aktivitas manusia, sedangkan dukungan teknologi IoT memungkinkan pengguna mengakses dan mengendalikan sistem dari mana saja melalui perangkat seluler.

Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi sistem, seluruh komponen dirangkai menjadi satu kesatuan untuk membentuk sistem lampu pintar otomatis berbasis IoT. Gambar berikut menunjukkan rangkaian keseluruhan sistem yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 1. Simulasi Rangkaian Keseluruhan

Gambar 1 menunjukkan rangkaian keseluruhan pada sistem lampu pintar otomatis, di mana seluruh komponen perangkat keras telah terhubung secara terintegrasi sesuai fungsinya masing-masing. ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang menerima input dari sensor

kemudian menentukan aksi yang akan diberikan kepada perangkat keluaran. Seluruh koneksi kabel disusun dengan memperhatikan jalur daya dan jalur data agar aliran arus listrik dan pengiriman sinyal dapat berjalan stabil tanpa gangguan.

Sensor PIR berfungsi mendeteksi keberadaan manusia berdasarkan perubahan radiasi infra merah di sekitar area ruangan. Ketika sensor mendeteksi adanya pergerakan, sinyal dikirim ke ESP32 sebagai notifikasi bahwa ruangan sedang ditempati. Selain itu, sensor LDR juga terpasang untuk mendeteksi intensitas cahaya di lingkungan sekitar. Dengan demikian, sistem dapat menentukan apakah lampu perlu diaktifkan atau tidak berdasarkan gabungan kondisi keberadaan manusia dan tingkat kecerahan ruangan.

Modul relay pada rangkaian ini menjadi komponen *switching* yang menghubungkan sistem kontrol berbasis mikrokontroler dengan beban listrik tegangan tinggi, yakni lampu AC. Relay menerima perintah digital dari ESP32 untuk menghidupkan atau mematikan lampu sesuai logika yang telah ditentukan. Rangkaian antara relay dan lampu menggunakan jalur listrik terpisah yang dirancang agar keamanan penggunaan tetap terjaga saat arus listrik AC mengalir.

Adaptor catu daya juga menjadi bagian integral dalam rangkaian karena bertugas menurunkan tegangan AC PLN menjadi tegangan DC yang sesuai untuk menghidupkan ESP32 beserta sensor-sensornya. Dengan dukungan catu daya yang stabil, sistem dapat beroperasi dalam waktu lama tanpa mengalami gangguan akibat fluktuasi arus listrik. Selain itu, grounding diperhatikan secara khusus untuk mencegah terjadinya gangguan interferensi maupun risiko korsleting listrik.

Secara keseluruhan, rangkaian ini telah siap dijalankan dan bekerja secara otomatis berdasarkan input dari sensor yang kemudian diproses oleh ESP32 sebelum mengaktifkan atau menonaktifkan lampu melalui relay. Dengan demikian, sistem ini mampu meningkatkan efisiensi konsumsi energi listrik karena lampu hanya menyala saat ruangan gelap dan ada aktivitas penghuni. Integrasi seluruh komponen dalam rangkaian ini membuktikan bahwa konsep pencahayaan cerdas berbasis IoT dapat diterapkan secara efektif pada lingkungan rumah tangga maupun fasilitas umum.

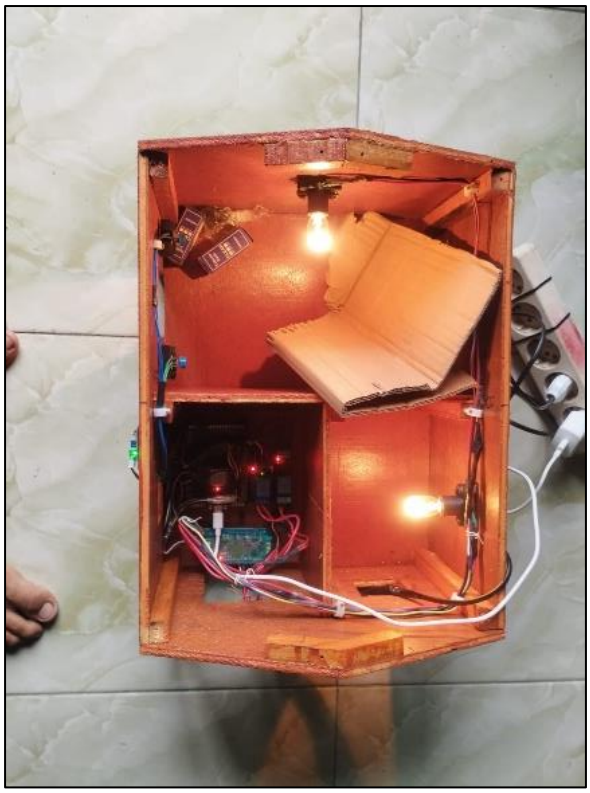
Pengujian Sensor

Berdasarkan implementasi sistem yang telah dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem lampu pintar otomatis bekerja sesuai dengan logika yang telah dirancang. Pengujian ini difokuskan pada proses monitoring data melalui aplikasi *Blynk,* yang berfungsi menampilkan status lampu, intensitas cahaya, deteksi gerakan, serta konsumsi daya listrik secara *real-time*. Seluruh parameter tersebut diamati dalam

berbagai kondisi lingkungan, seperti ruangan terang, ruangan gelap, terdapat gerakan, dan tanpa gerakan, sehingga diperoleh gambaran performa sistem secara menyeluruh.

Pengujian Mode Manual (Aplikasi Blynk)

Pada kondisi pertama, sistem diuji menggunakan fitur kontrol manual melalui aplikasi *Blynk*. Ketika pengguna mengaktifkan saklar pada aplikasi (ON), perintah dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 melalui jaringan Internet. ESP32 kemudian memproses perintah tersebut dan mengaktifkan modul relay sehingga lampu menyala. Sebaliknya, ketika saklar pada aplikasi dimatikan (OFF), ESP32 menerima perintah untuk menonaktifkan relay sehingga lampu mati. Pada kondisi pertama terdapat 2 kejadian: *Blynk* saklar ON, lampu ON dapat dilihat pada gambar berikut.



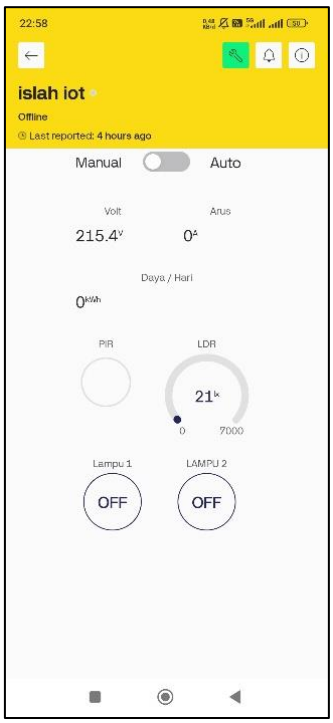
Gambar 2. Kondisi saklar ON (kiri), lampu ON

Berdasarkan Gambar 2, sistem berada pada kondisi mode manual aktif (ON) yang dikendalikan melalui aplikasi *Blynk*. Hal ini ditunjukkan pada tampilan aplikasi di mana saklar berada pada posisi manual, serta status lampu 1 dan lampu 2 menunjukkan kondisi ON. Pada kondisi ini, pengguna memberikan perintah secara langsung melalui aplikasi *Blynk* untuk menyalakan lampu. Perintah tersebut dikirimkan melalui jaringan Internet ke mikrokontroler ESP32, kemudian diproses untuk mengaktifkan modul relay sehingga lampu menyala.

Hasil implementasi pada *prototype* menunjukkan bahwa kedua lampu dalam ruangan menyala sesuai dengan perintah yang diberikan, tanpa dipengaruhi oleh kondisi sensor PIR

maupun LDR. Hal ini menandakan bahwa fitur kontrol manual pada sistem dapat berfungsi dengan baik.

Berikut merupakan tampilan sistem lampu pintar otomatis pada kondisi mode manual (OFF) yang dikendalikan melalui aplikasi *Blynk*. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat mematikan lampu sesuai dengan perintah pengguna secara langsung.



Gambar 3. Kondisi Blynk Saklar OFF (kiri), Kondisi Lampu OFF (kanan)

Berdasarkan Gambar 3, sistem berada pada kondisi mode manual dengan saklar pada aplikasi *Blynk* dalam keadaan OFF. Perintah tersebut dikirimkan melalui jaringan Internet dan diterima oleh mikrokontroler ESP32 untuk memproses instruksi pemadaman lampu. Selanjutnya, modul relay berada dalam kondisi tidak aktif sehingga aliran listrik ke lampu terputus dan kedua lampu berada dalam kondisi mati. Pada kondisi ini, status lampu sepenuhnya dikendalikan oleh pengguna melalui aplikasi tanpa dipengaruhi oleh pembacaan sensor PIR maupun LDR. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi kontrol manual dengan baik dan responsif sesuai dengan perintah yang diberikan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perintah dari aplikasi dengan baik dan tanpa keterlambatan yang signifikan. Pada mode ini, kondisi lampu sepenuhnya dikendalikan oleh pengguna dan tidak dipengaruhi oleh sensor PIR maupun LDR. Hal ini membuktikan bahwa fitur kontrol manual berbasis IoT dapat berjalan secara optimal.

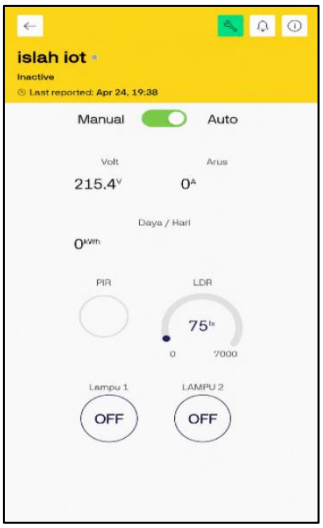
Pada kondisi kedua, sistem diuji dalam mode otomatis dengan kontrol manual dalam keadaan OFF. Dalam mode ini, sistem sepenuhnya bergantung pada input dari sensor LDR dan

PIR untuk menentukan kondisi lampu. Ketika sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya tinggi (terkena cahaya matahari), sistem mengidentifikasi kondisi ruangan sebagai terang sehingga lampu tidak diaktifkan. Sebaliknya, ketika sensor LDR tidak menerima cahaya (ditutup), sistem membaca kondisi sebagai gelap dan secara otomatis mengaktifkan lampu melalui relay.

Selanjutnya, pada kondisi intensitas cahaya berada pada rentang tertentu (sekitar 10–70 lux), sistem mengaktifkan fungsi sensor PIR. Jika pada kondisi tersebut terdapat gerakan yang terdeteksi oleh sensor PIR, maka sistem akan menyalakan lampu. Namun, apabila tidak terdapat gerakan, meskipun kondisi cahaya memenuhi syarat, lampu tetap dalam keadaan mati. Berikut beberapa kejadian dari kondisi kedua:

Sensor LDR (cahaya) terkena cahaya matahari

Berikut merupakan tampilan sistem lampu pintar otomatis pada kondisi mode otomatis aktif (Auto ON) dengan pengaturan manual dalam keadaan OFF dengan kejadian Sensor LDR (cahaya) terkena cahaya matahari.

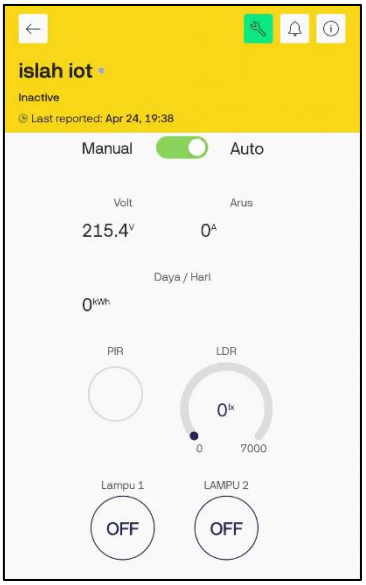


Gambar 4. Kondisi Sensor LDR terkena cahaya matahari

Berdasarkan Gambar 4, sistem berada pada kondisi mode otomatis, di mana kontrol manual tidak aktif dan sistem sepenuhnya dikendalikan oleh sensor. Pada kondisi ini, sensor LDR mendeteksi adanya intensitas cahaya yang tinggi akibat paparan cahaya matahari. Nilai intensitas cahaya yang terbaca menunjukkan bahwa lingkungan berada dalam kondisi terang, sehingga sistem memproses data tersebut dan memutuskan untuk tidak mengaktifkan lampu. Akibatnya, modul relay berada dalam kondisi tidak aktif dan lampu tetap dalam keadaan mati. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan logika yang telah dirancang, yaitu lampu hanya akan menyala ketika kondisi ruangan gelap. Dengan demikian, sistem berhasil menghindari penggunaan energi listrik yang tidak diperlukan dan menunjukkan bahwa fitur otomatis berbasis sensor cahaya dapat berfungsi dengan baik dan efisien.

Sensor LDR Tidak Terkena Cahaya Matahari (ditutup dengan tangan)

Berikut merupakan tampilan sistem lampu pintar otomatis pada kondisi mode otomatis aktif (Auto ON) dengan pengaturan manual dalam keadaan OFF. Pada pengujian ini sensor LDR (cahaya) tidak terkena cahaya Matahari (ditutup dengan tangan) sehingga lampu menyala.



Gambar 5. Kondisi Sensor LDR Tidak Terkena Cahaya Matahari (ditutup dengan tangan)

Gambar 5 menunjukkan kondisi sensor LDR saat tidak terkena cahaya matahari karena ditutup menggunakan tangan. Nilai intensitas cahaya yang terbaca pada aplikasi menjadi rendah (0 lx), sehingga sistem mendeteksi kondisi gelap dan lampu pada prototype menyala secara otomatis.

Jika Sensor LDR diantara 10lux - 70lux dan Ada Gerakan

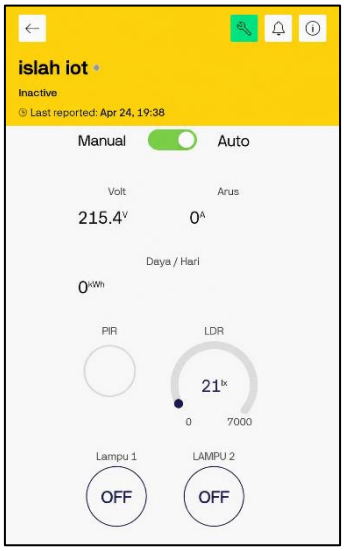
Berikut merupakan tampilan sistem lampu pintar otomatis pada kondisi mode otomatis aktif (Auto ON) dengan pengaturan manual dalam keadaan OFF. Pada pengujian ini sensor LDR di antara 10lux - 70lux.. maka sensor PIR aktif dan jika terkena tangan, lampu akan menyala.

Berdasarkan gambar yang 4.10., sistem berada pada kondisi mode otomatis dengan kontrol manual tidak aktif, sehingga seluruh proses dikendalikan oleh sensor. Pada kondisi ini, intensitas cahaya berada pada rentang tertentu (sekitar 10–70 lux) yang memungkinkan sistem mengaktifkan fungsi sensor PIR. Ketika sensor PIR mendeteksi adanya gerakan, misalnya akibat adanya tangan yang mendekat, maka sensor akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler ESP32. Sinyal tersebut kemudian diproses untuk mengaktifkan modul relay, sehingga lampu menyala. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengintegrasikan dua parameter utama, yaitu intensitas cahaya dan deteksi gerakan, dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian, lampu hanya akan menyala ketika kondisi pencahayaan memenuhi syarat tertentu dan terdapat

aktivitas di dalam ruangan, sehingga sistem dapat bekerja secara lebih efisien dan beradaptasi terhadap lingkungan.

Jika Sensor Pir diantara 10lux - 70lux dan Tidak Ada Gerakan

Berikut merupakan tampilan sistem lampu pintar otomatis pada kondisi mode otomatis aktif (Auto ON) dengan pengaturan manual dalam keadaan OFF. Pada pengujian ini sensor PIR di antara 10lux - 70lux, maka sensor PIR aktif tidak terkena tangan dan lampu tidak menyala.



Gambar 6. Kondisi Jika Sensor Pir diantara 10lux - 70lux dan Tidak Ada Gerakan

Berdasarkan gambar yang 4.6, sistem berada pada kondisi mode otomatis di mana kontrol manual tidak aktif dan seluruh proses dikendalikan oleh sensor. Pada kondisi ini, intensitas cahaya berada pada rentang tertentu (sekitar 10–70 lux) yang memungkinkan sistem mengaktifkan fungsi deteksi gerakan melalui sensor PIR. Namun, meskipun kondisi pencahayaan memenuhi syarat, sensor PIR tidak mendeteksi adanya gerakan di dalam ruangan. Akibatnya, mikrokontroler ESP32 tidak mengaktifkan modul relay sehingga lampu tetap dalam kondisi mati. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya bergantung pada kondisi cahaya, tetapi juga mempertimbangkan keberadaan aktivitas sebagai syarat utama dalam menyalakan lampu. Dengan demikian, sistem mampu bekerja secara selektif dan efisien dalam penggunaan energi listrik dengan hanya mengaktifkan lampu ketika diperlukan. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengintegrasikan dua parameter utama, yaitu intensitas cahaya dan deteksi gerakan, dalam proses pengambilan keputusan. Dengan demikian, sistem dapat bekerja secara adaptif dan efisien dengan hanya menyalakan lampu ketika kondisi ruangan gelap dan terdapat aktivitas.

Pengujian Sistem Menggunakan Metode Black Box Testing

Pengujian sistem pada penelitian ini menggunakan metode *Black Box Testing* yang bertujuan untuk menguji fungsi sistem berdasarkan input dan output tanpa melihat struktur kode program. Pengujian difokuskan pada aspek fungsional sistem, meliputi aktivasi lampu berdasarkan deteksi gerakan, pemadaman lampu otomatis, pengiriman data sensor ke aplikasi *Blynk*, pembacaan intensitas cahaya, indikator status pada aplikasi, serta pencatatan konsumsi energi.

Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai skenario input untuk mengetahui apakah sistem memberikan output yang sesuai dengan yang diharapkan. Berdasarkan hasil pengujian, setiap fitur sistem diuji sebanyak 20 kali sehingga total pengujian mencapai 120. Sistem diuji berdasarkan beberapa fitur utama yang berhubungan dengan fungsi otomatisasi dan monitoring lampu pintar. Fitur yang diuji meliputi aktivasi lampu berdasarkan deteksi gerakan sensor PIR, pemadaman lampu otomatis setelah waktu jeda, pengiriman status sensor PIR ke aplikasi Blynk, pembacaan intensitas cahaya menggunakan sensor LDR, indikator status pada aplikasi Blynk, serta monitoring konsumsi energi listrik menggunakan modul PZEM.

Berdasarkan hasil pengujian *Black Box Testing* menunjukkan bahwa fitur aktivasi lampu berdasarkan deteksi gerakan dan pengiriman status sensor PIR ke aplikasi *Blynk* memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100%. Fitur lainnya seperti pemadaman lampu otomatis, indikator status gerakan, dan pencatatan energi menunjukkan hasil yang stabil dengan tingkat keberhasilan sebesar 95%. Sementara itu, pembacaan sensor LDR memiliki tingkat keberhasilan sebesar 90%. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara responsif dan sesuai dengan logika yang telah dirancang. Sistem berhasil mengintegrasikan sensor PIR, sensor LDR, ESP32, relay, serta platform *Blynk* dalam satu kesatuan yang saling terhubung. Fitur utama sistem, yaitu aktivasi lampu berdasarkan deteksi gerakan, berjalan dengan sangat baik tanpa mengalami kegagalan.

Beberapa kegagalan terjadi pada pembacaan sensor LDR dan pencatatan energi oleh PZEM yang kemungkinan disebabkan oleh faktor lingkungan seperti noise sensor dan fluktuasi tegangan. Namun, kegagalan tersebut tidak mempengaruhi fungsi utama sistem secara keseluruhan. Berdasarkan data hasil pengujian:

Jumlah Berhasil = 115

Jumlah Pengujian = 120

Maka diperoleh:

$$Persentase\ Keberhasilan\ = \frac{115}{120} \times\ 100\% = 95{,}8\ \%\text{.....(I)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, sistem lampu pintar otomatis memperoleh tingkat keberhasilan sebesar 95,8%**.** Nilai 95,8% menunjukkan bahwa sistem telah berjalan dengan Sangat baik berdasarkan interpretasi Suharsimi Arikunto [43]. Dengan demikian, sistem dinyatakan layak untuk digunakan sebagai solusi otomatisasi pencahayaan berbasis *Internet of Things* (IoT).

Pengujian Validasi Pengguna (User Validation Testing)

Pengujian validasi pengguna dilakukan dengan melakukan testing prototipe oleh 5 responden, kemudian diajukan 5 pertanyaan. Selanjutnya analisis dilakukan dengan menghitung persentase skor aktual dari setiap item pertanyaan dibandingkan dengan skor maksimum ideal. Rekapitulasi hasil analisis persentase kelayakan sistem disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Analisis Kelayakan

Kode Pertanyaan	Total Skor	Skor Maksimum	Kategori Kelayakan
P1 (Otomatisasi PIR)	23	25	Sangat Layak / Sangat Baik
P2 (Otomatisasi LDR)	22	25	Sangat Layak / Sangat Baik
P3 (Monitoring Real-time)	23	25	Sangat Layak / Sangat Baik
P4 (Akurasi PZEM-004T)	20	25	Layak / Baik
P5 (Stabilitas ESP32)	20	25	Layak / Baik
Rata-rata Keseluruhan	108	125	Sangat Layak / Sangat Baik

Berdasarkan data rekapitulasi pengujian validasi pengguna (*User Validation Testing*) menggunakan Metode Skor Kumulatif (*Summated Rating Scale*) yang tertera pada Tabel 1. di atas, dilakukan analisis mendalam terhadap performa prototipe sistem lampu pintar berbasis IoT. Nilai total skor kumulatif yang diperoleh dari 5 responden diinterpretasikan secara objektif berdasarkan rentang kriteria kelayakan.

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem lampu pintar otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu bekerja dengan tingkat keberhasilan yang tinggi pada setiap fungsi yang diuji. Integrasi antara sensor *Passive Infrared* (PIR), sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), mikrokontroler ESP32, modul PZEM-004T, dan aplikasi Blynk memungkinkan sistem melakukan pengendalian dan pemantauan penggunaan energi listrik secara otomatis serta *real-time*. Secara keseluruhan, sistem mencapai tingkat keberhasilan sebesar 95,8%, sedangkan tingkat kegagalan pengujian tercatat sebesar 4,2%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem

yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi utamanya secara efektif, meskipun masih terdapat beberapa kendala yang berkaitan dengan sensitivitas sensor dan kestabilan jaringan internet.

Pengujian terhadap fitur aktivasi lampu berdasarkan deteksi gerakan menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Saat mendeteksi keberadaan seseorang, sensor PIR memicu aktivasi otomatis lampu sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Secara keseluruhan, temuan ini membuktikan bahwa kombinasi sensor PIR, ESP32, dan modul relay bekerja secara andal dan cepat. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Patel dan Joshi (2020) yang menyatakan bahwa sensor PIR memiliki kemampuan yang baik dalam mendukung sistem pencahayaan otomatis serta mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik. Selain itu, pengiriman data sensor PIR ke aplikasi Blynk juga menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100%, yang menandakan bahwa komunikasi data melalui jaringan Wi-Fi dapat berlangsung dengan baik. Hasil tersebut mendukung penelitian Khan *et al*. (2022) yang menyatakan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT mampu menyajikan informasi secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Fitur pemadaman lampu otomatis setelah waktu jeda menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 95%, dengan satu kali kegagalan selama proses pengujian. Kegagalan tersebut disebabkan oleh keterlambatan pembacaan sensor PIR dan proses pengolahan data pada mikrokontroler ESP32. Hasil yang diperoleh sejalan dengan penelitian Kumar *et al*. (2019), yang menjelaskan bahwa sistem pencahayaan berbasis IoT masih berpotensi mengalami keterlambatan respons akibat pengaruh sensitivitas sensor dan kualitas jaringan internet. Kondisi serupa juga ditemukan oleh Pambudi *et al*. (2023), yang menyatakan bahwa kestabilan jaringan dan sinkronisasi data menjadi faktor penting dalam menjaga kecepatan respons sistem otomatis berbasis sensor PIR dan LDR.

Pengujian sensor LDR menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 90%, dengan dua kali kegagalan selama proses pengujian. Kegagalan tersebut disebabkan oleh tingginya sensitivitas sensor terhadap perubahan intensitas cahaya di lingkungan sekitar sehingga data yang dihasilkan terkadang mengalami fluktuasi. Meskipun demikian, sensor tetap mampu menjalankan fungsi utamanya sebagai penentu kondisi terang dan gelap untuk mengendalikan lampu secara otomatis. Hasil ini sejalan dengan penelitian Zhang dan Chen (2020), yang menjelaskan bahwa akurasi sensor LDR dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan lingkungan dan memerlukan proses kalibrasi untuk meningkatkan kestabilan pembacaan data. Temuan ini juga diperkuat oleh penelitian Hidayat *et al*. (2022), yang menyatakan bahwa perubahan intensitas

cahaya alami dapat memengaruhi hasil pembacaan sensor pada sistem pencahayaan berbasis IoT.

Pengujian indikator status gerakan pada aplikasi Blynk menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 95%. Kegagalan yang terjadi disebabkan oleh keterlambatan sinkronisasi data antara mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk akibat kondisi jaringan internet yang kurang stabil. Meskipun demikian, sistem tetap mampu menampilkan informasi mengenai kondisi ruangan secara *real-time*. Hasil ini sesuai dengan penelitian Irsyada *et al*. (2021), yang menjelaskan bahwa kualitas jaringan internet dan server komputasi awan (*cloud computing*) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan transmisi data pada sistem berbasis IoT.

Pengujian modul PZEM-004T untuk pemantauan energi listrik menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 95%, dengan satu kali kegagalan yang disebabkan oleh fluktuasi tegangan listrik dan keterlambatan komunikasi serial antara modul PZEM dan ESP32. Walaupun demikian, sistem tetap mampu menampilkan data tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi listrik secara *real-time* melalui aplikasi Blynk. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Liu *et al*. (2021), yang menyatakan bahwa sistem pemantauan energi berbasis IoT dapat membantu pengguna memahami pola konsumsi energi listrik dan meningkatkan efisiensi penggunaan daya. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini memiliki keunggulan karena mengintegrasikan fungsi otomatisasi pencahayaan dan pemantauan konsumsi energi listrik ke dalam satu sistem yang terhubung secara *real-time* melalui teknologi IoT. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi, tetapi juga memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau kondisi pencahayaan dan konsumsi listrik secara lebih akurat dan efisien.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem lampu pintar otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor *Passive Infrared* (PIR), sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), modul PZEM-004T, dan aplikasi Blynk sebagai media pemantauan serta pengendalian sistem secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi dengan tingkat keberhasilan sebesar 95,8%. Sensor PIR mampu mendeteksi keberadaan manusia dan mengaktifkan lampu secara otomatis dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%, sedangkan sensor LDR mampu membaca intensitas cahaya lingkungan dengan tingkat keberhasilan sebesar 90%. Selain itu, modul PZEM-004T dapat melakukan pemantauan parameter kelistrikan, seperti tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi listrik, dengan tingkat keberhasilan sebesar 95%. Hasil

tersebut menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dengan sistem pencahayaan otomatis mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik sekaligus memberikan kemudahan dalam proses pemantauan dan pengendalian sistem.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti pengujian yang dilakukan dalam skala prototipe dan penerapan sistem yang masih terbatas pada satu ruangan. Selain itu, faktor lingkungan, seperti perubahan suhu dan intensitas cahaya, berpotensi memengaruhi tingkat sensitivitas sensor yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan sistem dengan cakupan area yang lebih luas, menerapkan algoritma kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), serta menambahkan fitur analisis data untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, dan kemampuan adaptasi sistem terhadap berbagai kondisi lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, serta dukungan selama proses penyusunan dan penyelesaian penelitian ini. Segala saran dan ilmu yang diberikan menjadi bekal yang sangat berharga dalam penyempurnaan penelitian yang dilakukan. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Program Studi Teknik Komputer dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik dalam bentuk fasilitas, bantuan teknis, maupun motivasi selama penelitian berlangsung. Artikel ini merupakan hasil pengembangan dari skripsi yang berjudul *"Perancangan Lampu Pintar Otomatis Menggunakan Sensor Passive Infrared (PIR) dan Light Dependent Resistor (LDR) dengan Konsep Internet of Things (IoT)". Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan teknologi berbasis Internet of Things (IoT*), khususnya dalam bidang otomatisasi dan efisiensi penggunaan energi listrik.

DAFTAR REFERENSI

Anshori, A., & Rakhmatsyah, F. (2021). Prototipe lighting control system untuk ruangan. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 15(1), 23–29.

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2019). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Blackburn, D. (2018). *Practical electronics handbook* (Edisi ke-7). Newnes.

Brown, T., Williams, J., & Chen, L. (2022). Smart lighting systems and sustainable energy: The role of sensors in reducing carbon emissions. *Journal of Energy Efficiency and Sustainable Technology*, 14(3), 215–228.

Desmira. (2020). Aplikasi sensor LDR untuk efisiensi energi pada lampu penerangan jalan umum. *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi*, 7(1), 34–40.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2019). Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

Hidayat, M. F., Irsyada, R., & Pratama, D. (2022). Penerapan IoT pada kendali lampu menggunakan ESP8266 dan sensor cahaya untuk efisiensi energi. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(2), 250–258.

Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The art of electronics* (Edisi ke-3). Cambridge University Press.

International Energy Agency. (2020). *Energy efficiency 2020*. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020

International Energy Agency. (2023). *Energy efficiency 2023*. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023

Irsyada, R., Saputra, A., & Iqbal, M. (2021). Implementasi monitoring lampu berbasis internet of things menggunakan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 9(1), 45–52. https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v1i7.133

Johnson, L. (2018). Energy-efficient lighting and motion detection systems. *Journal of Sustainable Technology*, 9(1), 45–53.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2017). *Pemborosan energi 80 persen dipengaruhi faktor manusia*. https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/pemborosan-energi-80-persen-faktor-manusia

Khan, M., Rahim, A., & Nadeem, S. (2022). IoT-based smart lighting systems for energy efficiency: Design and performance evaluation. *IEEE Access*, 10, 11230–11240.

Kumar, T., Gupta, R., & Singh, M. (2019). Implementation of energy-efficient smart lighting system using IoT. *Journal of Energy and Power Engineering*, 13(4), 45–52.

Lee, K., Park, J., & Kim, S. (2021). Energy efficiency optimization in smart lighting systems: A case study. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*.

Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2020). The internet of things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259. https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7

Liu, H., Zhang, Y., & Wang, L. (2021). An improved PIR-based human detection algorithm for intelligent home monitoring. *IEEE Access*, 9, 14452–14460.

Liu, Y., Zhang, X., & Wang, H. (2021). Energy monitoring and user behavior in IoT-enabled lighting control systems. *Journal of Building Performance*, 11(2), 95–104.

Lynch, M. (2022). *ESP32 development using Arduino IDE*. Maker Press.

Mahardhika, S., & Fatimah, T. (2023). Sistem penerangan otomatis berbasis prototyping pada Zonaphoto menggunakan sensor LDR dan PIR berbasis Android. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi*.

Pambudi, A. P., Nugraha, R., & Ramadhan, F. (2023). Implementasi sistem pencahayaan otomatis dan monitoring berbasis IoT pada area parkir menggunakan sensor LDR dan PIR. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 11(3), 349–357.

Patel, R., & Joshi, K. (2020). Smart lighting system using IoT and PIR sensor. *International Journal of Engineering Research and Technology*.

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach* (Edisi ke-9). McGraw-Hill Education.

Qiftia, F. Z. (2022). *Pengembangan lampu otomatis menggunakan sensor LDR dan sensor PIR berbasis Arduino Uno* [Skripsi sarjana, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri, Bojonegoro].

Rahman, A., & Setiawan, D. (2022). Automatic lighting control using LDR sensor for energy efficiency. *International Journal of Smart Technology*, 7(2), 112–118.

Rambe, A. H., Lubis, D. S., & Ridwan, M. (2016). Analisis besar potensi penghematan energi pada kasus kelistrikan rumah tangga yang menerapkan sistem manajemen energi model on-demand. *Jurnal Singuda Ensikom*, 16(45), 45–52.

Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855–873. https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2652320

Schwartz, R. (2020). Principles of passive infrared sensors for automation. *Smart Home Technology*, 12(3), 33–42.

Silva, J., Reyes, M., & Torres, C. (2022). Performance evaluation of ESP32-based wireless IoT devices in real-time automation systems. *International Journal of Internet of Things and Applications*, 12(3), 89–97.

Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (Edisi ke-10). Pearson.

Zhang, L., & Chen, H. (2020). Perancangan dan pengujian sensor LDR untuk kendali lampu rumah.