

Pengembangan Smart Lighting Berbasis ESP32 dan Blynk untuk Mendukung Smart Village

Wahju Tjahjo Saputro^{*1}, Hamid Muhammad Jumasa², Murhadi³

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purworejo
e-mail: ^{*1}wahjusaputro@umpwr.ac.id, ²hamidjumasa@umpwr.ac.id, ³murhadi@umpwr.ac.id

Correspondence author email: *

Abstrak

Infrastruktur pencahayaan publik yang efisien menjadi kunci dalam mewujudkan smart village. Sistem konvensional seringkali boros energi dan sulit di monitor. Oleh sebab itu diperlukan solusi teknologi berbasis IoT untuk pengelolaan yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem lampu penerangan pintar berbasis IoT, menggunakan mikrokontroler ESP32 WROOM dan aplikasi Blynk. Model pendekatan menggunakan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). Perangkat keras terdiri dari ESP32 WROOM DevKitC v4, PZEM-004T v3, Relay 2 Channel Optocoupler, dan smartphone. Perangkat lunak menggunakan Arduino IDE, Fritzing, EasyEDA, dan Blynk sebagai antarmuka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dalam mengendalikan lampu secara real-time melalui smartphone dari lokasi manapun. Sistem ini menunjukkan respon yang cepat, stabil, dan berpotensi menghemat konsumsi energi listrik sebesar 23,33%. Oleh karena itu, pengembangan sistem ini efektif mendukung infrastruktur smart village yang modern dan efisien. Penelitian ini telah berkontribusi dalam menghasilkan model sistem smart lighting yang mudah dibangun, murah, dan handal dalam mengendalikan lampu penerangan.

Kata kunci—Smart lighting, ESP32 WROOM, ADDIE, Blynk, Smart village

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah membawa transformasi signifikan bagi tata kelola wilayah, perkotaan (smart city) [1], [2], [3], [4]. Namun satu dekade ini mulai merambah ke wilayah pedesaan melalui konsep smart village [2], [5]. Smart village atau desa cerdas merupakan inovasi yang bertujuan mengintegrasikan teknologi digital ke dalam kehidupan pedesaan guna meningkatkan kualitas hidup [6], [7], keberlanjutan ekonomi [8], dan ketahanan lingkungan [9]. Salah satu pilar utama dalam infrastruktur smart village adalah sistem penerangan yang cerdas dan efisien. Di banyak wilayah pedesaan di Indonesia, sistem penerangan jalan umum (PJU) masih dikelola secara manual atau menggunakan timer sederhana yang sering kali tidak akurat, sehingga menyebabkan pemborosan energi yang signifikan dan biaya operasional membebani anggaran desa.

Implementasi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi cerdas untuk mengatasi masalah ini. Penggunaan mikrokontroler seperti ESP32 WROOM telah menjadi standar baru dalam pengembangan sistem IoT karena kemampuannya yang mumpuni. Menurut [10], ESP32 NodeMCU v3 memiliki keunggulan dibandingkan pendahulunya, ESP8266 seperti dilakukan oleh [11] dalam hal stabilitas koneksi Wi-Fi dan kemampuan pemrosesan data sensor yang lebih cepat berkat fitur dual-core yang dimilikinya. Hal ini sangat krusial untuk perangkat yang ditempatkan di lingkungan luar ruangan yang dinamis. Selain itu, platform Blynk telah terbukti menjadi antarmuka yang andal untuk monitoring jarak jauh. Kemudian [4] dalam tinjauannya menyatakan bahwa Blynk menyediakan platform low-cost namun sangat tangguh untuk kendali peralatan listrik di area dengan infrastruktur terbatas.

Tinjauan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa otomatisasi lampu jalan menggunakan sensor LDR (Light Dependent Resistor) [12], [13] dan PIR (Passive Infrared) [6], [13] mampu menekan konsumsi energi hingga 45%. Penelitian [2], [4], [5], [7], [8] juga menegaskan bahwa optimasi pencahayaan berbasis IoT di pedesaan dapat memudahkan

manajemen fasilitas publik bagi perangkat desa melalui kontrol berbasis cloud. Namun, meskipun teknologi ini telah banyak dibahas, terdapat celah penelitian yang cukup lebar. Sebagian besar penelitian sistem pencahayaan pintar selama ini lebih banyak berfokus pada implementasi di skala perkotaan atau kompleks perumahan elit yang sudah memiliki infrastruktur jaringan internet dan stabilitas daya listrik yang mapan [2], [3], [4], [5]. Sebaliknya, riset mengenai penerapan teknologi serupa di desa-desa dengan karakteristik infrastruktur yang masih berkembang terutama memperhatikan aspek kemudahan perawatan oleh warga masih sangat terbatas.

Pentingnya penelitian ini didasari oleh kebutuhan mendesak akan efisiensi anggaran desa dan peningkatan keamanan lingkungan. Lampu jalan yang sering kali tetap menyala di siang hari karena kelalaian manual merupakan pemborosan nyata dari dana desa yang seharusnya bisa dialokasikan untuk sektor lain. Di sisi lain, penerangan yang tidak stabil di area pedesaan sering kali berkorelasi dengan angka kriminalitas dan kecelakaan lalu lintas di malam hari. Dengan sistem Smart Lighting berbasis ESP32 WROOM, desa tidak hanya mendapatkan penghematan biaya listrik, tetapi juga data real-time.

Kebaharuan penelitian ini terletak pada integrasi sensor pengukuran kelistrikan PZEM-004T v3 dengan logika kendali otomatis pada infrastruktur desa yang belum terstandarisasi. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada saklar on-off otomatis, sistem ini menghadirkan fitur audit energi secara real-time yang memungkinkan pemerintah desa memonitor pemborosan listrik secara kuantitatif. Kontribusi ilmiah penelitian ini adalah perumusan model efisiensi berbasis IoT yang dapat diukur, terutama dalam persentase penghematan untuk lingkungan smart village, sehingga selain implementasi teknis, juga menyediakan data empiris bagi kebijakan anggaran desa.

Desa Krandegan dikenal sebagai salah satu desa yang progresif dalam digitalisasi layanan desa di Kabupaten Purworejo dan meraih juara III tingkat nasional sebagai desa digital. Meskipun telah memiliki beberapa inovasi digital, infrastruktur fisik seperti penerangan jalan di Desa Krandegan masih memerlukan sentuhan teknologi IoT untuk mencapai visi Smart Village yang utuh. Tantangan spesifik di Desa Krandegan, seperti letak geografis yang beragam dan kebutuhan akan sistem yang tahan terhadap gangguan cuaca, memerlukan adaptasi perangkat keras ESP32 WROOM yang lebih tangguh dibandingkan model standar. Penelitian [14] mencatat bahwa tantangan utama infrastruktur digital di Purworejo adalah kesiapan sumber daya manusia desa dalam mengoperasikan teknologi baru, sehingga penggunaan aplikasi Blynk yang intuitif dalam penelitian ini menjadi solusi yang relevan.

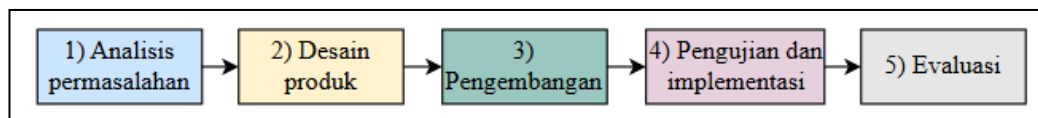
Selain itu, penelitian ini melibatkan integrasi komponen dan sensor untuk menciptakan sistem pencahayaan adaptif. Penelitian [12], [13] menjelaskan bahwa sistem adaptif yang menyesuaikan intensitas cahaya berdasarkan cahaya sekitar (ambient light) dan keberadaan objek adalah cara paling efektif untuk menjaga umur lampu dan menghemat daya. Penelitian [14] juga mengacu pada kerangka kerja transformasi digital di Jawa Tengah yang menekankan solusi berbasis lokal untuk pelayanan infrastruktur.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang, menguji, dan mengimplementasikan sistem smart lighting yang efisien di Desa Krandegan menggunakan mikrokontroler ESP32 WROOM dan sensor PZEM-004T v3, dengan kendali terpusat melalui aplikasi Blynk. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi pemerintah Desa Krandegan dalam mengelola PJU secara cerdas dan menjadi model bagi desa-desa lain di Kecamatan Bayan dalam mewujudkan infrastruktur Smart Village. Dengan keberhasilan alat yang telah diuji dan berfungsi dengan baik, paper ini akan memaparkan bagaimana teknologi IoT yang murah namun andal dapat diadopsi sepenuhnya oleh masyarakat desa untuk mendukung program kemandirian energi dan digitalisasi pedesaan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **model ADDIE** (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*) [15], [16], [17]. Tahap ADDIE ditunjukkan pada Gambar 1,

memfokuskan pada tahap analisis permasalahan, desain produk, pengembangan, pengujian dan implementasi, dan evaluasi.



Gambar 1. Model ADDIE pada sistem *smart lighting*

Pelaksanaan penelitian secara detail ditunjukkan pada Gambar 2. Model ADDIE yang digunakan untuk pengembangan sistem *smart lighting* ada lima tahap utama dan saling berkesinambungan. Peneliti menjalankan setiap tahap secara sistematis untuk memastikan sistem berfungsi sesuai dengan tujuan awal.

Tahap analisis permasalahan merupakan langkah awal yang krusial sebelum peneliti merancang perangkat keras dan perangkat lunak. Peneliti melakukan survei dan pengamatan langsung di Desa Krandegan Kecamatan Bayan Kabupaten Purworejo untuk memperoleh gambaran nyata mengenai kondisi infrastruktur penerangan di lingkungan desa.

Peneliti mengamati kondisi sistem penerangan yang sudah ada. Peneliti mencatat bahwa penerangan di balai desa dan jalan desa masih menggunakan sistem konvensional. Setiap hari ada warga atau perangkat desa yang menghidupkan lampu menjelang malam dan mematikan lampu di pagi hari. Peneliti menemukan dua jalur utama penerangan yang memerlukan penanganan. Jalur pertama mencakup lampu penerangan di dalam ruang balai desa ada dua titik dan area teras satu titik lampu. Jalur kedua ada 10 titik lampu penerangan jalan umum di sekitar kompleks balai desa. Peneliti mengamati bahwa pengoperasian kedua jalur lampu tersebut masih bergantung pada saklar manual, menimbulkan ketidakefisienan apabila perangkat desa lupa mematikan lampu pagi atau malam hari.

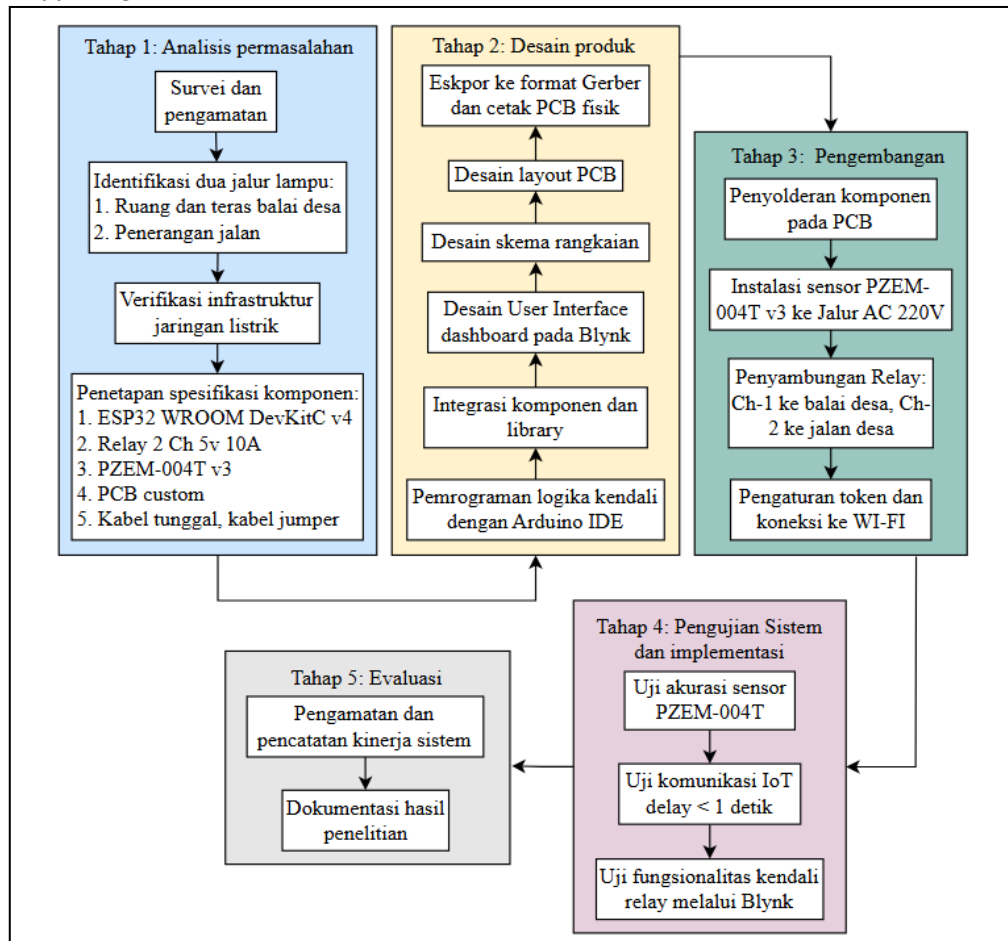
Selanjutnya, peneliti melakukan survei terhadap ketersediaan infrastruktur jaringan komunikasi data di lokasi penelitian. Peneliti memverifikasi secara langsung ketersediaan dan kualitas koneksi internet di area balai desa. Peneliti mencatat bahwa lokasi penelitian telah terjangkau oleh layanan internet rumahan (residential) dari penyedia layanan telekomunikasi. Peneliti melakukan pengukuran bandwidth menggunakan alat bantu *speedtest* untuk memastikan kecepatan internet. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa koneksi internet di lokasi tersebut memiliki kecepatan unduh dan unggah (*upload/download*) hingga 20 Mbps (*Megabits per second*). Peneliti menilai bahwa kecepatan jaringan 20 Mbps tersebut sudah sangat memadai untuk mendukung komunikasi data protokol IoT secara *real-time* antara perangkat mikrokontroler dengan *server cloud*.

Peneliti juga melakukan wawancara singkat dengan kepala dan perangkat desa sebagai pengguna akhir (*end-user*). Peneliti menggali informasi mengenai kebutuhan utama terkait pengendalian lampu. Hasil wawancara menunjukkan bahwa perangkat desa sangat membutuhkan sistem yang memungkinkan perangkat desa dapat mengendalikan lampu balai desa dan lampu jalan secara jarak jauh melalui *smartphone*. Peneliti juga memperoleh data spesifikasi teknis, seperti tegangan listrik mencapai 220 Volt AC, yang menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan komponen sensor arus. Data-data yang peneliti kumpulkan melalui survei dan pengamatan ini menjadi acuan fundamental dalam menentukan spesifikasi perangkat keras dan merancang alur kerja sistem.

Peneliti menganalisis seluruh kebutuhan komponen berdasarkan data survei. Peneliti menetapkan modul utama menggunakan mikrokontroler ESP32 WROOM DevKitC v4. Peneliti memilih modul ESP32 karena kapasitas pengolahan data yang tinggi dan telah dilengkapi dengan fitur built-in Wi-Fi yang kompatibel dengan koneksi internet 20 Mbps. Peneliti menentukan kebutuhan sensor menggunakan PZEM-004T v3. Sensor PZEM-004T v3 berfungsi untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi pada kedua jalur lampu AC 220V secara *real-time*. Peneliti menetapkan kebutuhan aktuator menggunakan modul relay 2 channel 5V 10A Optocoupler. Modul relay ini berfungsi sebagai saklar elektronik yang

akan memutus dan menghubungkan arus listrik menuju beban lampu. Peneliti juga menetapkan kebutuhan perangkat lunak menggunakan IDE Arduino sebagai platform pemrograman dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pengendali jarak jauh yang terinstal di *smartphone*.

Tahap desain produk, peneliti menggunakan Arduino IDE. Peneliti menyertakan *library* WiFi.h untuk koneksi jaringan, *library* PZEM004Tv30.h untuk pembacaan sensor, dan *library* BlynkSimpleEsp32.h untuk komunikasi IoT. Selanjutnya perintah kendali untuk menghubungkan dengan *cloud Blynk* diatur melalui tokenisasi. Tokenisasi berisi nama user, port serial, *password*, dan token autentikasi. Pengaturan pin untuk relay 2 Channel Optocoupler menggunakan pin 12 dan 13, termasuk mengambil nilai virtual pada variabel program dari variabel Wi-Fi dan sensor PZEM-004T v3.

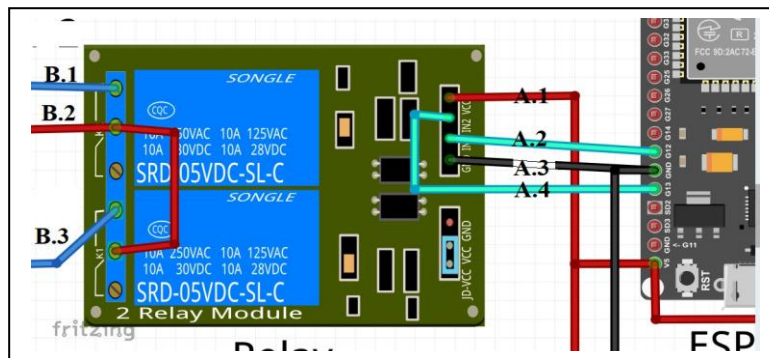


Gambar 2. Tahap penelitian sistem *smart lighting*

Peneliti memprogram sistem supaya ESP32 WROOM secara berkala mengambil data pembacaan tegangan, arus, dan daya listrik dari sensor PZEM-004T. Peneliti menulis perintah kendali dari relay 2 Channel Optocoupler pada program agar ESP32 WROOM menerima instruksi *toggle* (nyala/mati) dari *cloud Blynk*, selanjutnya mengubah status logika tinggi (*high*) atau rendah (*low*) pada pin GPIO relay.

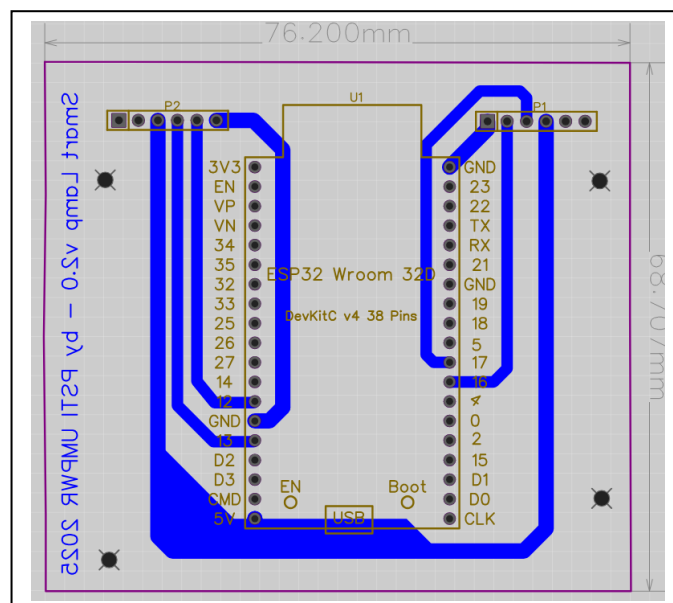
Di sisi lain, peneliti merancang antarmuka pengguna (*User Interface / UI*) pada aplikasi Blynk. Peneliti membuat rancangan proyek di *Blynk Cloud* dan terhubung dengan perangkat ESP32 WROOM menggunakan *authentication* token. Peneliti menambahkan *widget* tombol (*button*) sebanyak dua buah pada aplikasi *Blynk* sesuai jumlah jalur lampu. Peneliti mengkonfigurasi tombol pertama sebagai kendali untuk jalur lampu ruang balai desa dan teras. Peneliti mengkonfigurasi tombol kedua sebagai kendali untuk jalur lampu penerangan jalan. Peneliti juga menambahkan *widget* Label atau *Gauge* pada aplikasi Blynk untuk menampilkan data *realtime* konsumsi daya listrik yang dikirim oleh sensor PZEM-004.

Tahap pengembangan dengan membuat rangkaian elektronik. Peneliti menggunakan perangkat lunak Fritzing sebagai alat bantu desain skematik. Melalui Fritzing, peneliti memetakan seluruh hubungan kabel antar komponen. Peneliti menghubungkan pin 16 dan 17 pada ESP32 WROOM ke soket pin komunikasi serial sensor PZEM-004T v3. Peneliti menghubungkan pin 5V ESP32 WROOM ke pin sinyal relay 2 Channel Optocoupler. Peneliti merancang pembagian jalur relay secara jelas seperti Gambar 3. Relay Ch-1 Optocoupler pertama terhubung ke jalur kelistrikan lampu ruang balai desa dan teras, sedangkan Ch-2 Optocoupler kedua terhubung ke jalur kelistrikan lampu penerangan jalan.



Gambar 3. Pembagian jalur relay, ESP32 WROOM dan kelistrikan

Setelah skema rangkaian pada Fritzing selesai, peneliti melanjutkan proses desain ke tahap papan sirkuit cetak (*Printed Circuit Board / PCB*) pada perangkat lunak EasyEDA. Peneliti mendisain dan meletakkan komponen-komponen ESP32 WROOM, relay 2 Channel Optocoupler, sensor PZEM-004T v3, soket terminal ke dalam EasyEDA. Peneliti melakukan routing jalur tembaga pada PCB dengan memperhatikan lebar jalur untuk arus tinggi, terutama pada jalur yang menuju modul relay dan terminal tegangan AC 220V. Peneliti mengatur jarak antar jalur PCB untuk mencegah terjadinya *short circuit* atau *korsleting*. Hasil desain papan sirkuit siap cetak ditunjukkan pada Gambar 4. Peneliti mengeksport desain layout PCB dari EasyEDA ke dalam format file Gerber. Peneliti mengirimkan file Gerber tersebut ke vendor manufaktur PCB untuk dicetak secara fisik.



Gambar 4. Desain papan sirkuit

Berikutnya merakit semua komponen pada papan PCB yang telah selesai dicetak. Peneliti memasang modul ESP32 WROOM, Relay 2 Channel Optocoupler, dan terminal pada papan PCB menggunakan teknik penyolderan. Peneliti memasang sensor PZEM-004T v3 di luar papan PCB karena sensor ini memerlukan kontak langsung dengan jalur listrik AC 220V.

Peneliti melakukan pengujian dan implementasi. Proses yang dilalui instalasi dan pemasangan pada balai Desa Krandegan Kecamatan Bayan Kabupaten Purworejo. Peneliti memotong jalur kabel listrik utama yang menuju lampu ruang balai desa, lampu teras, dan lampu jalan. Peneliti menyambungkan kabel *fase* dari masing-masing jalur tersebut ke terminal output Relay 2 Channel Optocoupler sesuai dengan pembagian yang telah peneliti tetapkan pada tahap desain. Peneliti menyambungkan sensor PZEM-004T v3 secara paralel dengan sumber tegangan PLN dan secara seri dengan beban lampu untuk memonitor arus yang mengalir. Peneliti menghubungkan sistem ke sumber daya 5V DC melalui adaptor. Terakhir, peneliti menyalakan perangkat ESP32 WROOM sehingga perangkat tersebut terhubung ke jaringan Wi-Fi telekomunikasi 20 Mbps dan aplikasi Blynk menunjukkan status online.

Peneliti melakukan serangkaian pengujian untuk memvalidasi kinerja keseluruhan sistem. Peneliti menguji fungsionalitas *smart lighting* dengan menekan tombol kendali pada aplikasi Blynk melalui smartphone yang terhubung ke internet. Peneliti mengamati respon Relay 2 Channel Optocoupler. Peneliti menguji performa komunikasi data IoT pada jaringan lokal WI-FI balai desa 20 Mbps. Peneliti mengukur delay atau jeda waktu antara penekanan tombol pada aplikasi Blynk hingga terdengar suara klik pada relay fisik. Peneliti menguji akurasi pembacaan sensor PZEM-004T v3. Peneliti membandingkan nilai tegangan dan arus yang ditampilkan pada aplikasi Blynk dengan alat ukur Multimeter digital.

Terakhir tahap evaluasi, dilakukan dengan mengamati kinerja sistem dan melakukan pencatatan pada logbook. Pengamatan dilakukan selama 21 hari, meliputi waktu pengamatan, pencatatan daya, tegangan, arus, status kelistrikan PLN, status sistem, dan waktu respon ketika sistem mengendalikan lampu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini diperoleh bahwa sistem *smart lighting* dapat berfungsi dengan baik. Hal ini sesuai tujuan penelitian tanpa hambatan signifikan dari jaringan internet. Keberhasilan translasi skema teoritis ini ke kondisi riil menjadi sebuah perangkat nyata secara langsung dapat membuktikan kelayakan rancangan teknis untuk mendukung konsep infrastruktur sistem *smart village* secara optimal. Sistem *smart lighting* ketika diuji dapat mengendalikan lampu teras, balai desa dan penerangan jalan. Bahkan hasil pengujian setelah dilakukan pengaturan waktu pada *Blynk*, ketika jelang malam dan pagi hari lampu pada kedua jalur dapat hidup dan mati secara otomatis.

Hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 5 rangkaian sistem *smart lighting* berbasis IoT yang telah terpasang di balai desa dan terkoneksi dengan tegangan AC 220V. Gambar 5 menyajikan integrasi antara modul utama ESP32 WROOM sebagai pusat pengendali dengan sensor PZEM-004T v3 untuk pemantauan daya listrik secara *real-time*, serta Relay 2 Channel Optocoupler sebagai aktuator. Sistem ini menghubungkan tegangan AC 220V yang melewati *Closed CT* untuk pengukuran arus AC menuju dua jalur beban, yakni jalur lampu 1 dan lampu 2 serta saklar manual sebagai cadangan bila tidak ada akses internet.

Hasil tampilan *Graphical User Interface* (GUI) pada aplikasi *Blynk* ditunjukkan pada Gambar 6. GUI pada Gambar 6 menyajikan tampilan informasi daya satuan Watt, tegangan satuan Voltase, dan arus satuan Ampere. Ada dua tombol, untuk jalur pertama mengendalikan lampu balai desa dan teras. Tombol kedua mengendalikan lampu penerangan jalan baik menekan tombol maupun terjadwal sesuai waktu yang diatur.

Pembahasan penelitian ini dimulai dari membandingkan pengukuran pada beban lampu menggunakan Multimeter Zotek ZT100 dengan sensor PZEM-004T v3. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Tabel 1. Keakuratan sensor PZEM-004T v3 menghasilkan nilai error rata-rata

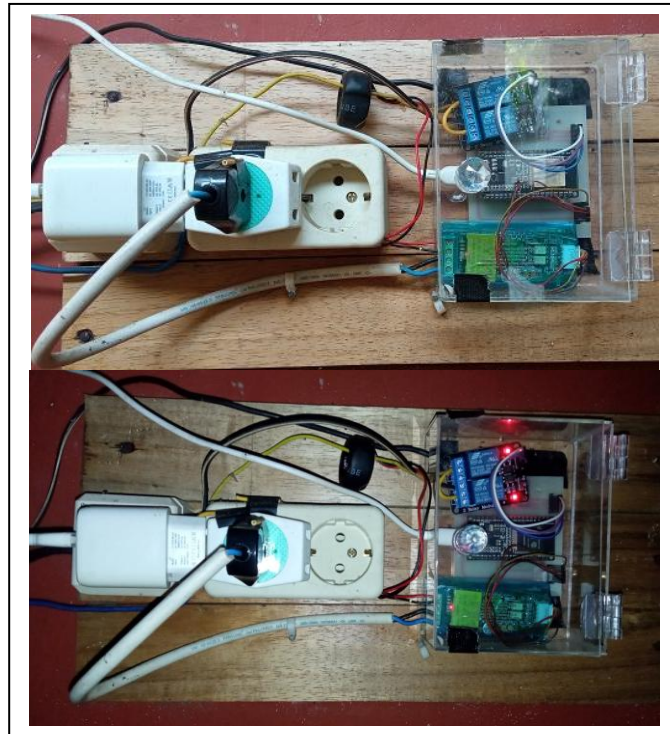
tegangan sebesar 0.1 Volt dan error arus sebesar 0.001 Ampere. Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T v3 dapat mengukur secara akurat dan masih dalam batas toleransi.

Pengamatan pertama sistem *smart lighting* dilakukan pada tanggal 15 Januari 2026 pada pukul 17:40 Wib dan 05:30 Wib. Pengamatan secara terus menerus untuk memastikan sistem bekerja dengan baik. Kondisi mati dan nyala sesuai pengaturan waktu pada aplikasi *Blynk*. Berdasarkan Tabel 1, peneliti mengambil sampel data pada saat lampu dalam kondisi menyala (beban penuh) dan kondisi mati (tanpa beban). Hasil pengujian validasi menunjukkan bahwa perbedaan nilai (error) antara pembacaan sensor PZEM-004 dengan multimeter ZT100 berada di bawah batas toleransi 2%. Keseluruhan tahapan pengujian ini membuktikan bahwa prototipe *smart lighting* yang peneliti kembangkan telah berfungsi dengan baik, akurat, dan responsif untuk mendukung efisiensi infrastruktur di lingkungan *smart village*.

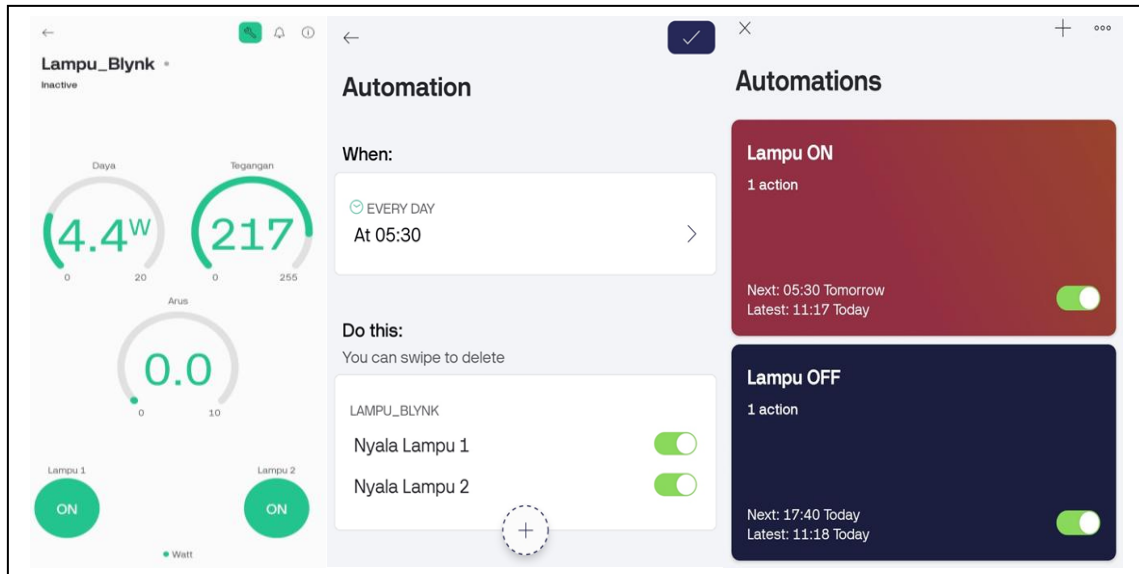
Tabel 1. Perbandingan kinerja sensor PZEM-004T v3 dan Multimeter ZT100

No	15-01-2026	Sensor PZEM-004T v3		Multimeter ZT100	
	Waktu	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
1	09:20	215	0,031	215,3	0,030
2	09:30	215	0,033	215,4	0,031
3	09:50	218	0,033	217,9	0,032
4	10:20	220	0,032	220,3	0,031
5	10:50	216	0,034	215,7	0,032
	Rata-rata	216,8	0,032	216,9	0,031

*Sumber: (Krandegan, 2026)



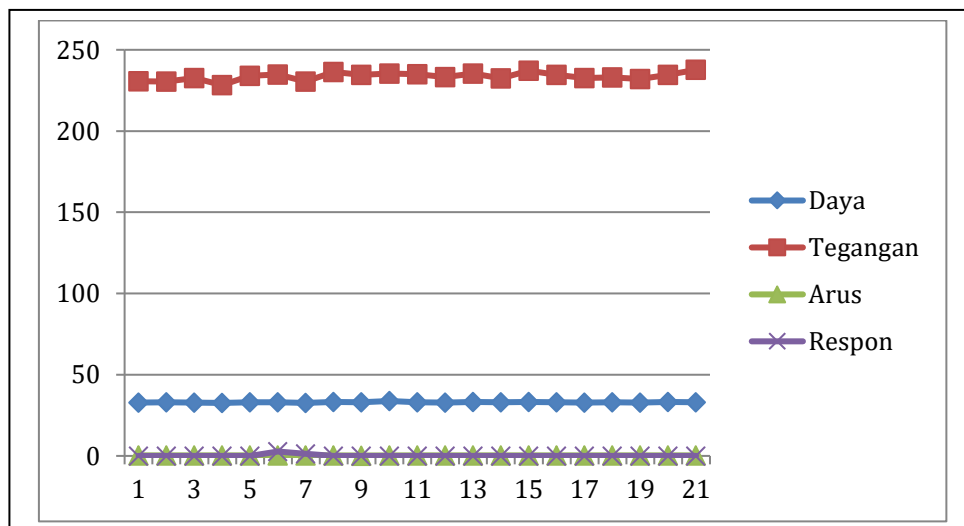
Gambar 5. Sistem *Smart lighting* terpasang kondisi siang (atas) dan malam (bawah)



Gambar 6. Tampilan GUI sistem *smart lighting*

Pengamatan kedua dilakukan selama 21 hari pada tanggal 20 Februari – 12 Maret 2026. Selanjutnya hasil pengamatan disajikan pada Tabel 2 lengkap melingkupi waktu, daya, tegangan daya, respon alat, status PLN dan status sistem. Terjadi pemadaman listrik dua kali tanggal 25 dan 26 Februari 2026. Waktu respon sistem terhadap koneksi internet ditunjukkan pada Tabel 2.

Hasil pengujian melalui GUI tombol *Blynk* menunjukkan bahwa ketika peneliti menekan tombol pertama, relay Ch-1 mengaktifkan jalur lampu ruang balai desa dan teras status berhasil atau On. Demikian pula, peneliti menekan tombol kedua, relay Ch-2 berhasil menghidupkan dan mematikan jalur lampu penerangan jalan. Selanjutnya pengujian melalui mode waktu (otomatis) peneliti mencatat bahwa jeda waktu yang terjadi 0,0 detik, ditunjukkan pada Tabel 2. Hal ini menandakan bahwa *bandwidth* 20 Mbps sangat mendukung komunikasi IoT tanpa jeda yang signifikan. Kecuali hari keenam dan ketujuh yang mengalami pemadaman listrik. Namun, ketika terjadi pemadaman listrik PLN, sistem mampu merespon dibawah limat detik. Secara visualisasi kuantitatif peneliti juga menyajikan kinerja sistem *smart lighting* seperti Gambar 7.



Gambar 7. Visualisasi kinerja sistem *smart lighting*

Pada aspek analisis efisiensi energi, untuk mengukur efisiensi sistem secara kuantitatif, dilakukan perbandingan konsumsi energi listrik antara sistem konvensional dan sistem smart

lighting. Berdasarkan observasi, sistem konvensional rata-rata dinyalakan perangkat desa pukul 17:00 dan dimatikan pukul 06:00 Wib (13 jam/hari). Bahkan sering terjadi kelalaian lampu menyala di siang hari rata-rata 2 jam, sehingga total menyala mencapai 15 jam/hari.

Tabel 2. Hasil pengamatan kinerja sistem *smart lighting*

Hari ke-	Tanggal / Waktu	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Status PLN	Status Sistem	Respon (detik)
1	20-Februari-2026	32.9	230.6	0.212	On	On	0.0
2	21-Februari-2026	33	230.4	0.209	On	On	0.0
3	22-Februari-2026	32.9	232.7	0.211	On	On	0.0
4	23-Februari-2026	32.6	228.3	0.214	On	On	0.0
5	24-Februari-2026	33	234.0	0.211	On	On	0.0
6	25-Februari-2026	33	234.8	0.212	Off 09:00-11:30	On	2.7
7	26-Februari-2026	32,7	230.4	0.213	Off 09:15-12:30	On	1.3
8	27-Februari-2026	33.2	236.3	0.213	On	On	0.0
9	28-Februari-2026	33	234.5	0.207	On	On	0.0
10	1-Maret-2026	33.8	235.3	0.271	On	On	0.0
11	2-Maret-2026	33.1	235	0.216	On	On	0.0
12	3-Maret-2026	32.9	233.3	0.211	On	On	0.0
13	4-Maret-2026	33.2	235.4	0.212	On	On	0.0
14	5-Maret-2026	33	232.5	0.213	On	On	0.0
15	6-Maret-2026	33.3	237.2	0.212	On	On	0.0
16	7-Maret-2026	33.1	234.5	0.210	On	On	0.0
17	8-Maret-2026	32.9	232.6	0.211	On	On	0.0
18	9-Maret-2026	33	233.1	0.213	On	On	0.0
19	10-Maret-2026	32.9	232	0.214	On	On	0.0
20	11-Maret-2026	33.2	234.5	0.212	On	On	0.0
21	12-Maret-2026	33	237.7	0.212	On	On	0.0

*Sumber: (Krandegan, 2026)

Sistem *smart lighting* menawarkan teknologi berbasis IoT, lampu dapat diatur otomatis melalui *smartphone* dengan aplikasi *Blynk* berdasarkan jadwal yang ketat, dari pukul 18:00 hingga 05:30 Wib (11,5 jam/hari) tanpa kelalaian siang hari. Dengan daya beban rata-rata 33 watt sesuai Tabel 2, maka perhitungan efisiensi adalah 23,33%. Diperoleh dari konsumsi energi konvensional: 33 watt x 15 jam = 495 Wh/hari. Konsumsi energi *smart lighting* 33 watt x 11,5 jam = 379,5 Wh/hari. Penghematan energi terhitung 495 Wh – 379,5 Wh = 115,5 Wh/hari maka persentase efisiensi penghematan energi $(115 \text{ Wh} / 495 \text{ Wh}) \times 100\% = 23,33\%$. Angka ini menunjukkan bahwa sistem *smart lighting* berhasil memberikan efisiensi konsumsi energi listrik yang signifikan.

Hasil analisis kuantitatif menunjukkan efisiensi energi sebesar 23,33% dan waktu respon sistem dibawah 3 detik pada jaringan 20 Mbps. Efisiensi ini diperoleh berkat eliminasi kelalaian manusia (human error) dalam mematikan lampu pada siang hari. Temuan ini sejalan dengan penelitian [7], [10], [18] yang menyatakan bahwa otomatisasi lampu jalan mampu menekan konsumsi energi hingga 45%. Sistem *smart lighting* pada penelitian ini efisiensi energi mencapai 23,33%, berada dibawah angka maksimal penelitian sebelumnya. Karena beban PJU di Desa Krandegan belum memanfaatkan dimmer, namun penghematan sangat terasa pada anggaran desa dan minimalisasi campur tangan manusia. Akurasi sensor PZEM-004T v3 dengan error dibawah

2% membuktikan bahwa data pembacaan arus dan daya yang dikirim melalui aplikasi Blynk valid untuk dijadikan dasar audit energi skala desa, suatu hal yang tidak diakomodasi oleh sistem konvensional.

Tabel 3 menunjukkan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penerapan sistem smart lighting. Tabel 3 menyajikan bahwa teknologi IoT dapat mengubah pengelolaan PJU dari sistem konvensional, rawan kelalaian manusia, dan tidak terukur menjadi otomatis, akurat, dan terkontrol secara real-time.

Tabel 3. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penerapan sistem

Parameter	Sistem Konvensional	Smart Lighting
Durasi Nyala/hari	Rata-rata 15 jam/hari	11,5 jam/hari
Monitoring Daya	Tidak terpantau	Real-time via aplikasiBlynk
Konsumsi Energi	495 Wh/hari	379,5 Wh/hari
Efisiensi Energi	0%	23,33%

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan penerapan teknologi IoT melalui pengembangan sistem *smart lighting* menggunakan ESP32 WROOM dan aplikasi Blynk memiliki potensi besar dalam mendukung visi *smart village*. Sistem ini telah dapat diimplementasikan, manfaat dapat dirasakan masyarakat, terbukti efektif dengan mengurangi keterlibatan manusia dalam mengendalikan lampu penerangan.

Secara kuantitatif, penghematan energi menunjukkan efisiensi sebesar 23,33%. Dibandingkan sistem konvensional, dengan mengurangi durasi operasional lampu rata-rata 15 jam/hari. Sistem juga menunjukkan unjuk kerja yang andal dengan waktu respon jarak jauh mencapai 0 detik pada jaringan stabil, dan waktu pemulihan dibawah 3 detik pasca pemadaman PLN.

Akurasi monitoring daya listrik real-time memiliki tingkat error dibawah 2%. Dengan kontribusi berupa model penghematan energi sistem smart lighting berpotensi mengurangi beban anggaran desa. Untuk pengembangan selanjutnya disarankan penambahan fitur dimming berbasis sensor LDR untuk meningkatkan persentase efisiensi, dan integrasi database cloud untuk pencatatan historis konsumsi energi jangka panjang.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kepala Desa Krandegan Kecamatan Bayan Kabupaten Purworejo dan Universitas Muhamadiyah Purworejo, bahwa penelitian ini telah mendapat dukungan penuh melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat dengan Surat Keputusan Nomor 005/LPPM/K/HI/P2/VIII/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Albana, A. Asgalani, and M. D. Rachmadani, "Esensial Internet of Things dalam Konsep Bangunan Cerdas," in Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur, FTSP ITATS, 2021, pp. 457–461.
- [2] N. Cvar, J. Trilar, A. Kos, M. Volk, and E. S. Duh, "The use of iot technology in smart cities and smart villages: Similarities, differences, and future prospects," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 14, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/s20143897.
- [3] A. Degada, H. Thapliyal, and S. P. Mohanty, "Smart Village: An IoT Based Digital

- Transformation,” 7th IEEE World Forum Internet Things, WF-IoT 2021, pp. 459–463, 2021, doi: 10.1109/WF-IoT51360.2021.9594980.
- [4] P. Chanak and I. Banerjee, “Internet-of-Things-Enabled SmartVillages: An Overview,” *IEEE Consum. Electron. Mag.*, vol. 10, no. 3, pp. 12–18, 2021, doi: 10.1109/MCE.2020.3013244.
 - [5] S. Renukappa, S. Suresh, W. Abdalla, N. Shetty, N. Yabbati, and R. Hiremath, “Evaluation of smart village strategies and challenges,” *Smart Sustain. Built Environ.*, 2022, doi: 10.1108/SASBE-03-2022-0060.
 - [6] S. G. Tzafestas, “Ethics and law in the internet of things world,” *Smart Cities*, vol. 1, no. 1, pp. 98–120, 2018, doi: 10.3390/smartcities1010006.
 - [7] H. Sujadi, N. Nurdiana, and R. I. Maulana, “Pengembangan Sistem Smart Village Berbasis Internet of Things untuk Meningkatkan Kualitas Hidup di Desa,” *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 141–146, 2023, doi: 10.52158/jacost.v4i2.474.
 - [8] M. R. Maliki, “The Implementation of The Smart Village Concept Based on the Internet of Things in Ogan Ilir in The Digital Development of Village Economoy Toward Society 5.0,” *Int. J. Community Care Humanit.*, vol. 2, no. 06, pp. 750–761, 2024.
 - [9] M. A. Suharto, M. N. Apriyani, and E. M. Safitri, “Peningkatan Kesadaran Internet Sehat Menggunakan Blog Berbasis Internet of Things bagi Pemuda Desa Miru-Kabupaten Lamongan,” *J. Dedik. Huk.*, vol. 2, no. 2, pp. 117–129, 2022, doi: 10.22219/jdh.v2i2.22302.
 - [10] M. A. Ashari and L. Lidyawati, “Iot Berbasis Sistem Smart Home MenggunakanNodemcu V3,” *J. Kaji. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 67–172, 2019.
 - [11] A. D. Pangestu, A. Feby, and A. Bengawan, “Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Ardiono NodeMCU 8266,” *J. Ampere*, vol. 4, no. 1, pp. 187–197, 2019.
 - [12] S. Suratin and C. Fadhillah, “Rancang Bangun Lampu Otomatis Menggunakan Sensor PIR dan LCD Display Berbasis Tinkercad,” *JETI (Jurnal Elektron. dan Teknol. Informasi)*, vol. 6, no. 2, pp. 12–19, 2025, doi: 10.5201/jet.v6i2.512.
 - [13] A. P. Pambudi, A. P. Supriyadi, A. R. Kurniadi, R. Fazryansyah, and A. Stefanie, “Implementasi Sistem Pencahayaan Otomatis dan Monitoring Berbasis IoT pada Area Parkir Menggunakan Sensor LDR dan PIR,” *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 13, no. 3, pp. 2119–2126, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6703.
 - [14] W. T. Saputro and B. P. Darminto, “Kajian Tentang Smart City: Paradigma, Kesempatan, Permasalahan Yang Ada Di Kabupaten Purworejo,” *INTEK J. Inform. dan Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.37729/intek.v2i1.83.
 - [15] M. Nadzirin, A. Nur, R. Prajono, Y. A. Koedoes, I. Galulu, and A. Lolok, “Analisis Kebutuhan Sistem Laboratorium Virtual IoT Terintegrasi SPADA Universitas Halu Oleo,” *J. Fokus Elektroda Energi List. Telekomun. Komputer, Elektron. dan Kendali*, vol. 09, no. 04, pp. 218–222, 2024, doi: 10.33772/jfe.v9i4.986.
 - [16] R. H. N. Harefa, M. Giatman, and D. Irfan, “Development of IoT Light Planning Assistant Technology for Smart Electrical System Simulation in Utilities Construction Drawing Learning Buildings at Private Vocational Schools of the Nias Regional Government,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 11, no. 8, pp. 273–281, 2025, doi: 10.29303/jppipa.v11i8.12286.
 - [17] S. C. Abadi, D. J. Saputro, M. N. Rizal, A. Mulyadewi, and E. Mardoyo, “Street Lighting Design with IoT-Based Energy Management in Cibuluh Village,” *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 6, no. 1, pp. 54–61, 2026, doi: 10.47709/brilliance.v6i1.7853 Street.
 - [18] E. Supriyadi and S. Dinaryati, “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Listrik Rumah Tangga Berbasis NodeMCU 8266,” *J. Sinusoida*, vol. 22, no. 4, pp. 13–23, 2020.