

Pengembangan Sistem Pemantauan dan Pengendalian Jarak Jauh Berbasis IoT pada Penerangan Jalan Permukiman

Ichsan Wasiso, Andriyan Dwi Putra*, Arif Nur Rohman

Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

Email: ¹ichsanavara@amikom.ac.id, ^{2,*}andriyan@amikom.ac.id, ³arifrahman@amikom.ac.id

Email Penulis Korespondensi: andriyan@amikom.ac.id

Abstrak—Penerangan jalan di permukiman, terutama di daerah pedesaan atau pinggiran kota, memainkan peran penting dalam meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan keamanan masyarakat. Namun, banyak sistem penerangan yang ada saat ini masih belum efisien, dengan tingkat konsumsi energi yang tinggi dan metode pemantauan yang masih manual. Hal ini menyebabkan keterlambatan dalam perbaikan ketika terjadi kerusakan atau gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Sistem Pemantauan dan Pengendalian Jarak Jauh pada Penerangan Jalan (SITERANG) berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mengatasi permasalahan tersebut. Sistem SITERANG memungkinkan pemantauan kondisi lampu penerangan jalan secara real-time dan terpusat, serta menawarkan solusi penghematan energi melalui pengaturan intensitas pencahayaan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan, seperti saat malam hari ketika aktivitas masyarakat berkurang. SITERANG dilengkapi dengan fitur manajemen aset penerangan, kontrol ON/OFF otomatis, dan sistem pemantauan terpusat, yang juga memungkinkan analisis konsumsi energi dan biaya secara efisien. Dari hasil pengujian, sistem ini terbukti mampu menghemat konsumsi energi hingga 49,17% dibandingkan sistem penerangan konvensional, yang secara langsung menurunkan biaya operasional dan tagihan listrik. Implementasi SITERANG menawarkan solusi yang berkelanjutan dan efisien, tidak hanya memberikan penghematan energi yang signifikan, tetapi juga mempermudah pemeliharaan infrastruktur penerangan jalan di daerah permukiman padat penduduk.

Kata Kunci: Sistem; Pemantauan; Pengendalian; IOT; Penerangan Jalan Permukiman

Abstract—Street lighting in residential areas, mainly rural or suburban areas, is vital in improving public safety, comfort, and security. However, many existing lighting systems still need to be more efficient, with high energy consumption and manual monitoring. This causes delays in repairs when damage or disruption occurs. This study aims to develop a Remote Monitoring and Control System for Street Lighting (SITERANG) based on the Internet of Things (IoT) to overcome these problems. The SITERANG system allows real-time and centralized monitoring of street lighting conditions. It offers energy-saving solutions through lighting intensity settings that can be adjusted according to needs, such as at night when community activity is reduced. SITERANG has lighting asset management features, automatic ON/OFF control, and a centralized monitoring system, allowing efficient energy consumption and cost analysis. The test results show that this system has been proven to save energy consumption by up to 49.17% compared to conventional lighting systems, directly reducing operational costs and electricity bills. The implementation of SITERANG offers a sustainable and efficient solution, providing significant energy savings and facilitating the maintenance of street lighting infrastructure in densely populated residential areas.

Keywords: System; Monitoring; Control; IOT; Residential Street Lighting

1. PENDAHULUAN

Penerangan jalan di permukiman memainkan peran penting dalam meningkatkan keselamatan dan kenyamanan masyarakat, terutama di daerah pedesaan atau pinggiran kota yang minim pencahayaan. Kurangnya penerangan dapat meningkatkan risiko kecelakaan dan kriminalitas, sehingga menciptakan lingkungan yang tidak aman bagi penduduk[1]. Namun, pengelolaan penerangan jalan di banyak wilayah masih menghadapi berbagai tantangan signifikan, seperti kurang optimalnya sistem pemantauan dan pengendalian. Ketidakhadiran sistem pengawasan real-time menyebabkan informasi mengenai kondisi penerangan jalan hanya dapat diperoleh melalui inspeksi manual atau laporan masyarakat[2]. Hal ini mengakibatkan keterlambatan dalam perbaikan, seperti yang dilaporkan oleh Ombudsman RI perwakilan DIY, di mana sekitar 160 lampu penerangan di sepanjang Ring Road Kabupaten Sleman tidak berfungsi[3]. Kasus ini mencerminkan lemahnya efisiensi dalam pengelolaan infrastruktur penerangan jalan yang seharusnya menjadi prioritas utama demi keselamatan masyarakat.

Sistem penerangan jalan yang ada saat ini masih banyak mengandalkan teknologi konvensional, yang berimplikasi pada konsumsi energi yang tinggi. Lampu jalan yang terus menyala sepanjang malam tanpa mempertimbangkan kebutuhan aktual menjadi salah satu penyebab utama ketidakefisienan tersebut. Akibatnya, beban biaya pemeliharaan meningkat signifikan. Contohnya, pemerintah Kabupaten Gunungkidul mencatat tagihan listrik hampir Rp 1 miliar per bulan untuk lampu penerangan jalan umum (LPJU) pada tahun 2023[4]. Hal serupa terjadi di Kabupaten Blora, dengan pengeluaran listrik tahunan mencapai Rp 7,7 miliar[5]. Bahkan, beberapa daerah seperti Sampang harus mempertimbangkan pemadaman bergilir sebagai solusi penghematan. Kondisi ini semakin diperburuk oleh keterbatasan anggaran dan lambatnya proses pemeliharaan, seperti yang terjadi di beberapa wilayah Sumatera. Masalah-masalah ini menunjukkan perlunya solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam pengelolaan penerangan jalan[6].

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan penerangan jalan, khususnya di daerah permukiman seperti perumahan dan pedesaan, dengan memanfaatkan teknologi berbasis Internet of Things (IoT). IoT menawarkan solusi yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian penerangan jalan secara real-time, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi, meningkatkan efisiensi pemeliharaan, dan memastikan keselamatan serta

kenyamanan masyarakat[7]. Dalam konteks ini, SITERANG (Sistem Pemantauan dan Pengendalian Jarak Jauh pada Penerangan Jalan) dirancang sebagai implementasi teknologi IoT yang bertujuan mengatasi berbagai tantangan tersebut.

SITERANG bekerja melalui tiga mekanisme utama, yaitu sistem kontrol ON/OFF, sistem pemantauan, dan sistem analisis ekonomi dan energi. Pada sistem kontrol ON/OFF, petugas dapat menentukan jadwal nyala dan matinya lampu penerangan jalan, yang jadwalnya disimpan dalam memori lokal pada setiap lampu. Dengan demikian, lampu jalan tetap beroperasi sesuai jadwal meskipun terjadi gangguan pada jaringan internet. Selain itu, sistem pemantauan pada SITERANG menyimpan data spesifikasi, kondisi, dan lokasi penerangan jalan yang dilengkapi dengan sensor. Hal ini memungkinkan pengelola memantau kondisi penerangan secara real-time tanpa harus melakukan inspeksi manual. Data yang terkumpul memberikan informasi akurat tentang kerusakan atau kebutuhan pemeliharaan, sehingga proses perbaikan dapat dilakukan lebih cepat.

Sistem analisis ekonomi dan energi pada SITERANG juga memberikan nilai tambah, dengan menyediakan perhitungan konsumsi energi dan simulasi biaya listrik secara parsial maupun total. Dengan fitur ini, pengelola dapat memproyeksikan pengeluaran energi dan membuat keputusan operasional yang lebih efisien. Salah satu keunggulan utama SITERANG adalah dukungan terhadap jaringan mesh, yang memungkinkan banyak lampu jalan terhubung ke internet melalui satu titik akses. Teknologi ini tidak hanya mengurangi kebutuhan infrastruktur tambahan tetapi juga memangkas biaya operasional.

Dalam manajemen aset, SITERANG mencatat spesifikasi teknis, kondisi, dan posisi setiap lampu jalan untuk memastikan pengelolaan yang lebih terorganisir. Dengan fitur-fitur tersebut, SITERANG diharapkan menjadi solusi strategis yang mampu meningkatkan efisiensi energi, memperbaiki sistem pemantauan, dan mengurangi biaya pemeliharaan. Implementasi teknologi ini juga mendukung Permenhub PM 47 Tahun 2023 tentang Alat Penerangan Jalan, yang mendorong penggunaan teknologi untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi pengelolaan infrastruktur penerangan jalan. Secara keseluruhan, SITERANG memberikan manfaat teknis dan sosial, meningkatkan keselamatan, kenyamanan, serta kualitas hidup masyarakat[8].

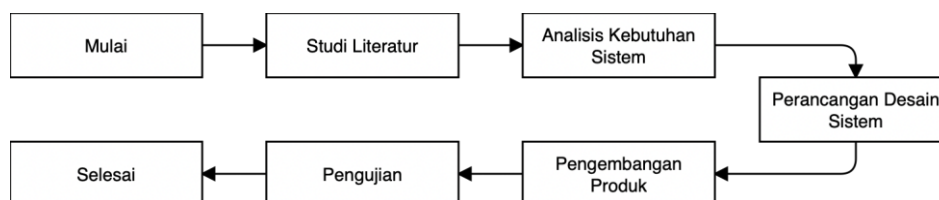
Penelitian sebelumnya juga telah mengembangkan berbagai sistem penerangan jalan berbasis teknologi. Dewangga Pradipta Buwana et al. merancang sistem kontrol lampu jalan menggunakan Arduino, modul Ethernet, dan smartphone Android. Sistem ini menunjukkan keberhasilan tinggi dalam pengukuran arus dan tegangan, memberikan efisiensi kontrol berbasis perangkat keras dan aplikasi mobile[9]. Andi Adriansyah et al. mengembangkan sistem berbasis IoT menggunakan Raspberry Pi dan aplikasi Ubidots, yang mampu mengelola hingga empat lampu jalan secara manual maupun otomatis melalui internet[10]. Selain itu, Amit Kumar Sikder et al. memperkenalkan Smart Lighting System (SLS) berbasis IoT yang mengadopsi protokol ZigBee, 6LoWPAN, dan JenNET-IP, berhasil mengurangi konsumsi daya hingga 33,33%[11]. Zain Mumtaz et al. menggunakan sensor LDR dan IR untuk mengatur intensitas cahaya lampu jalan berdasarkan kebutuhan[12], sementara Wira Fadlun et al. menerapkan metode Fuzzy Mamdani untuk mengontrol intensitas cahaya sesuai kondisi lingkungan[12].

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah memberikan kontribusi signifikan, masih terdapat celah dalam integrasi pemantauan real-time, pengendalian terpusat, dan analisis ekonomi dalam satu sistem. Penelitian ini bertujuan mengisi kekosongan tersebut dengan mengembangkan sistem yang tidak hanya fokus pada penghematan energi tetapi juga memastikan efisiensi pemeliharaan dan keselamatan masyarakat secara keseluruhan. Dengan memadukan teknologi IoT dan fitur-fitur canggih lainnya, SITERANG diharapkan menjadi solusi berkelanjutan yang mendukung pembangunan berkelanjutan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat di permukiman.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode software development untuk mengembangkan prototipe sistem pemantauan dan pengendalian jarak jauh pada penerangan jalan permukiman berbasis Internet of Things (IoT)[13]. Tahapan penelitian dirancang dalam bentuk alur proses pengembangan perangkat, sebagaimana ditunjukkan pada flowchart berikut:



Gambar 1. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan menetapkan tujuan, yaitu menciptakan solusi hemat energi yang diterapkan dalam ruang lingkup perumahan terbatas melalui uji alat. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi dari berbagai sumber guna memahami teknologi yang relevan, metode pengembangan sistem yang sesuai, dan solusi efisien untuk diterapkan pada SITERANG. Selanjutnya, dilakukan analisis kebutuhan dan teknologi untuk mengidentifikasi masalah, merumuskan spesifikasi sistem, dan memilih teknologi IoT yang tepat. Berdasarkan analisis tersebut, desain sistem dirancang mencakup aspek perangkat keras, perangkat lunak, dan struktur jaringan, yang menjadi acuan pengembangan

prototipe SITERANG. Prototipe dikembangkan dengan implementasi sensor, modul komunikasi, dan perangkat lunak kontrol serta pemantauan. Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsionalitas, efisiensi energi, dan kemampuan sistem dalam berbagai kondisi. Jika ditemukan kekurangan selama pengujian, revisi dilakukan pada tahap yang relevan untuk penyempurnaan. Kekurangan dalam proses ini mencakup kemungkinan ketidaksesuaian spesifikasi sistem dengan kebutuhan, kurang optimalnya efisiensi energi, atau terbatasnya cakupan uji coba sistem dalam kondisi lapangan yang lebih kompleks.

Model HDLC (High-Level Data Link Control) digunakan sebagai kerangka kerja dalam pengembangan hardware untuk memastikan komunikasi data yang andal dan efisien antara perangkat-perangkat dalam sistem. HDLC (High-Level Data Link Control) adalah protokol lapisan data link yang dirancang untuk memastikan komunikasi data yang andal dan efisien antara perangkat dalam sistem. Protokol ini dikembangkan oleh International Organization for Standardization (ISO) dan sering digunakan untuk komunikasi dalam jaringan point-to-point maupun multipoint. HDLC berfungsi sebagai kerangka kerja yang menyediakan metode untuk framing, pengendalian kesalahan, dan pengendalian aliran data, sehingga data yang dikirim antara perangkat dapat diterima dengan akurat dan tanpa kehilangan informasi[14][15].

2.2 Analisis Kebutuhan dan Teknologi

Analisis kebutuhan sistem menghasilkan spesifikasi perangkat keras yang diperlukan untuk membangun prototipe SITERANG. Detail kebutuhan hardware disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Hardware

Perangkat	Gambar	Keterangan
Modul Baterai Backup		Digunakan untuk menjaga agar perangkat tetap beroperasi dalam keadaan darurat atau ketika pasokan daya utama SITERANG terganggu
Modul Processing		Berperan sebagai unit yang menangani pengolahan dan pemrosesan data yang diterima dari sensor atau perangkat lain dalam jaringan SITERANG
Modul Real Time Clock		Digunakan untuk menjaga waktu dengan presisi tinggi, bahkan ketika perangkat utama mati atau tidak mendapatkan daya
Modul Zigbee Networking		Modul ini berfungsi untuk menghubungkan perangkat berdaya rendah dengan komunikasi jarak dekat
Modul Relay Dimmer		Mempunyai fungsi untuk mengontrol intensitas daya listrik yang diberikan ke Sistem SITERANG, sehingga memungkinkan peneliti untuk mengatur tingkat kecerahan atau kecepatan sistem SITERANG
Modul Sensor Cahaya		Modul ini mempunyai fungsi untuk melakukan deteksi cahaya pada sistem SITERANG
Modul Sensor Arus dan Tegangan		Modul ini berperan untuk mengatur arus dan tegangan terhadap sistem SITERANG
Modul Sensor Dimmer		Modul ini berfungsi untuk mengatur redup cerah lampu

Analisis kebutuhan perangkat keras pada SITERANG menghasilkan beberapa spesifikasi penting yang mendukung fungsi dan keandalannya. Modul baterai backup digunakan untuk memastikan perangkat tetap beroperasi dalam situasi darurat atau ketika suplai daya utama terganggu, sehingga mencegah downtime dan kehilangan data. Modul pemrosesan berperan sebagai pusat pengolahan data dari sensor atau perangkat lain, dengan perangkat seperti ESP32 atau Raspberry Pi sering digunakan karena efisiensinya untuk aplikasi IoT. Modul Real Time Clock (RTC), seperti DS3231, menjaga akurasi waktu, memastikan data log dicatat secara presisi meskipun perangkat kehilangan daya. Untuk komunikasi nirkabel, modul Zigbee digunakan karena mendukung jaringan mesh dengan konsumsi daya rendah, ideal untuk aplikasi IoT di berbagai kondisi.

Selain itu, modul relay dimmer berfungsi untuk mengontrol intensitas daya listrik, memungkinkan pengaturan seperti tingkat pencahayaan secara efisien. Modul sensor cahaya digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya lingkungan guna mendukung fitur otomatisasi, sedangkan modul sensor arus dan tegangan membantu memonitor parameter listrik agar sistem beroperasi dalam batas aman. Modul sensor dimmer melengkapi kebutuhan dengan kemampuan menyesuaikan tingkat redup atau cerah lampu sesuai kebutuhan pengguna. Semua modul ini dirangkai menggunakan PCB dan box kustom yang dirancang untuk melindungi perangkat dari kondisi lingkungan, seperti hujan dan panas, sehingga memastikan keandalan sistem di berbagai kondisi cuaca[16] [17].

2.3 Pengembangan Produk

2.3.1 Konfigurasi Software

Setelah perakitan perangkat keras selesai, langkah berikutnya adalah konfigurasi untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai dengan kebutuhan sistem. Sistem berbasis IoT ini memanfaatkan teknologi Bluetooth dan Zigbee untuk komunikasi. Pengembangan perangkat lunak dimulai dengan inisialisasi Bluetooth Adapter, sebagaimana dijelaskan pada Gambar 3.

```
val bluetoothAdapter: BluetoothAdapter? = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter()

// Periksa apakah perangkat mendukung Bluetooth
if (bluetoothAdapter == null) {
    // Perangkat tidak mendukung Bluetooth
    Toast.makeText(this, "Perangkat tidak mendukung Bluetooth", Toast.LENGTH_SHORT).show()
} else {
    // Periksa apakah Bluetooth diaktifkan
    if (!bluetoothAdapter.isEnabled) {
        // Minta pengguna mengaktifkan Bluetooth
        val enableBluetoothIntent = Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE)
        startActivityForResult(enableBluetoothIntent, REQUEST_ENABLE_BT)
    }
}
```

Gambar 2. Inisialisasi BluetoothAdapter

Langkah pertama adalah memeriksa apakah perangkat mendukung Bluetooth. Jika tidak, sistem akan menampilkan notifikasi bahwa perangkat tidak mendukung Bluetooth. Pemeriksaan status Bluetooth dilakukan menggunakan perintah `bluetoothAdapter.isEnabled`. Jika Bluetooth tidak aktif, sistem secara otomatis memberikan perintah untuk mengaktifkannya. Berikut adalah code untuk lanjutan setelah melakukan pemeriksaan perangkat pendukung peneliti sajikan pada gambar 3.

```
if (bluetoothAdapter?.isDiscovering == false) {
    bluetoothAdapter.startDiscovery()
}

// Penerima siaran untuk menangkap perangkat Bluetooth yang ditemukan
private val receiver = object : BroadcastReceiver() {
    override fun onReceive(context: Context, intent: Intent) {
        val action: String? = intent.action
        if (BluetoothDevice.ACTION_FOUND == action) {
            // Perangkat Bluetooth ditemukan
            val device: BluetoothDevice? =
                intent.getParcelableExtra(BluetoothDevice.EXTRA_DEVICE)
            device?.let {
                Log.d("BluetoothDevice", "Ditemukan perangkat: ${it.name} - ${it.address}")
                // Proses pairing dengan perangkat Zigbee jika terdeteksi
                if (it.name == "Nama_Zigbee") { // Misal filter berdasarkan nama
                    it.createBond()
                }
            }
        }
    }
}

// Registrasi penerima siaran untuk menemukan perangkat
val filter = IntentFilter(BluetoothDevice.ACTION_FOUND)
registerReceiver(receiver, filter)
```

Gambar 3. Inisialisasi BluetoothAdapter

Proses deteksi dan pairing perangkat Bluetooth pada aplikasi berbasis Android dimulai dengan memanfaatkan **BluetoothAdapter** untuk mencari perangkat di sekitar menggunakan metode `startDiscovery()`. Ketika perangkat ditemukan, **BroadcastReceiver** menangkap sinyal dan memproses informasi perangkat melalui aksi `BluetoothDevice.ACTION_FOUND`. Untuk memastikan hanya perangkat tertentu yang diproses, sistem menggunakan filter nama perangkat, seperti "Nama_Zigbee". Jika perangkat sesuai kriteria, proses pairing dimulai secara otomatis menggunakan metode `createBond()`[15]. Setelah pairing berhasil, perangkat terhubung melalui modul Zigbee menggunakan jaringan mesh, seperti yang digambarkan pada Gambar 4 mengenai topologi SITERANG. Proses ini memastikan koneksi otomatis dan efisien antar perangkat dalam sistem.



Gambar 4. Topologi Jaringan Mesh

Topologi yang mengadopsi jaringan mesh pada gambar 4 memungkinkan untuk antar kontroler dapat saling terhubung meminimalisir terjadinya gangguan jaringan SITERANG. Dari sistem yang dibangun, aplikasi SITERANG juga akan memberikan notifikasi jika salah satu kontroler terjadi kegagalan sistem. Sistem pemantauan dan pengendalian jarak jauh pada penerangan jalan menggunakan Bluetooth dan Zigbee memerlukan beberapa langkah utama.

Dari segi perangkat keras, aplikasi ini memerlukan perangkat dengan modul Bluetooth yang aktif dan berada dalam jangkauan yang sesuai. Perangkat target, seperti modul Zigbee yang dilengkapi fitur pairing melalui Bluetooth, harus dikonfigurasi dengan nama yang sesuai agar dapat terdeteksi oleh aplikasi. Sementara itu, pada sisi perangkat lunak, aplikasi memerlukan izin Bluetooth yang relevan untuk mendukung proses scanning, koneksi, dan pairing. Dengan konfigurasi ini, sistem mampu mendeteksi dan terhubung dengan perangkat Bluetooth secara efisien, memfasilitasi komunikasi antara perangkat IoT dan aplikasi[18].

2.3.2 Konfigurasi Hardware

Setelah perakitan perangkat keras selesai, langkah berikutnya adalah konfigurasi untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai dengan kebutuhan sistem. Sistem berbasis IoT ini memanfaatkan teknologi Bluetooth dan Zigbee untuk komunikasi. Berikut adalah rangkaian dari custom pcb dan custom box yang telah peneliti rancang.



Gambar 5. Rangkaian Hardware SITERANG

Gambar 5 di atas menunjukkan rangkaian perangkat SITERANG yang terdiri dari berbagai modul utama yang dirancang untuk mendukung operasional sistem. Modul Baterai Backup digunakan untuk menjaga agar perangkat tetap beroperasi meskipun terjadi gangguan pasokan daya utama. Modul Processing menggunakan ESP32, yang berfungsi sebagai unit pengolah data utama dengan dukungan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, memungkinkan komunikasi yang

efisien dengan perangkat lain dalam jaringan[19]. Modul Real Time Clock memastikan waktu tetap akurat meskipun perangkat tidak mendapat daya. Modul Zigbee Networking memungkinkan komunikasi jarak dekat antar perangkat berdaya rendah, sedangkan Modul Relay Dimmer digunakan untuk mengontrol intensitas daya listrik, memungkinkan pengaturan tingkat kecerahan atau kecepatan perangkat. Modul Sensor Cahaya mendeteksi intensitas cahaya, sementara Modul Sensor Arus dan Tegangan berfungsi memantau dan mengatur aliran listrik. Terakhir, Modul Sensor Dimmer memungkinkan pengaturan tingkat redup atau terang lampu[20].

Semua komponen ini ditempatkan dalam custom box yang dirancang khusus untuk melindungi perangkat dari kerusakan fisik dan gangguan lingkungan, seperti debu dan kelembapan. Custom box ini tidak hanya menjaga estetika perangkat, tetapi juga memastikan keamanan rangkaian elektronik di dalamnya. Desainnya memungkinkan pemasangan yang rapi dan memberikan ruang yang cukup untuk sirkulasi udara, sehingga membantu menjaga suhu perangkat tetap stabil selama operasi. Box ini juga dilengkapi dengan port eksternal untuk konektivitas kabel yang mempermudah instalasi dan perawatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tampilan SITERANG

Box perangkat SITERANG dirancang khusus untuk melindungi komponen elektronik di dalamnya dari berbagai faktor eksternal seperti debu, kelembapan, dan benturan. Material yang digunakan pada box ini memiliki kekuatan yang baik untuk menjaga perangkat tetap aman dalam berbagai kondisi lingkungan. Selain itu, desain box dibuat kompak dan ergonomis, sehingga memudahkan dalam instalasi dan penempatan perangkat di lokasi yang diinginkan.

Box ini juga dilengkapi dengan lubang ventilasi dan akses konektor yang dirancang secara presisi untuk memastikan sirkulasi udara yang cukup, tanpa mengurangi perlindungan terhadap komponen internal. Pada bagian luar, terdapat label identitas perangkat SITERANG dan antena eksternal untuk mendukung konektivitas Zigbee. Custom box ini tidak hanya memberikan perlindungan fisik tetapi juga memudahkan pemeliharaan, dengan kemudahan membuka dan mengganti komponen jika diperlukan. Berikut adalah tampilan SITERANG pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6. Tampilan Keseluruhan Alat



Gambar 7. Dokumentasi Implementasi Perangkat

3.2 Implementasi SITERANG

Setelah pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak selesai, langkah penelitian berikutnya adalah menguji lampu SITERANG. Pengujian langsung di lapangan akan melibatkan penggunaan sampel lampu SITERANG. Setelah diterapkan, hasil penjadwalan lampu SITERANG yang sudah diatur, yang dibuat berdasarkan observasi lingkungan dan kondisi perumahan saat ini. Tabel kondisi penjadwalan lampu SITERANG berikut dibuat menggunakan perangkat penelitian ini dan ditempatkan di Perumahan Gejayan.

Tabel 2. Pengaturan Intensitas Cahaya

Waktu	Prosentasi Intensitas Cahaya	Penghematan
18.00 - 19.00	100/100%	0%
19.00 - 20.00	100/100%	0%
20.00 - 21.00	100/100%	0%
21.00 - 22.00	90/100%	10%
22.00 - 23.00	50/100%	50%
23.00 - 24.00	40/100%	60%
24.00 - 01.00	20/100%	80%
01.00 - 02.00	20/100%	80%
02.00 - 03.00	20/100%	80%
03.00 - 04.00	30/100%	70%
04.00 - 05.00	40/100%	60%
05.00 - 06.00	0/100%	100%

Dari tabel yang peneliti sajikan dapat dihitung penghematan perjam dari total lampu yang diujikan. Setiap jam memiliki penghematan berbeda- beda yang bergantung pada persentase intensitas yang diatur pada saat implementasi di lapangan. Dari tabel didapatkan hasil total penghematan setiap harinya sebanyak 590% dengan artian dalam satu hari perumahan tersebut dapat menghemat sebesar 590% dari total waktu lampu yang dinyalakan setiap jam 18.00 sampai dengan jam 06.00. Angka 590% merupakan total penghematan dalam 1 hari, jika di total dalam 1 bulan dari waktu lampu menyala selama 12 jam (18.00 - 06.00) dengan asumsi 30 hari maka penghematan yang didapat adalah $590\% \times 30 \text{ hari} = 17700\%$. Dari angka prosentase total dapat di konversi ke penghematan relatif.

Untuk menghitung penghematan relatif terhadap penggunaan maksimum (tanpa penghematan), peneliti dapat menyederhanakan jika seluruh lampu dinyalakan pada 100% selama 12 jam sehari selama 30 hari, total penggunaan tanpa penghematan adalah $100\% \times 12 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} = 3600 \text{ jam/unit}$ [22].

$$\text{Persentase Penghematan} = ((\text{Energi Penuh} - \text{Energi yang Digunakan}) / \text{Energi Penuh}) \times 100 \quad (1)$$

Dengan menggunakan rumus pada gambar 4 maka didapatkan hasil $((1200-600)/1200) \times 100 = 49,17\%$. Sehingga total penghematan energi dalam satu bulan adalah sekitar 49.17% dari penggunaan penuh. Jika prosentase yang dihasilkan sebesar 49.17% dikonversi mejadi tagihan rupiah dengan tarif Rp 1.444,70 per kWh maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Energi Penuh (Wh)} &= 1200\text{Wh/hari} \times 30\text{hari} \\ &= 36,000\text{Wh} \\ \text{Energi Penuh (kWh)} &= 36,000\text{Wh}/1000 \\ &= 36\text{kWh} \\ \text{Biaya Energi Penuh} &= 36\text{kWh} \times 1.444,70\text{Rp/kWh} \\ &= \text{Rp}52.009,20 \\ \text{Penghematan Rupiah} &= 49.17\% \times \text{Rp}52.009,20 \\ \text{Penghematan Rupiah} &= 0.4917 \times 52.009,20 \\ &= \text{Rp}25.558,96 \end{aligned}$$

Angka sebesar Rp 25.558,96 merupakan nilai rupiah yang dapat dihemat setelah implementasi controler SITERANG untuk 1 controller atau 1 lampu.

3.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian lapangan, terlihat bahwa sistem kontrol SITERANG mampu mengatur intensitas cahaya lampu secara dinamis sesuai dengan jadwal yang ditentukan, memberikan penghematan energi yang signifikan. Pada malam hari ketika aktivitas mulai berkurang, pengaturan intensitas cahaya secara bertahap menurun, dan penghematan energi meningkat secara proporsional. Dari tabel pengaturan intensitas, pengurangan intensitas mulai diterapkan dari jam 21.00 hingga 06.00 pagi, dengan tingkat penghematan tertinggi tercapai pada rentang waktu 24.00 hingga 03.00, di mana intensitas cahaya dikurangi hingga 20% dan menghasilkan penghematan hingga 80%.

Secara keseluruhan, dalam satu bulan, sistem ini mampu menghemat energi sekitar 49,17% dibandingkan penggunaan penuh tanpa kontrol intensitas. Penghematan ini memberikan manfaat ekonomi yang nyata bagi perumahan atau fasilitas umum, terutama jika diterapkan secara luas. Sebagai contoh, dalam perhitungan konversi, satu lampu

SITERANG dapat menghemat Rp 25.558,96 per bulan, yang berarti dengan skala besar, seperti penerangan jalan di suatu kawasan, penghematan yang lebih besar dapat tercapai.

Dari segi lingkungan, penghematan energi ini juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon, mendukung program hemat energi, dan mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan Sistem Pemantauan dan Pengendalian Jarak Jauh pada Penerangan Jalan (SITERANG) berbasis Internet of Things (IoT) yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan pemeliharaan lampu penerangan jalan di permukiman. Sistem ini mampu mengontrol intensitas pencahayaan berdasarkan waktu, serta memantau status operasional lampu secara real-time. Implementasi teknologi Zigbee dan Bluetooth dalam sistem kontrol memungkinkan perangkat untuk terhubung secara nirkabel dengan jaringan mesh, yang meminimalkan risiko gangguan komunikasi antar perangkat. Hasil dari uji coba di lapangan menunjukkan bahwa SITERANG mampu menghemat energi hingga 49,17% dibandingkan dengan penggunaan lampu secara penuh tanpa kontrol intensitas. Penghematan ini didapat dari pengurangan intensitas cahaya pada jam-jam tertentu, terutama saat aktivitas masyarakat berkurang, seperti setelah pukul 21.00 malam hingga menjelang pagi. Selain itu, penggunaan sistem ini juga berdampak positif pada pengurangan biaya operasional, dengan penghematan sekitar Rp 25.558,96 per lampu per bulan. Jika diterapkan dalam skala besar di suatu kawasan, nilai penghematan ini akan semakin signifikan. Selanjutnya dari sisi lingkungan, sistem SITERANG membantu dalam mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan, yang juga berkontribusi terhadap penurunan emisi karbon. Oleh karena itu, sistem SITERANG ini tidak hanya memberikan keuntungan ekonomi, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mempromosikan penggunaan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

REFERENCES

- [1] H. Hartono et al., “Pemasangan Penerangan Jalan Umum (PJU) di Desa Penambangan, Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban,” *J. Public Transp. Community*, vol. 1, no. 2, pp. 58–63, 2021, doi: 10.46491/jptc.v1i2.593.
- [2] Sinarsergai, “Dana PPJ Lancar Dibayar Masyarakat Sergai, Jalan Masih Saja Banyak Gelap,” *Sinarsergai.com*. [Online]. Available: <https://sinarsergai.com/2024/03/04/dana-ppj-lancar-dibayar-masyarakatsergai-jalan-masih-saja-banyak-gelap/>
- [3] J. H. W. S., “ORI DIY Ungkap 160-an Lampu Penerangan Jalan di Ring Road Mati,” *detikJogja*. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jogja/berita/d-6853325/ori-diy-ungkap-160-an-lampu-penerangan-jalan-di-ring-road-mati>
- [4] D. Kurniawan, “Tagihan LPJU Gunungkidul Nyaris Rp1 Miliar Per Bulan,” *Harian Jogja*. [Online]. Available: <https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2023/03/29/513/1130583/tagihan-lpju-gunungkidul-nyaris-rp1-miliar-per-bulan>
- [5] H. Alghivari, “Tagihan Listrik PJU di Blora Tembus Rp 7,7 Miliar, Tahun Depan Diprediksi Bakal Bertambah,” *Radar Bojonegoro*. [Online]. Available: <https://radarbojonegoro.jawapos.com/daerah/714519200/tagihan-listrik-pju-di-blora-tembus-rp-77-miliar-tahun-depan-diprediksi-bakal-bertambah>
- [6] H. M. Damayanti, “Wacanakan Pemadaman Bergilir, Upaya Dishub Sampang Menghemat Tagihan Listrik PJU,” *Radar Madura*. [Online]. Available: <https://radarmadura.jawapos.com/sampang/744128838/wacanakan-pemadaman-bergilir-upaya-dishub-sampang-menghemat-tagihan-listrik-pju%0A>
- [7] M. Arun, G. Gopan, S. Vembu, D. U. Ozsahin, H. Ahmad, and M. F. Alotaibi, “Internet of things and deep learning-enhanced monitoring for energy efficiency in older buildings,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 61, p. 104867, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104867>.
- [8] M. P. R. INDONESIA, “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor Pm 41 Tahun 2023,” 2023.
- [9] D. P. Buwana, S. Setiawidayat, and M. Mukhsin, “Sistem Pengendalian Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) Melalui Jaringan Internet Berbasis Android,” *JOINTECS (Journal Inf. Technol. Comput. Sci.)*, vol. 3, no. 3, pp. 149–154, 2018, doi: 10.31328/jointecs.v3i3.820.
- [10] A. Adriansyah, A. W. Dani, and G. I. Nugraha, “Automation control and monitoring of public street lighting system based on internet of things,” in *2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 2017, pp. 231–236. doi: 10.1109/ICECOS.2017.8167140.
- [11] A. K. Sikder, A. Acar, H. Aksu, A. S. Uluagac, K. Akkaya, and M. Conti, “IoT-enabled smart lighting systems for smart cities,” in *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2018, pp. 639–645. doi: 10.1109/CCWC.2018.8301744.
- [12] Z. Mumtaz et al., “An automation system for controlling streetlights and monitoring objects using arduino,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 10, pp. 1–14, 2018, doi: 10.3390/s18103178.
- [13] N. Hasanah and M. N. Indriawan, “Rancangan Aplikasi Batam Travel Menggunakan Metode Software Development Life Cycle (SDLC),” *Comb. - Conf. Manag. Business, Innov. Educ. Soc. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 925–938, 2021, [Online]. Available: <https://journal.uib.ac.id/index.php/combines/article/view/4524>
- [14] W. Herbimo, *Teknologi Jaringan Berbasis Luas (WAN) SMK/MAK Kelas XI*. 2021.
- [15] H. Bharti, R. K. Saxena, S. Sukhija, and D. Bai, “Sequential Pluralization through Chromatic Operatives in Connected IoT Sensor’s Topology,” in *2020 IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM)*, 2020, pp. 47–51. doi: 10.1109/CCEM50674.2020.00020.
- [16] R. R. Mubarak, S. Lamtiar, and A. B. Callista, “Prototipe Kontrol dan Monitoring Remote Apron Floodlight Berbasis Mikrokontroler dengan Modul Dimmer,” *J. Airt. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 37–47, 2022, doi: 10.52989/jaet.v3i1.74.
- [17] B. Ermanda and U. Latifa, “Kendali Relay Otomatis Dilengkapi Timer Dan Deteksi Suhu Menggunakan Rtc Ds3231,” *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 120–126, 2023, doi: 10.30604/jti.v5i2.139.
- [18] A. A. Mhawes, “Wireless Personal Area Network (WPAN) Bluetooth and ZigBee Survey,” *Int. J. Recent Res. Math. Comput.*

- Sci. Inf. Technol., vol. 8, no. 1, pp. 23–33, 2021, [Online]. Available: www.paperpublications.org
- [19] M. Izzi, A. Faritsi, P. Teknik, E. Fakultas, and U. M. Gresik, “Rancang Bangun Kandang Pintar Untuk Ayam Menggunakan ESP32 Berbasis IoT,” vol. 18, no. x, pp. 649–660, 2024.
- [20] N. Alamsyah, H. F. Rahmani, and Yeni, “Lampu Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya Berbasis Arduino Uno dengan Alat Sensor LDR,” *Formosa J. Appl. Sci.*, vol. 1, no. 5, pp. 703–712, 2022, doi: 10.55927/fjas.v1i5.1444.