

Pengembangan Modular Smart PJU di Gang Makam dan Terminal Keputih Surabaya

Bayu Sandi Marta¹, Fernando Ardilla², Iwan Kurnianto Wibowo³, Dewi Mutiara Sari⁴, Dwi Kurnia Basuki⁵, Mochamad Mobed Bachtiar⁶, Eko Susanto⁷

¹²³⁴⁵⁶⁷Departemen Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

bayu@pens.ac.id¹, nando@pens.ac.id², eone@pens.ac.id³, dewi.mutiara@pens.ac.id⁴, dwiki@pens.ac.id⁵, mobed@pens.ac.id⁶, ekos@pens.ac.id⁷

ABSTRACT

Street lighting (PJU) is a crucial infrastructure for supporting public safety and mobility, particularly in the Gang Makam Keputih area and around the Keputih Terminal in Surabaya. In 2025, the PENS Computer Engineering Study Program implemented community service through the development of an Internet of Things (IoT)-based Smart Street Lighting (Street Lighting) system with a simpler and more accurate architecture than previous systems. The system utilizes a single ESP32 microcontroller integrated with a PZEM energy measurement module and a Real Time Clock (RTC) to read voltage, current, power, energy, and power factor parameters in real time and send data to a server via WiFi for display on a web-based monitoring dashboard. Implementation results demonstrated stable system performance and improved effectiveness of remote monitoring and control, with an average user satisfaction rating of 8.7/10 for device usability and 8.6/10 for website usability. Therefore, this system is considered worthy of development and replication in other areas.

Keywords: Smart PJU, street lighting, IoT, power efficiency, community service

ABSTRAK

Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan infrastruktur penting dalam mendukung keamanan dan mobilitas masyarakat, khususnya di wilayah Gang Makam Keputih dan sekitar Terminal Keputih, Surabaya. Pada tahun 2025, Program Studi Teknik Komputer PENS melaksanakan pengabdian masyarakat melalui pengembangan Smart PJU berbasis Internet of Things (IoT) dengan arsitektur yang lebih sederhana dan akurat dibandingkan sistem sebelumnya. Sistem menggunakan satu mikrokontroler ESP32 terintegrasi dengan modul pengukuran energi PZEM dan Real Time Clock (RTC) untuk membaca parameter tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya secara real-time serta mengirimkan data ke server melalui WiFi untuk ditampilkan pada dashboard monitoring berbasis web. Hasil implementasi menunjukkan sistem bekerja stabil dan mampu meningkatkan efektivitas monitoring serta kontrol jarak jauh, dengan rerata tingkat kepuasan pengguna sebesar 8,7/10 untuk kebermanfaatan alat dan 8,6/10 untuk kemudahan penggunaan website, sehingga sistem ini dinilai layak untuk dikembangkan dan direplikasi pada wilayah lain.

Kata kunci: Smart PJU, Internet of Things (IoT), ESP32, PZEM, monitoring energi listrik, penerangan jalan umum, pengabdian pada masyarakat

PENDAHULUAN

Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan infrastruktur dasar yang memiliki peran krusial dalam menunjang keselamatan, keamanan, dan kenyamanan aktivitas

masyarakat, khususnya pada malam hari. Keberadaan PJU yang memadai meningkatkan visibilitas pengguna jalan, mengurangi risiko kecelakaan lalu lintas, serta menekan potensi tindak kriminal di lingkungan permukiman [1]. Selain itu, pencahayaan jalan yang baik turut berkontribusi terhadap peningkatan kualitas hidup masyarakat dan mendukung aktivitas sosial maupun ekonomi pada kawasan perkotaan [2]. Keterbatasan atau ketiadaan PJU pada jalan lingkungan dan gang permukiman sering kali menimbulkan berbagai permasalahan, seperti rendahnya rasa aman, meningkatnya potensi kecelakaan, serta berkurangnya aktivitas warga pada malam hari [3]. Kondisi ini masih banyak dijumpai di kawasan permukiman padat penduduk, terutama pada ruas jalan yang tidak termasuk dalam prioritas utama pembangunan infrastruktur kota. Oleh karena itu, penyediaan PJU yang merata menjadi kebutuhan mendesak dalam rangka menciptakan lingkungan permukiman yang aman dan layak huni. Urgensi penyediaan PJU tersebut telah diakomodasi dalam berbagai regulasi pemerintah. Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan menegaskan bahwa prasarana jalan, termasuk penerangan jalan, merupakan bagian integral dari sistem keselamatan lalu lintas yang wajib disediakan [4]. Regulasi ini menempatkan PJU sebagai elemen penting dalam menjamin keselamatan pengguna jalan, baik pejalan kaki maupun pengendara.

Selanjutnya, Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah memberikan kewenangan kepada pemerintah daerah untuk menyelenggarakan urusan pekerjaan umum dan penataan ruang, termasuk penyediaan dan pemeliharaan PJU [5]. Hal ini menegaskan bahwa pemerintah daerah memiliki tanggung jawab langsung dalam memastikan ketersediaan penerangan jalan hingga ke tingkat jalan lingkungan dan kawasan permukiman. Dari sisi teknis, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat telah menerbitkan Pedoman Teknis Penyelenggaraan Penerangan Jalan Umum yang mengatur perencanaan, pemasangan, dan pemeliharaan PJU sesuai dengan klasifikasi jalan dan karakteristik kawasan [3]. Pedoman ini menekankan bahwa jalan lingkungan memiliki kebutuhan pencahayaan yang spesifik dan harus disesuaikan dengan aktivitas masyarakat serta kondisi fisik jalan. Selain itu, Badan Standardisasi Nasional melalui SNI 7391:2008 menetapkan standar teknis penerangan jalan di kawasan perkotaan, meliputi tingkat iluminasi, jenis sumber cahaya, dan tata letak lampu [1]. Penerapan standar ini bertujuan untuk menjamin kualitas pencahayaan yang aman, nyaman, dan efisien secara energi, sekaligus mendukung keberlanjutan sistem PJU. Sejalan dengan kebijakan efisiensi energi nasional, pemerintah mendorong penggunaan teknologi lampu hemat energi, khususnya Light Emitting Diode (LED), dalam penyelenggaraan PJU. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menyatakan bahwa penggunaan lampu LED pada PJU mampu menurunkan konsumsi energi listrik dan biaya operasional secara signifikan dibandingkan teknologi konvensional [6]. Kebijakan ini juga sejalan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menekankan pentingnya penghematan energi dan pemanfaatan teknologi ramah lingkungan [7].

Dalam konteks lokal, permasalahan keterbatasan PJU juga ditemukan di beberapa titik lingkungan permukiman di Kelurahan Keputih, Kota Surabaya. Hasil

observasi lapangan menunjukkan bahwa Keputih Gang Makam serta area di depan Terminal Keputih memiliki tingkat pencahayaan yang minim pada malam hari. Kondisi ini berdampak pada rendahnya visibilitas pengguna jalan, meningkatnya rasa tidak aman warga, serta berpotensi menimbulkan risiko kecelakaan dan gangguan keamanan lingkungan. Keterbatasan tersebut menunjukkan bahwa meskipun regulasi dan standar teknis telah tersedia, implementasi PJU di tingkat lingkungan masih belum sepenuhnya merata. Diperlukan sinergi berbagai pihak untuk mendukung pelaksanaan kebijakan pemerintah agar dapat menjangkau kebutuhan nyata masyarakat di tingkat akar rumput [8]. Salah satu bentuk sinergi tersebut adalah keterlibatan perguruan tinggi melalui kegiatan pengabdian kepada masyarakat.



Gambar 1. Lokasi Pemasangan PJU di Terminal Keputih

Sebagai bagian dari pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi, khususnya pada aspek pengabdian kepada masyarakat, perguruan tinggi memiliki peran strategis dalam menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menjawab permasalahan nyata di masyarakat [9]. Melalui pendekatan partisipatif dan aplikatif, kegiatan pengabdian diharapkan dapat mendukung implementasi kebijakan pemerintah sekaligus memberikan manfaat langsung bagi masyarakat. Berdasarkan hal tersebut, Tim Pengabdian Masyarakat Prodi Teknik Komputer PENS melaksanakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa perancangan, pembuatan, dan pemasangan dua unit lampu PJU di Keputih Gang Makam dan di depan Terminal Keputih, Surabaya. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas penerangan jalan lingkungan, memperkuat rasa aman masyarakat, serta menjadi contoh implementasi PJU berbasis regulasi dan standar teknis yang dapat

direplikasi pada kawasan permukiman lain dengan permasalahan serupa [10]. Pemasangan Tim Pengabdian Masyarakat Prodi Teknik Komputer PENS kali ini adalah kedua kalinya. Tetapi kali ini menawarkan desain sistem tertanam yang lebih efektif dan efisien baik dari segi dimensi maupun dari segi keakuratan pembacaan sensor.



Gambar 2. Lokasi Pemasangan PJU di Gang Makam Keputih

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Kegiatan

Lokasi dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat Prodi Teknik Komputer PENS tahun 2025 berada di Terminal Keputih (https://goo.gl/maps/rojEvcJiHyJHFGUm9?g_st=aw) dan di Gang Makam Keputih (https://goo.gl/maps/3q9w8Fz1XdhPgb1y8?g_st=aw).

2. Metode

Metode pelaksanaan pengabdian masyarakat tahun 2025 merupakan pengembangan dari sistem Modular Smart PJU tahun 2024 dengan pendekatan penyederhanaan arsitektur perangkat keras dan peningkatan akurasi sistem monitoring energi. Jika pada tahun 2024 sistem menggunakan dua mikrokontroler (ATmega328P dan ESP32) serta komunikasi LoRa dan watchdog eksternal berbasis IC 555, maka pada implementasi tahun 2025 arsitektur sistem disederhanakan menjadi satu mikrokontroler yaitu ESP32 yang menangani seluruh proses pembacaan sensor, pengolahan data, komunikasi jaringan, serta kontrol lampu PJU. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem, mempermudah instalasi dan perawatan, serta mengurangi potensi kegagalan akibat kompleksitas rangkaian.

Pada sistem Smart PJU 2025, pembacaan parameter listrik tidak lagi menggunakan sensor CT dan ZMPT101B seperti pada tahun sebelumnya, melainkan menggunakan modul PZEM yang mampu mengukur tegangan, arus, daya aktif, energi (kWh), serta faktor daya secara langsung dan lebih presisi. Data hasil pembacaan dari PZEM dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi serial TTL untuk kemudian diproses dan dikirimkan ke server IoT melalui koneksi WiFi. Dengan penggunaan modul PZEM, tingkat akurasi sistem meningkat dan proses kalibrasi menjadi lebih sederhana dibandingkan metode pengukuran sebelumnya.

ESP32 pada sistem ini berfungsi sebagai pusat kendali (end node) yang mengintegrasikan seluruh proses, mulai dari pembacaan data energi listrik, pencatatan waktu berbasis RTC (Real Time Clock) on-board, hingga pengiriman data ke server cloud. Penambahan RTC memungkinkan setiap data yang dikirim memiliki timestamp yang akurat, sehingga histori konsumsi daya dapat dianalisis secara lebih sistematis. Selain itu, sistem juga mendukung fungsi kontrol ON/OFF lampu melalui platform berbasis web yang terhubung ke server.

Data yang dikirim oleh ESP32 disimpan dalam database dan divisualisasikan melalui dashboard monitoring berbasis web. Melalui dashboard tersebut, pengguna dapat memantau kondisi lampu PJU secara real-time, melihat nilai tegangan, arus, daya, serta faktor daya, dan melakukan kontrol jarak jauh apabila diperlukan. Dengan pendekatan ini, sistem Smart PJU 2025 tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sistem manajemen energi sederhana yang dapat membantu pihak kelurahan dalam melakukan evaluasi konsumsi daya dan deteksi gangguan lebih dini. Secara keseluruhan, metode yang digunakan pada pengabdian masyarakat tahun 2025 menitikberatkan pada integrasi sistem yang lebih sederhana, peningkatan akurasi pengukuran energi, serta optimalisasi konektivitas berbasis WiFi dan IoT, sehingga perangkat lebih mudah direplikasi dan dikembangkan pada wilayah lain dengan kebutuhan serupa.

3. Studi Pustaka

Pada tahap ini dilakukan kajian terhadap Regulasi pemerintah mengenai Penerangan Jalan Umum (PJU), Standar teknis sistem monitoring energi listrik, Implementasi IoT berbasis WiFi pada infrastruktur publik, dan Studi sebelumnya mengenai Smart PJU tahun 2024 sebagai baseline evaluasi dan perbandingan sistem, serta dokumentasi teknis modul ESP32 dan PZEM.

4. Survei

Tim melakukan survei langsung ke wilayah Gang Makam Keputih dan sekitar Terminal Keputih untuk:

- Mengidentifikasi titik pemasangan PJU.
- Mengamati kondisi jaringan listrik eksisting.
- Menganalisis kestabilan sinyal WiFi/internet.
- Melakukan diskusi dengan pihak kelurahan dan warga sekitar.

Data hasil survei digunakan sebagai dasar penentuan desain mekanik enclosure dan konfigurasi sistem monitoring.

5. Perancangan dan Pembuatan Produk

Tahap perancangan dan pembuatan produk merupakan tindak lanjut dari hasil survey lapangan yang telah dilakukan di wilayah Gang Makam Keputih dan sekitar Terminal Keputih. Pada tahap ini, tim pengabdian masyarakat melakukan analisis kebutuhan teknis berdasarkan kondisi instalasi listrik eksisting, kebutuhan monitoring energi, serta kemudahan perawatan oleh pihak kelurahan. Berbeda dengan sistem tahun 2024 yang masih menggunakan arsitektur dual mikrokontroler dan sensor terpisah, pada pengembangan tahun 2025 dilakukan penyederhanaan desain dengan pendekatan sistem terintegrasi berbasis satu mikrokontroler ESP32 dan modul pengukuran energi PZEM. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem, mengurangi kompleksitas wiring, serta meminimalkan potensi kesalahan pembacaan sensor.

Proses perancangan tidak hanya mencakup aspek perangkat keras (hardware), tetapi juga perangkat lunak (firmware dan sistem IoT). Integrasi antara pembacaan parameter listrik, pencatatan waktu berbasis RTC, serta komunikasi data ke server dirancang agar berjalan stabil dalam kondisi operasional luar ruangan. Selain itu, desain mekanik berupa enclosure juga diperhatikan agar tahan terhadap kondisi lingkungan seperti panas, kelembapan, dan getaran. Setelah tahap desain selesai, dilakukan proses perakitan, pengujian awal di laboratorium, serta integrasi penuh dengan sistem monitoring berbasis web sebelum perangkat dipasang di lapangan.

Adapun tahapan teknis pada proses perancangan dan pembuatan produk meliputi:

1. Perancangan Hardware
 - Desain skematik integrasi ESP32 dengan modul PZEM.
 - Integrasi RTC on-board untuk pencatatan waktu.
 - Perancangan sistem proteksi listrik (MCB dan isolasi).
 - Desain dan pembuatan enclosure tahan cuaca (weatherproof).
2. Perancangan Firmware
 - Pengembangan program ESP32 untuk pembacaan data PZEM secara periodik.
 - Implementasi sistem timestamp menggunakan RTC.
 - Pengiriman data ke server melalui protokol HTTP/MQTT.
 - Implementasi fitur kontrol ON/OFF lampu melalui perintah dari server.
3. Pengembangan Sistem IoT
 - Perancangan struktur database untuk penyimpanan histori data energi.
 - Pembuatan dashboard monitoring berbasis web.
 - Visualisasi parameter tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya.
 - Integrasi fitur kontrol jarak jauh melalui antarmuka website.
4. Perakitan dan Uji Awal
 - Perakitan modul dalam panel PJU.
 - Pengujian fungsi pembacaan data dan komunikasi WiFi.
 - Validasi awal terhadap kestabilan sistem sebelum instalasi lapangan.

6. Pengujian Integrasi Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan untuk memastikan perangkat Smart PJU 2025 berfungsi secara optimal, akurat, dan stabil sebelum serta sesudah implementasi di lapangan. Pengujian diawali dengan validasi akurasi pembacaan modul PZEM terhadap parameter tegangan, arus, dan daya dengan membandingkannya menggunakan alat ukur standar seperti multimeter dan clamp meter guna mengetahui persentase error yang dihasilkan. Selanjutnya dilakukan pengujian fungsional untuk memastikan ESP32 mampu membaca data secara periodik, mencatat waktu menggunakan RTC dengan benar, serta mengirimkan data ke server melalui koneksi WiFi tanpa gangguan. Pengujian komunikasi juga dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan jaringan, latensi pengiriman data, dan konsistensi penyimpanan data pada database serta tampilan dashboard monitoring. Selain itu, sistem diuji dalam kondisi operasional berkelanjutan selama beberapa hari guna mengamati kestabilan perangkat terhadap kemungkinan reset tak terduga, gangguan konektivitas, maupun anomali pembacaan data, sehingga perangkat yang dipasang di Gang Makam Keputih dan sekitar Terminal Keputih dapat dipastikan bekerja secara andal dalam mendukung sistem monitoring dan kontrol PJU berbasis IoT.

7. Implementasi Aplikasi

Perangkat yang telah diuji kemudian dipasang pada titik PJU di Gang Makam Keputih dan Area sekitar Terminal Keputih.

8. Serah Terima dan Sosialisasi

Setelah sistem aktif, dilakukan demonstrasi penggunaan dashboard monitoring, penjelasan parameter listrik (tegangan, arus, daya, faktor daya), dan penjelasan prosedur kontrol dan troubleshooting dasar. Perangkat kemudian diserahkan kepada pihak kelurahan sebagai bentuk luaran pengabdian masyarakat.

9. Analisa dan Penulisan Laporan

Tahap analisa dan evaluasi dilakukan untuk menilai performa sistem Smart PJU 2025 setelah diimplementasikan di Gang Makam Keputih dan sekitar Terminal Keputih. Evaluasi mencakup aspek akurasi pengukuran energi listrik, kestabilan komunikasi IoT, kemudahan operasional oleh pihak kelurahan, serta efektivitas sistem dalam membantu monitoring dan kontrol PJU secara real-time. Selain itu, dilakukan perbandingan dengan sistem tahun sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kegiatan pengabdian masyarakat tahun 2025, sistem Smart PJU yang dikembangkan berhasil diimplementasikan di dua lokasi utama yaitu Gang Makam Keputih dan sekitar Terminal Keputih. Berbeda dengan implementasi tahun sebelumnya yang menggunakan arsitektur dual mikrokontroler dan komunikasi LoRa, sistem tahun 2025 telah disederhanakan menjadi satu mikrokontroler ESP32 dengan modul pengukuran energi PZEM. Penyederhanaan ini berdampak pada

instalasi yang lebih ringkas, wiring yang lebih sederhana, serta peningkatan akurasi pembacaan parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan faktor daya.

Tahap pembuatan dimulai dari integrasi ESP32 dengan modul PZEM dan RTC dalam satu panel kontrol. Sistem dirancang agar dapat dipasang langsung pada box panel PJU eksisting tanpa mengubah instalasi utama. Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pengujian awal untuk memastikan pembacaan data stabil sebelum perangkat dipasang di lapangan. Gambar 3 adalah proses integrasi modul, perakitan dalam panel, serta tahap pengujian awal perangkat sebelum implementasi lapangan.



Gambar 3. Proses Pembuatan Modul

Pemasangan perangkat di Gang Makam Keputih dilakukan dengan koordinasi bersama pihak kelurahan dan teknisi setempat. Lokasi ini dipilih karena merupakan jalur lingkungan dengan aktivitas warga yang cukup tinggi pada malam hari. Sistem dipasang pada panel kontrol PJU dan diintegrasikan dengan sumber listrik eksisting. Setelah pemasangan, perangkat berhasil membaca parameter listrik secara real-time dan mengirimkan data ke server melalui koneksi WiFi yang tersedia di lokasi. Gambar 4 merupakan proses instalasi di Gang Makam Keputih dan Gambar 5 merupakan instalasi di Terminal Keputih.

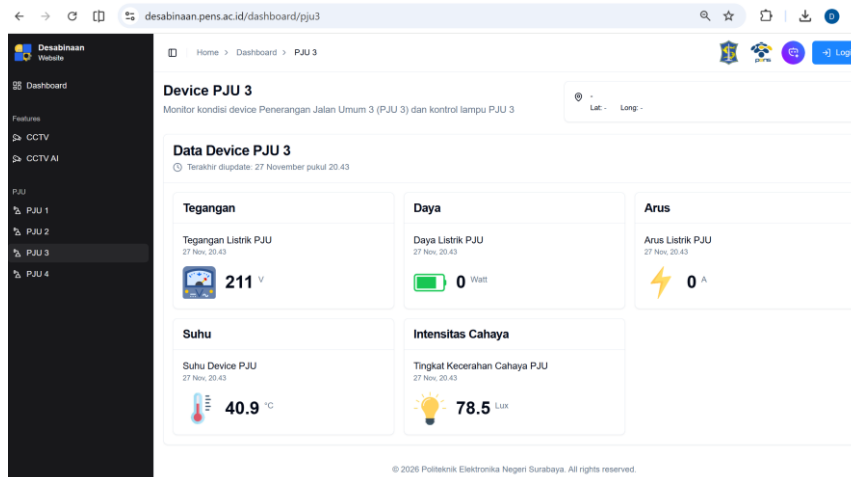


Gambar 4. Pemasangan Modular *Smart PJU* di Gang Makam Keputih

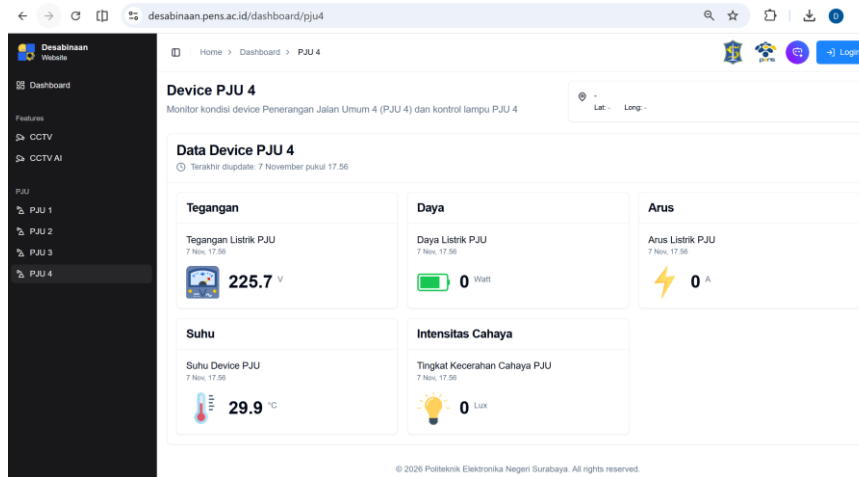


Gambar 5. Pemasangan Modular *Smart PJU* di Terminal Keputih

Dashboard monitoring berbasis web menampilkan data parameter listrik secara numerik dan grafis. Pengguna dari pihak kelurahan dapat mengakses sistem melalui browser untuk melihat kondisi lampu serta melakukan kontrol jarak jauh. Gambar 6 dan 7 merupakan tampilan *dashborad monitoring web smart PJU* di Terminal Keputih dan di Gang Makam Keputih.

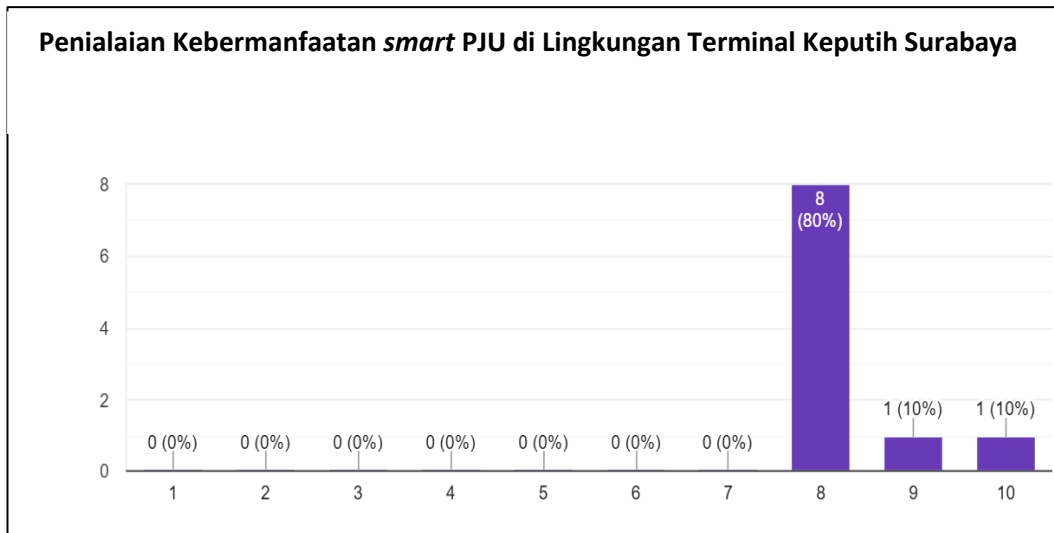


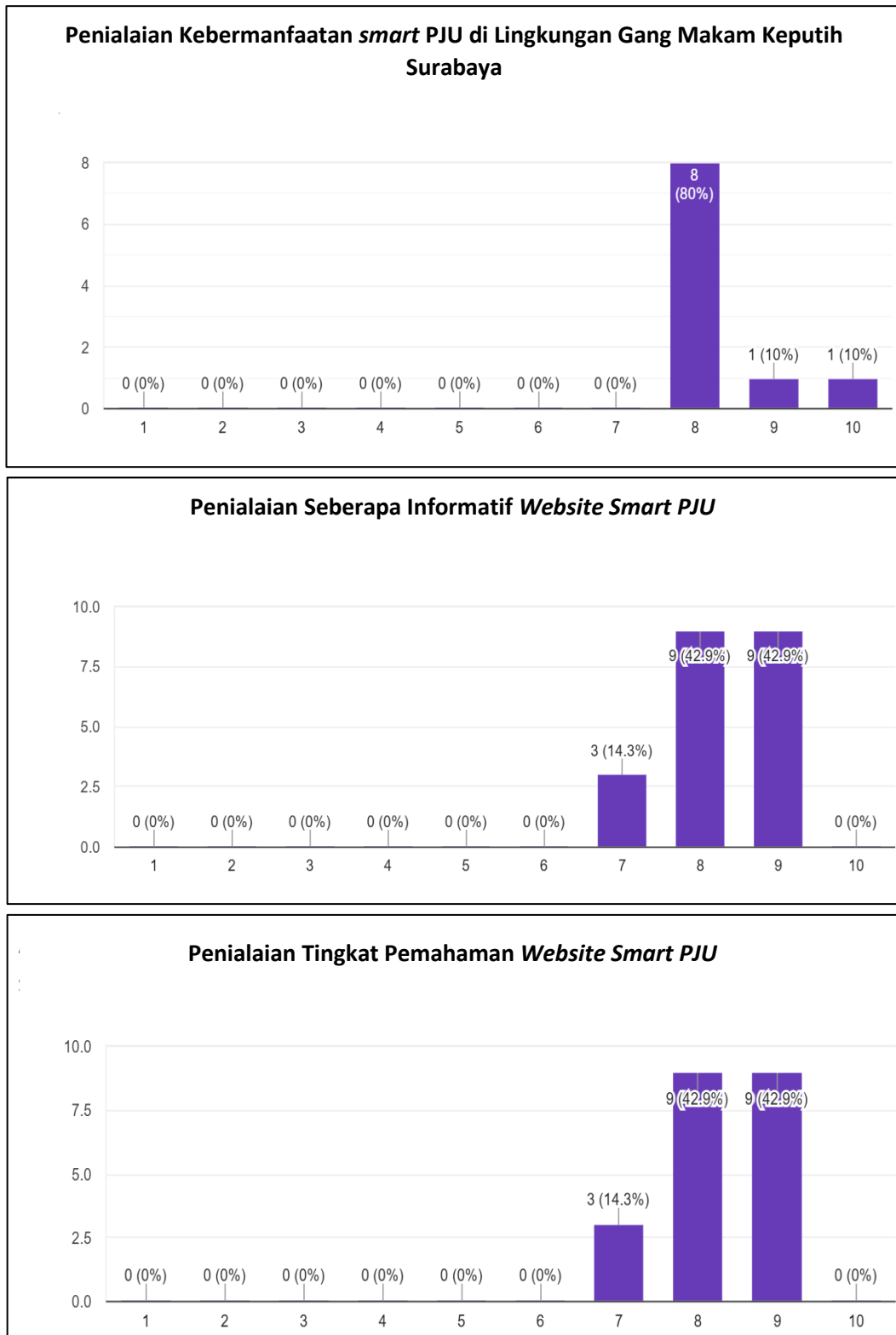
Gambar 6. Tampilan *Website Monitoring* Untuk *Smart PJU* di Terminal Keputih



Gambar 7. Tampilan *Website Monitoring* Untuk *Smart PDU* di Gang Makam Keputih

Setelah sistem berjalan, dilakukan survey sederhana kepada pihak kelurahan dan pengguna sistem untuk mengetahui tingkat kebermanfaatan modul serta kemudahan pemahaman website monitoring. Jumlah responden adalah 21 Orang. Mayoritas responden menyatakan bahwa sistem sangat membantu dalam monitoring kondisi lampu tanpa harus mengecek langsung ke lokasi, mengetahui adanya gangguan dari parameter listrik yang tidak normal, dan mempermudah pengambilan keputusan terkait pemeliharaan.





Gambar 8. Hasil Survei Kepuasan *Smart PJU*

KESIMPULAN DAN SARAN

Implementasi Smart PJU tahun 2025 di wilayah Gang Makam Keputih dan sekitar Terminal Keputih berhasil meningkatkan kualitas sistem monitoring dan kontrol penerangan jalan umum melalui arsitektur yang lebih sederhana, akurat, dan mudah dirawat dibandingkan pengembangan tahun 2024. Penggunaan satu mikrokontroler ESP32 terintegrasi dengan modul PZEM dan RTC terbukti mampu menghasilkan pembacaan parameter listrik (tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya) secara real-time dengan stabil serta mendukung monitoring berbasis web. Berdasarkan hasil survey kepada pengguna sebanyak 21 responden, tingkat kepuasan terhadap kebermanfaatan sistem memperoleh rerata nilai **8,7/10**, sedangkan kemudahan pemahaman dan penggunaan website monitoring memperoleh rerata **8,6/10**, menunjukkan bahwa sistem dinilai sangat membantu dalam pengawasan dan pengambilan keputusan pemeliharaan PJU. Adapun saran pengembangan selanjutnya adalah penambahan fitur notifikasi otomatis ketika terjadi anomali daya, integrasi sistem backup koneksi internet untuk meningkatkan keandalan komunikasi, serta perluasan implementasi ke titik PJU lainnya agar manfaat sistem dapat dirasakan lebih luas oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A., Muharnis, M., Ariadi, A., & Lianda, J. (2020). Penerapan IoT untuk Sistem Pemantauan Lampu Penerangan Jalan Umum. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 5(1), 32-41. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i1.31249>
- Bachtiar, M. M., Wibowo, I. K., Marta, B. S., & Ardilla, F. (2024). Penerapan Modular Smart PJU di Daerah Keputih Surabaya. *El-Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan (SNI 7391:2008). Jakarta: BSN.
- Donovan, B., Li, Y., Stern, R., Jiang, J., Claudel, C., & Work, D. (2015). Vehicle detection and speed estimation with PIR sensors. *Proceedings of the 14th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*.
- Espressif Systems. (2023). ESP32 Technical Reference Manual. Espressif Inc.
- Ferza, R., & Pranasari, M. A. (2020). Inovasi Kebijakan Pengelolaan Penerangan Jalan Umum (PJU) di Kabupaten Sidoarjo: Isu dan Tantangan. *Matra Pembaruan*, 4(1), 1-11.
- Imam, R., W, I. G. P. W. W., & Bimantoro, F. (2020). Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Controlling Penerangan Jalan Umum Berbasis IoT dan Android. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, dan Aplikasinya (JTika)*, 2(1), 101-112.
- OASIS. (2014). MQTT Version 3.1.1. Organization for the Advancement of Structured Information Standards.
- Peacefair. (2022). PZEM-004T V3.0 Energy Meter User Manual.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 20 Tahun 2011 tentang Pedoman Teknis Penerangan Jalan Umum.

El-Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat

Vol 6 No 2 (2026) 419-431 P-ISSN 2746-9794 E-ISSN 2747-2736

DOI: 10.47467/elmujtama.v6i2.11678

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2018 tentang Alat Penerangan Jalan Umum (PJU).

Taufik, T., Misbahuddin, M., & Nrrartha, I. (2021). Sistem Monitoring dan Kontrol Penerangan Jalan Umum menggunakan Jaringan Komunikasi LoRa Berbasis Internet of Things (IoT). *DIELEKTRIKA*, 8(2), 95-102.

Yoshua, A., Primananda, R., & Budi, A. S. (2020). Implementasi Pengiriman Data Multi-Node Sensor Menggunakan Metode Master-Slave pada Komunikasi LoRa. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4(10), 3445-3454.