

## **EFISIENSI KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA SISTEM PENCAHAYAAN RUANG KELAS MELALUI PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL LAMPU RUANG KELAS BERBASIS INTERNET OF THINGS DAN APLIKASI WEB**

**Muhammad Raihan Parama Latief<sup>1</sup>, Hariz Farisi<sup>2</sup>, Zainul Abidin<sup>3</sup>**

Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>raihanpl@student.ub.ac.id, <sup>2</sup>hariz\_farisi@ub.ac.id, <sup>3</sup>zainulabidin@ub.ac.id

### **Abstrak**

Peningkatan konsumsi energi listrik di sektor pendidikan, khususnya di Universitas Brawijaya, mencerminkan kebutuhan mendesak untuk mengimplementasikan sistem yang mendukung efisiensi energi. Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol pencahayaan berbasis *Internet of Things* (IoT) dan aplikasi web untuk ruang kelas di Gedung F Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. Sistem ini mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor cahaya BH1750, dan sensor deteksi manusia C4001, yang dihubungkan melalui protokol MQTT. Sistem dirancang untuk mendukung pengendalian otomatis sistem pencahayaan berdasarkan okupansi ruangan dan jadwal penggunaan ruangan, dengan antarmuka pengguna yang dikembangkan menggunakan framework Next.js dan Nest.js. Proses penelitian mencakup analisis kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian sistem. Evaluasi dilakukan melalui pengujian fungsional, waktu respons, dan efisiensi konsumsi energi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengurangi konsumsi energi listrik secara signifikan melalui pengelolaan pencahayaan yang lebih efisien. Selain itu, aplikasi web memberikan fleksibilitas dan kemudahan bagi pengguna untuk memantau serta mengendalikan pencahayaan ruang kelas secara jarak jauh. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi model percontohan yang inspiratif bagi institusi pendidikan lain dalam mengadopsi teknologi IoT untuk pengelolaan energi yang lebih berkelanjutan.

**Kata kunci:** Efisiensi energi, Kontrol lampu berbasis *Internet of Things*, Sensor deteksi manusia C4001, Okupansi ruangan, Mikrokontroler ESP32

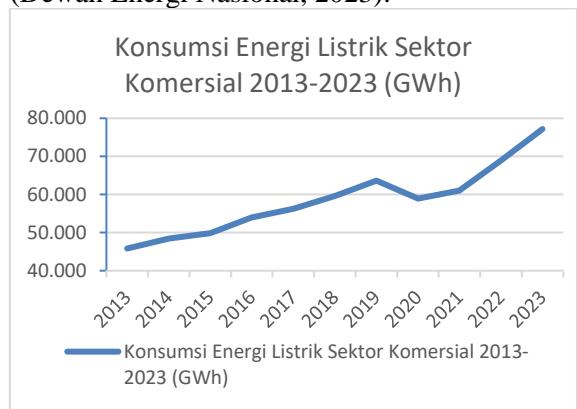
### **Abstract**

*The increasing energy consumption in the education sector, particularly at Universitas Brawijaya, underscores the urgent need to implement systems that support energy efficiency. This study developed an Internet of Things (IoT)-based lighting control system and a web application for classrooms in Building F of the Faculty of Computer Science at Universitas Brawijaya. The system integrates IoT technology using the ESP32 microcontroller, BH1750 light sensor, and C4001 human presence sensor, connected through the MQTT protocol. The system is designed to enable automatic lighting control based on room occupancy levels and activity schedules, with a user interface developed using the Next.js and Nest.js frameworks. The research process included needs analysis, system architecture design, hardware and software implementation, and system testing. Evaluation was conducted through functional testing, response time analysis, and assessment of energy consumption efficiency. The results indicate that the system successfully reduced energy consumption significantly by optimizing lighting management. Additionally, the web application provides flexibility and convenience for users to remotely monitor and control classroom lighting. This study is expected to serve as an inspirational model for other educational institutions in adopting IoT technology for more sustainable energy management..*

**Keywords:** Energy efficiency, IoT-based lighting control, C4001 human presence sensor, Room occupancy, ESP32 microcontroller.

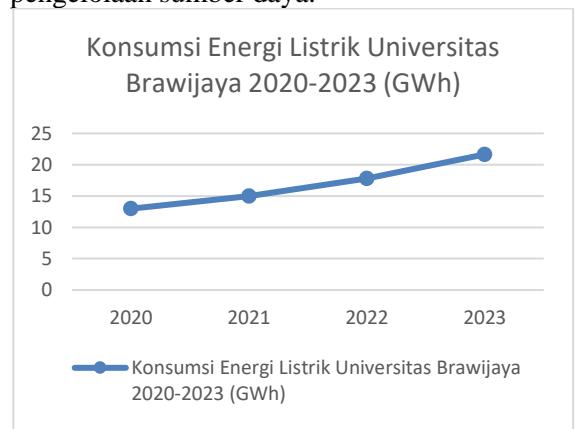
## 1. PENDAHULUAN

Data yang diperoleh dari *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023* pada Gambar 1 menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik pada sektor komersial mencapai 77,176 GWh pada tahun 2023 dan terus mengalami tren peningkatan sejak tahun 2013 (Kementerian ESDM, 2023). Selain itu, menurut data Outlook Energi Indonesia 2019, permintaan energi listrik di sektor komersial sebesar 60-70% yang didominasi oleh penggunaan untuk sistem penerangan, pendingin ruangan, dan pompa air (Dewan Energi Nasional, 2023).



Gambar 1. Grafik Konsumsi Energi Listrik 2013-2023 pada Sektor Komersial  
Sumber: Kementerian ESDM (2023)

Data konsumsi energi listrik Universitas Brawijaya oleh Direktorat Akuntansi, Pelaporan, dan Perpajakan Universitas Brawijaya pada Gambar 2 menunjukkan peningkatan konsumsi energi listrik yang signifikan dari 12,98 GWh pada tahun 2020 menjadi 21,65 GWh pada tahun 2023, dengan kenaikan total 66,80% dalam empat tahun terakhir. Tren peningkatan ini mencerminkan tantangan efisiensi energi yang dihadapi oleh institusi pendidikan, yang memerlukan pendekatan inovatif untuk pengelolaan sumber daya.



Gambar 2. Grafik Konsumsi Energi Listrik Universitas Brawijaya 2020-2023

Sumber: Direktorat Akuntansi, Pelaporan, dan Perpajakan Universitas Brawijaya (2024)

Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya, sebagai salah satu lembaga pendidikan tinggi terkemuka di Indonesia, memiliki Gedung F yang merupakan fasilitas utama untuk kegiatan belajar mengajar. Sayangnya, sistem pencahayaan gedung ini masih dioperasikan secara manual, yang berpotensi menyebabkan pemborosan energi dan peningkatan biaya operasional. Kondisi ini tidak sejalan dengan semangat efisiensi energi dan perkembangan teknologi modern.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk di lingkungan pendidikan. Salah satu inovasi yang semakin populer adalah penerapan internet of things dan teknologi web untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan di lingkungan belajar (Ritheesh et al., 2023). Inovasi ini memiliki potensi besar untuk diterapkan di institusi pendidikan tinggi, termasuk di Indonesia.

Pengembangan sistem berbasis internet of things dan aplikasi web untuk mengendalikan pencahayaan di ruang kelas dapat menjadi solusi untuk masalah ini. Dengan mengintegrasikan sensor, aktuator, dan aplikasi web, sistem ini dapat secara otomatis mengatur nyala matinya sistem pencahayaan serta pengelolaan dan pemantauan sistem dari jarak jauh, meningkatkan efisiensi operasional dan memberikan data yang berharga untuk analisis penggunaan energi (Ritheesh et al., 2023).

Dengan latar belakang ini, Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pencahayaan Ruang Kelas Melalui Pengembangan Sistem Berbasis Internet of Things dan Aplikasi Web menjadi sebuah langkah strategis dalam melakukan efisiensi konsumsi energi listrik pada ruang kelas. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi model percontohan untuk implementasi teknologi serupa di fakultas dan universitas lain di Indonesia.

## 2. LANDASAN KEPUSTAKAAN

### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian sebelumnya yang berjudul

"Smart Classroom for Electricity-Saving with Integrated IoT System", mendemonstrasikan pendekatan inovatif dalam pengelolaan energi ruang kelas. Sistem ini memanfaatkan sensor inframerah untuk mendeteksi pergerakan manusia, memungkinkan pemantauan okupansi ruangan secara *real-time*. NodeMCU dipilih sebagai mikrokontroler utama, bertanggung jawab atas logika kontrol seluruh sistem *internet of things*. Untuk antarmuka pengguna dan protokol komunikasi, penelitian ini mengadopsi platform Blynk, menyediakan solusi terintegrasi untuk kontrol dan pemantauan perangkat *internet of things* (Nasrudin et al., 2021).

Hasil yang dicapai oleh penelitian ini sangat signifikan, dengan potensi penghematan energi mencapai 6.880 Watt per jam. Penghematan ini terutama diperoleh melalui manajemen cerdas sistem pendingin udara, yang dimatikan secara otomatis saat ruangan tidak berpenghuni. Pendekatan ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan energi tetapi juga meningkatkan kenyamanan pengguna ruangan dengan memastikan sistem pendingin beroperasi hanya saat diperlukan (Nasrudin et al., 2021).

Penelitian selanjutnya yang berjudul "*IoT Based Energy Efficient Smart Classroom*", menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pemantauan dan kontrol lingkungan ruang kelas. Studi ini menggunakan teknologi sensor yang lebih canggih, dengan Microsoft Kinect Sensor sebagai alat utama untuk deteksi okupansi. Penggunaan sensor DHT22 untuk suhu dan *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk intensitas cahaya memungkinkan pemantauan yang lebih rinci terhadap kondisi lingkungan ruangan (Diddeniya et al., 2020).

Arsitektur sistem dalam penelitian ini menggabungkan Arduino ATMega sebagai mikrokontroler utama dengan NodeMCU untuk transmisi data ke server. Pendekatan ini memungkinkan pemrosesan data yang lebih kompleks dan komunikasi yang lebih handal. Sistem ini tidak hanya mengontrol perangkat elektronik seperti kipas dan lampu berdasarkan okupansi dan kondisi lingkungan, tetapi juga menyediakan platform pemantauan *real-time* melalui aplikasi web (Diddeniya et al., 2020).

Keunggulan sistem ini terletak pada tingkat akurasinya yang tinggi, mencapai 97,62%, serta potensi penghematan energi yang signifikan, diperkirakan mencapai 33%. Integrasi pemantauan *real-time* melalui aplikasi web meningkatkan kemampuan pengelolaan dan

analisis data, membuka peluang untuk optimisasi lebih lanjut dalam penggunaan energi (Diddeniya et al., 2020).

## 2.2 Internet of Things

Pada akhir 2013, istilah *internet of things* ditambahkan dalam kamus Oxford dengan definisi "*a proposed development of the Internet in which everyday objects have network connectivity, allowing them to send and receive data*". Istilah ini menunjukkan visi daripada definisi dari *internet of things*. Pada tahun 1991, artikel yang ditulis oleh Mark Weiser menyatakan bahwa "*computers will finally weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it*" yang bisa diartikan sebagai komputer akan menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari hingga komputer tersebut tidak dapat dibedakan (Weiser, 1991). Artikel ini dapat dilihat sebagai asal-muasal dari bidang penelitian *ubiquitous computing* (Köhler et al., 2014).

Istilah *internet of things* awalnya muncul pada artikel forbes di tahun 2002 oleh Kevin Ashton, kepala Auto-ID Lab di MIT. Ashton menyatakan bahwa kita butuh "*Internet-for-things*", yaitu sebuah cara yang terstandarisasi untuk komputer agar bisa memahami dunia nyata (Köhler et al., 2014). Menurut Guillemin dalam *Cluster of European Research Projects* menyatakan bahwa definisi *internet of things* adalah "*Things*" merupakan bagian yang aktif dalam proses bisnis, informasi, dan sosial di mana mereka memiliki kemampuan untuk berinteraksi dan berkomunikasi antara satu dengan objek lainnya serta lingkungannya melalui pertukaran data dan informasi yang diperoleh dari lingkungan tersebut, sekaligus secara otomatis bereaksi terhadap adanya peristiwa dalam dunia nyata/fisik dan memengaruhinya dengan menjalankan proses yang memicu tindakan dan menciptakan layanan dengan atau tanpa memerlukan intervensi dari manusia secara langsung.

Dilansir dari artikel oleh McKinsey & Company, *internet of things* menggambarkan objek fisik yang terhubung dengan berbagai sensor dan aktuator yang berkomunikasi dengan sistem komputasi melalui jaringan kabel maupun nirkabel yang memungkinkan alat-alat fisik dapat dipantau ataupun dikontrol secara digital (McKinsey, 2024).

Menurut Gubbi, *internet of things* bertujuan untuk membuat objek (komputer) yang saling

terhubung memiliki kemampuan untuk menggali informasi tanpa intervensi manusia (*sensing*), dapat berinteraksi dengan dunia nyata (*actuating*) dan menggunakan standar internet yang ada untuk melakukan pertukaran informasi, analisis, aplikasi dan komunikasi (Gubbi et al., 2013).

### 2.3 ESP32

ESP32 adalah sebuah seri mikrokontroler *System on a Chip* (SoC) yang murah dan hemat daya yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dirancang untuk mengintegrasikan kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth ke dalam satu platform (Espressif Systems, 2024). Mikrokontroler ini adalah penerus dari ESP8266 dan menawarkan mikroprosesor dual-core 32-bit Xtensa LX6 yang beroperasi dengan kecepatan hingga 240 MHz, jauh lebih cepat daripada Arduino UNO dan ESP8266 (Espressif Systems, 2024). ESP32 juga dilengkapi dengan 520 KB SRAM dan 448 KB ROM, membuatnya cocok untuk aplikasi IoT yang memerlukan pengelolaan memori yang efisien (Espressif Systems, 2024). Selain itu, ESP32 mendukung koneksi Wi-Fi 802.11 b/g/n dengan kecepatan hingga 150 Mbps serta Bluetooth v4.2 dan BLE (Espressif Systems, 2024).

Cip ini memiliki konsumsi daya yang rendah melalui fitur-fitur hemat daya seperti *clock synchronization* dan berbagai mode operasi, membuatnya ideal untuk proyek baterai dan aplikasi IoT (Circuit Schools, 2022). ESP32 digunakan secara luas dalam berbagai kebutuhan seperti perangkat IoT, otomatisasi rumah, sistem keamanan, dan solusi kesehatan karena fleksibilitas dan keandalannya (Deep Sea Developments, 2023).

ESP32 dapat diprogram menggunakan berbagai *firmware* dan bahasa pemrograman seperti IDE Arduino, PlatformIO IDE, LUA, MicroPython, dan Espressif IDF, membuatnya pilihan populer untuk *prototyping* cepat (Random Nerd Tutorials, 2024).

### 2.4 C4001 24GHz Human Presence Detection Sensor

Sensor deteksi kehadiran manusia C4001 24GHz adalah perangkat yang menggunakan teknologi radar gelombang milimeter (mmWave) untuk mendeteksi kehadiran dan aktivitas manusia (DFRobot, 2024).

Dengan frekuensi 24GHz, sensor ini memiliki jangkauan deteksi hingga 25 meter dan

dapat mendeteksi baik objek statis maupun bergerak dengan akurasi tinggi (DFRobot, 2024). Perbedaan utama sensor ini dengan sensor inframerah atau ultrasonik adalah kemampuan untuk mendeteksi objek statis dan bergerak secara sensitif, serta tahan terhadap gangguan lingkungan seperti perubahan suhu, cahaya, dan kebisingan (DFRobot, 2024). Teknologi FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*) yang digunakan memungkinkan sensor untuk melakukan pengukuran jarak dan kecepatan secara kontinu, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan *monitoring real-time* dan pengukuran kinerja objek (DFRobot, 2024).

Sensor ini juga memiliki kemampuan anti-interferensi yang kuat, sehingga dapat mendeteksi kehadiran manusia dengan cepat dan akurat, baik ketika mereka duduk, tidur, atau bergerak (DFRobot, 2024). Dengan ukuran modul yang kecil (7mm x 35mm) dan kemampuan instalasi yang fleksibel, sensor ini sangat mudah digunakan dalam berbagai skenario aplikasi, seperti pengontrolan cahaya, pengaktifan layar, dan sistem keamanan (DFRobot, 2024).

### 2.5 BH1750 Ambient Light Sensor

BH1750 adalah sensor cahaya yang menggunakan teknologi digital untuk mendeteksi intensitas cahaya dalam satuan lux (ROHM Co, 2011). Sensor ini berkomunikasi melalui protokol I2C dan dapat mengukur cahaya dari 1 lux hingga 65.535 lux dengan akurasi yang tinggi (Siepert, 2020).

Fitur-fitur utama BH1750 termasuk antarmuka I2C, konverter cahaya ke digital, dan kemampuan untuk memilih dua alamat I2C yang berbeda (Random Nerd Tutorials, 2022). Sensor ini juga dilengkapi dengan mode pengukuran kontinu dan satu kali pengukuran, serta tiga mode resolusi yang berbeda: rendah (4 lux), tinggi (1 lux), dan tinggi 2 (0,5 lux) (Siepert, 2020). Dengan penggunaan yang fleksibel dan kemampuan anti-interferensi yang kuat, BH1750 sangat cocok digunakan dalam berbagai proyek, seperti pengaturan kecerahan layar, pengaktifan LED, dan pengukuran cahaya lingkungan (WatElectronics, 2022).

### 2.6 Sistem Informasi

Sistem informasi merupakan suatu struktur yang menggabungkan teknologi informasi, proses bisnis, dan sumber daya manusia untuk

mencapai sasaran organisasi melalui pemanfaatan aplikasi perangkat lunak. Proses pengembangan aplikasi mencakup beberapa tahap, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, hingga pemeliharaan. Ketika sistem informasi berfungsi secara efektif dan efisien, aplikasi dapat menyediakan solusi terbaik untuk menghadapi tantangan bisnis, meningkatkan produktivitas, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis informasi. Sistem informasi memungkinkan pengguna untuk mengakses beragam informasi dari basis data yang luas, seperti katalog perpustakaan, jadwal penerbangan, atau daftar pasien rumah sakit (Sommerville, 2011).

## 2.7 Unified Modelling Language (UML)

*Unified Modeling Language* (UML) adalah bahasa model visual yang umum digunakan untuk menggambarkan desain sistem. Dibuat untuk menyediakan cara standar untuk mengvisualisasikan desain sistem, UML mengintegrasikan notasi dari tiga metode desain dan analisis berorientasi objek: metode Grady Booch untuk mendeskripsikan objek dan hubungan mereka, metode James Rumbaugh untuk model dan desain perangkat lunak, dan metode Ivar Jacobson untuk desain dan analisis perangkat lunak berorientasi objek (Booch et al., 2005).

UML dikembangkan pada tahun 1994 oleh Booch, Rumbaugh, dan Jacobson di bawah sponsoran Rational Software, dan kemudian diintegrasikan dengan ide-ide dari sumber lain (Booch et al., 2005). Pada tahun 1997, Object Management Group (OMG) menerima UML sebagai standar dan menerbitkan versi 1.1 pada bulan Desember tahun itu (Booch et al., 2005). UML juga telah diterima oleh Organisasi Internasional untuk Standarisasi (ISO) sebagai standar resmi pada tahun 2005 dan sekarang luas digunakan dalam komunitas teknologi (Booch et al., 2005).

## 2.8 NextJS

Next.js adalah sebuah *framework* ReactJS yang kuat dan memungkinkan pengembang untuk membangun aplikasi web yang dirender di server dengan mudah. *Framework* ini dirancang untuk meningkatkan kinerja dan pengalaman pengguna dari aplikasi web dengan menerapkan fitur-fitur seperti pemisahan kode otomatis, *prefetching*, dan rendering sisi server (SSR).

Kemampuan ini memungkinkan waktu muat yang lebih cepat dan SEO yang lebih baik, menjadikan Next.js pilihan populer di kalangan pengembang untuk membuat aplikasi web dinamis. Kemampuan kerangka kerja ini untuk mendukung halaman statis dan yang dirender di server memberikan fleksibilitas dalam cara pengembang dapat menyusun aplikasi mereka, memenuhi berbagai kasus penggunaan dan kebutuhan kinerja (Nugroho et al., 2024; Wicaksana et al., 2023).

Selain itu, Next.js sangat dapat diperluas dan mendukung berbagai plugin dan integrasi, menjadikannya cocok untuk berbagai aplikasi, mulai dari platform *e-commerce* hingga alat pendidikan. Ekosistemnya yang kuat memungkinkan pengembang untuk dengan mudah menggabungkan fitur seperti otentifikasi, manajemen basis data, dan integrasi API. Akibatnya, Next.js telah mendapatkan perhatian signifikan di komunitas pengembangan web, dengan banyak proyek dan aplikasi yang dibangun menggunakan kerangka kerja ini. Kombinasi optimasi kinerja, fleksibilitas, dan kemudahan penggunaan menjadikan Next.js pilihan terdepan untuk pengembangan web modern (Nugroho et al., 2024; Wicaksana et al., 2023).

## 2.9 NestJS

NestJS adalah *framework backend* yang dibangun di atas Node.js dan dirancang untuk membangun aplikasi *server-side* yang efisien dan *scalable*. *Framework* ini memanfaatkan TypeScript, yang memberikan keunggulan dalam hal pengembangan yang lebih terstruktur dan aman. NestJS mengadopsi pola arsitektur modular, yang memungkinkan pengembang untuk membagi aplikasi menjadi bagian-bagian kecil yang dapat dikelola dengan lebih baik. Dengan dukungan untuk berbagai jenis arsitektur, termasuk REST API dan *microservices*, NestJS menjadi pilihan yang sangat baik untuk pengembangan aplikasi yang kompleks dan besar (Hanggara et al., 2024; Zima & Barszcz, 2024).

NestJS juga mendukung pengembangan berbasis *microservices*, yang memungkinkan pengembang untuk membuat layanan-layanan kecil yang dapat berkomunikasi satu sama lain. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan ketersediaan dan keandalan aplikasi, tetapi juga memudahkan dalam hal pengembangan dan pemeliharaan. Dengan kemampuan untuk

membangun aplikasi yang terdistribusi dan terintegrasi dengan baik, NestJS telah menjadi salah satu *framework* yang banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi modern, baik untuk keperluan bisnis maupun layanan publik (Copei et al., 2021).

## 2.10 Energi Listrik

Energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Energi listrik merupakan salah satu jenis energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik atau energi yang tersimpan dalam arus listrik. Energi ini dihasilkan melalui pergerakan muatan listrik dan umumnya dikenal sebagai "listrik". Sumber utama energi listrik adalah gaya elektromagnetik, salah satu dari empat gaya fundamental yang ada di alam (Dewan Energi Nasional, 2023).

Energi listrik adalah energi yang berhubungan dengan perhitungan arus yang dinyatakan dalam watt jam atau kWh. Perpindahan daya terjadi dalam bentuk aliran elektron melalui konduktor beberapa jenis. Energi yang diperlukan untuk penggunaan peralatan listrik adalah laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu lamanya peralatan digunakan (Bernadiktus & Hamzah, 2016). Penggunaan energi listrik perjam dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1.

$$E = \frac{P \times t}{1000} \quad (2.1)$$

Keterangan:

W	= Penggunaan Energi Listrik (kWh)
P	= Daya (W)
t	= Waktu (h)

## 2.11 Efisiensi Energi Listrik

Efisiensi adalah ukuran keberhasilan suatu kegiatan yang dievaluasi berdasarkan besarnya biaya atau sumber daya yang digunakan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Dalam konteks ini, semakin sedikit sumber daya yang digunakan untuk mencapai hasil yang diinginkan, semakin baik proses kegiatannya. Misalnya, dalam proses audit energi, efisiensi dapat diukur melalui kecepatan dan biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan audit tersebut. Audit energi yang efektif tidak hanya mengidentifikasi pemborosan energi, tetapi juga memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dalam suatu sistem (Pratomo & Jonatan, 2022). Dengan demikian, efisiensi dalam penggunaan energi menjadi sangat penting untuk mengurangi biaya

operasional dan dampak lingkungan dari konsumsi energi yang berlebihan (Stephanie & Sujaini, 2015).

Efisiensi dalam konteks energi listrik merujuk pada kemampuan untuk memanfaatkan energi listrik secara optimal, sehingga dapat mengurangi pemborosan dan meningkatkan kinerja sistem kelistrikan (Sari et al., 2023). Efisiensi energi listrik dapat dicapai melalui penggunaan peralatan yang hemat energi dan penerapan praktik penghematan yang tepat dalam penggunaan listrik di rumah tangga (Sari et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa penyuluhan tentang penggunaan listrik yang efisien dapat meningkatkan pemahaman masyarakat hingga 131%, yang pada gilirannya dapat berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi listrik secara keseluruhan. Hal ini sejalan dengan temuan yang menunjukkan bahwa kesadaran dan pengetahuan pengguna tentang efisiensi energi sangat penting dalam mengurangi beban konsumsi listrik (Fitriani et al., 2019).

## 2.12 Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Uji normalitas adalah langkah penting dalam analisis statistik yang bertujuan untuk menentukan apakah data yang diperoleh dari suatu populasi mengikuti distribusi normal (Sugiyono, 2019). Uji normalitas berfungsi untuk menentukan data yang telah dikumpulkan untuk ditentukan apakah data tersebut berdistribusi normal atau tidak berdistribusi normal. Data akan dikatakan berdistribusi normal apabila tidak mempunyai perbedaan yang signifikan (Sugiyono, 2019).

Uji Shapiro-Wilk digunakan untuk menguji hipotesis pada dataset untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal. Meskipun masih dapat digunakan untuk sampel yang lebih besar, uji ini sangat cocok untuk sampel kecil hingga sedang, terutama untuk data sebanyak ( $n < 50$ ). Metode Shapiro-Wilk menggunakan taraf signifikansi 5% atau 0,05. Distribusi normal jika  $p\text{-value} > 0,05$ , sedangkan distribusi tidak normal jika  $p\text{-value} < 0,05$ . Uji normalitas Shapiro-Wilk ditunjukkan pada Persamaan 1 (Shapiro & Wilk, 1965).

$$T_3 = \frac{1}{D} \left[ \sum_{i=1}^k a_i (X_{n-i+1} - X_i) \right]^2 \quad (1)$$

Keterangan:

$T_3$  = Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk

D = Varians data

$k$  = Setengah jumlah total data

$a_i$  = koefisien khusus nilai daya

$X_i$  = Nilai ke-i data

$n$  = Jumlah total data

### 2.13 Uji Beda T Berpasangan

Uji t berpasangan sering kali disebut sebagai paired-sampel t test. Pengujian t berpasangan melibatkan kelompok penelitian yang sama dengan membandingkan dua set data berbeda. Uji ini menghitung selisih antara nilai dua variabel untuk tiap kasus dan menguji apakah selisih rata-rata tersebut bernilai nol. Kriteria data untuk uji t sampel berpasangan yaitu data untuk tiap pasang yang diuji dalam skala interval atau rasio dan data berdistribusi normal. Tingkat signifikansi adalah 5% yang berarti terdapat 5% probabilitas kesalahan dalam keputusan menerima atau menolak hipotesis. Dengan tingkat signifikansi tersebut, dapat disimpulkan jika  $p\text{-value} < 0,05$  maka  $H_0$  ditolak dan jika  $p\text{-value} > 0,05$  maka  $H_0$  diterima (Sugiyono, 2019).

### 2.14 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional merupakan tahap penting dalam pengembangan perangkat lunak yang bertujuan untuk memastikan bahwa semua fungsi yang dirancang dalam sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan (Utomo et al., 2018). Metode yang digunakan dalam pengujian fungsional adalah black box testing, di mana penguji tidak perlu mengetahui detail internal dari sistem, tetapi fokus pada output yang dihasilkan dari input yang diberikan (Utomo et al., 2018).

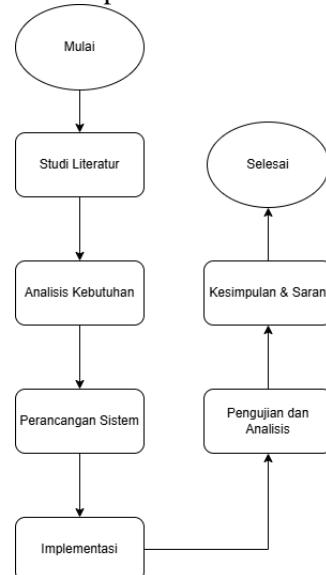
### 2.15 Pengujian Response Time

Pengujian *response time* berfokus pada seberapa cepat sistem dapat merespons permintaan dari pengguna. Pengujian ini sangat penting dalam konteks aplikasi yang memerlukan interaksi *real-time*, seperti sistem informasi dan aplikasi berbasis web. Pengujian *response time* menjadi elemen krusial dalam memastikan bahwa aplikasi tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsional, tetapi juga memberikan pengalaman pengguna yang memuaskan. Fokus utama dari uji *response time* adalah menilai responsivitas suatu sistem dengan memperhatikan sejumlah faktor seperti jaringan, pemrosesan data, dan transmisi informasi. Pengujian ini memungkinkan identifikasi dan pemecahan masalah terkait keterlambatan, membantu memastikan bahwa sistem mampu

memberikan respons instan atau sesuai dengan standar yang ditetapkan. (Utomo et al., 2018). Batas wajar *response time* dalam sebuah aplikasi web adalah 1 detik, dalam 1 detik pengguna akan sedikit merasa terdistraksi oleh kegiatan lain (Nielsen, 1994).

## 3. METODOLOGI

Penelitian dilakukan sesuai dengan tahapan yang dipilih untuk memastikan penelitian berjalan secara runut dan terorganisir. Langkah-langkah penelitian dimulai dari Studi Literatur, Analisis Kebutuhan, Perancangan Sistem, Implementasi, Pengujian dan Analisis, serta pembuatan Kesimpulan dan Saran.



Gambar 3. Diagram Alir Metode Penelitian

Pada tahap studi literatur dilakukan pencarian dasar teori, metode, teknik, komponen, serta prinsip yang sesuai dalam penelitian ini. Tahap analisis kebutuhan berfungsi untuk menentukan fitur-fitur yang harus diimplementasikan ke dalam sistem. Analisis kebutuhan bertujuan untuk mencapai pemahaman yang menyeluruh mengenai keinginan dan harapan dari sistem yang akan dikembangkan. Pada tahap perancangan, kebutuhan yang telah didapat akan diolah menjadi rancangan arsitektur sistem dan arsitektur Internet of Things. Selain itu, dilakukan juga perancangan antarmuka sistem, perancangan dokumentasi API, serta perancangan integrasi antara sistem Internet of Things dengan aplikasi web.

Pada tahap implementasi, seluruh rancangan yang telah dibuat akan diimplementasikan menjadi sebuah sistem yang

terintegrasi. Komponen pada sistem IoT akan dibeli dan dirangkai sesuai dengan rancangan yang ada. Frontend aplikasi web akan diimplementasikan menggunakan framework NextJS dan mengacu pada rancangan antarmuka dan use case scenario serta kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang telah dibuat. Backend aplikasi web akan diimplementasikan menggunakan framework NestJS dan database PostgreSQL mengacu dengan use case scenario dan kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang telah dibuat.

Tahap pengujian dan analisis dilakukan setelah implementasi selesai. Dua pengujian dilakukan terhadap sistem yaitu pengujian fungsional dengan metode *black-box testing* dan pengujian *response time* untuk menguji seberapa cepat sistem dalam merespon sebuah perintah. Pengujian fungsional dilakukan tanpa perlu tahu bagaimana suatu sistem bekerja sehingga pengujian berfokus pada *input* dan *output* dari sistem. Pengujian *response time* di lain sisi dilakukan berdasarkan skenario implementasi dunia nyata. Pengujian akan dilakukan menggunakan jaringan FILKOM UB untuk melihat waktu respons dari sistem dalam menerima dan melakukan perintah. Terakhir, analisis efisiensi dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat penurunan yang signifikan dalam konsumsi energi listrik setelah sistem kontrol lampu ruang kelas diimplementasikan. Hipotesis yang digunakan dalam analisis efisiensi adalah:

$H_0$  = Implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas tidak menghasilkan pengurangan konsumsi energi listrik yang signifikan pada sistem pencahayaan ruang kelas ( $\mu d \geq 0$ ).

$H_1$  = Implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas menghasilkan pengurangan konsumsi energi listrik yang signifikan pada sistem pencahayaan ruang kelas ( $\mu d < 0$ ).

Setelah pengujian selesai dilakukan, maka bisa dilakukan penarikan kesimpulan. Kesimpulan ini akan menjawab rumusan masalah dari penelitian ini dilihat dari keseluruhan metode penelitian yang telah dilakukan. Saran akan berisi rekomendasi dan masukan terkait dengan masalah yang dialami, hal-hal yang bisa dilengkapi, ditingkatkan, atau diperbaiki dalam penelitian lebih lanjut. Harapannya, ringkasan kesimpulan dan saran ini bisa memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendukung kemajuan pengembangan sistem ke depannya.

#### 4. ANALISIS KEBUTUHAN

Analisis kebutuhan diperoleh melalui wawancara dengan Satpam FILKOM UB, Pihak umum FILKOM UB, dan observasi lapangan. Tujuan dari analisis kebutuhan ini adalah untuk mencari fitur-fitur apa saja yang perlu dan relevan untuk diimplementasikan dalam sistem yang akan dibuat.

##### 4.1 Identifikasi Aktor

Identifikasi aktor berisi penjelasan peran masing masing aktor yang terlibat dalam sistem kontrol lampu ruang kelas. Informasi mengenai aktor-aktor ini diperoleh melalui hasil wawancara terhadap calon pengguna sistem dan observasi sehari-hari. Calon pengguna sistem ini adalah Satpam FILKOM dan Pihak Umum FILKOM. Setiap aktor dan perannya didokumentasikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Aktor

Aktor	Deskripsi
<b>Satpam</b>	Satpam merupakan satpam Fakultas Ilmu Komputer yang bertugas menjaga ruang kelas dan memantau kondisi pencahayaan ruang kelas.
<b>Pihak Umum FILKOM</b>	Pihak Umum FILKOM merupakan bagian umum Fakultas Ilmu Komputer yang bertanggung jawab atas sarana dan prasarana di lingkungan Fakultas Ilmu Komputer.

##### 4.2 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional dari Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas menjelaskan fitur dan *service* yang dibutuhkan oleh sistem yang diperoleh dari observasi lapangan. Kebutuhan fungsional ini dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan Fungsional

Kode Kebutuhan	Nama Fungsi	Deskripsi
<b>SKLRK-F-1</b>	Melihat kondisi nyala/mati lampu ruang kelas	Sistem dapat menampilkan kondisi nyala/mati lampu salah satu ruang kelas
<b>SKLRK-F-2</b>	Melihat kondisi okupansi ruang kelas	Sistem dapat menampilkan kondisi okupansi salah satu ruang kelas
<b>SKLRK-F-3</b>	Mengontrol nyala/mati	Sistem dapat menampilkan

	lampa ruang kelas	riwayat nyala/mati lampa pada ruang kelas terpilih	Aktor melakukan <i>login</i> sesuai dengan akunnya masing-masing
<b>SKLRK-F-4</b>	Melihat riwayat nyala/mati lampa ruang kelas	Sistem dapat menampilkan riwayat nyala/mati lampa pada ruang kelas terpilih	<b>Alternative Flow</b> Muncul pesan <i>error</i> apabila <i>username</i> dan <i>password</i> tidak sesuai. Muncul pesan <i>error</i> apabila koneksi gagal
<b>SKLRK-F-5</b>	Melihat jadwal nyala/mati lampa ruang kelas	Sistem dapat melakukan manajemen jadwal penggunaan ruang kelas yang meliputi: - Mengambil data dari SIAM - Melihat jadwal	<b>Post-condition</b> Aktor tiba pada <i>homepage</i> aplikasi web Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas dan dapat melihat kondisi nyala/mati lampu ruang kelas
<b>SKLRK-F-6</b>	Melihat durasi penggunaan lampa ruang kelas	Sistem dapat menampilkan waktu penggunaan lampa ruang kelas secara harian maupun mingguan	

#### 4.3 Use Case Scenario

*Use case scenario* dibuat untuk menggambarkan aktivitas yang terjadi dalam sebuah sistem berdasarkan *use case diagram* yang telah dibuat. Salah satu *use case scenario* pada sistem kontrol lampu ruang kelas dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. *Use Case Scenario*

<b>Use Case</b>	<b>Melihat kondisi nyala/mati lampu ruang kelas</b>
<b>Objective</b>	Sistem dapat menampilkan kondisi nyala/mati lampu ruang kelas
<b>Actor</b>	Satpam
<b>Pre-Condition</b>	Aktor membuka aplikasi web Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas
<b>Main Flow</b>	Aktor membuka aplikasi web Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas

## 5. PERANCANGAN

Proses perancangan dilakukan untuk menghasilkan gambaran sistem sebelum tahap implementasi dimulai.

### 5.1 Arsitektur Sistem

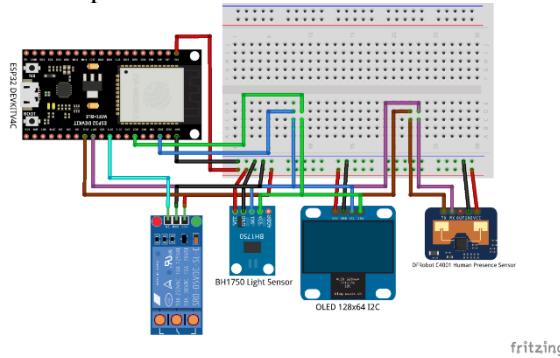
Arsitektur sistem kontrol lampu ruang kelas terdiri dari tiga bagian utama: *Frontend* Aplikasi web, *Backend* Aplikasi web, dan *Microcontroller*. *Frontend* aplikasi web menggunakan framework NextJs dan Tailwind. *Back end website* menggunakan framework NestJs dan PostgreSQL untuk mengelola logika bisnis sistem dan penyimpanan data. *Front end* dan *Back end* terhubung menggunakan protokol *REST API*.

Selain itu, terdapat sistem IoT yang menggunakan mikrokontroller ESP32 sebagai kontroler untuk keseluruhan sensor dan aktuator. ESP32 akan diprogram dengan menggunakan bahasa C++ dan akan berkomunikasi dengan *Back end* aplikasi web menggunakan protokol MQTT. Agar bisa berkomunikasi dengan MQTT, dibutuhkan sebuah broker. Broker yang digunakan adalah EMQX *Community Edition* yang akan di-deploy pada sebuah *private server*.

### 5.2 Arsitektur Internet of Things

Arsitektur dari sistem *internet of things* terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: ESP32, BH1750 *Ambient Light Sensor*, DFRobot C4001 *Human Presence Sensor*, dan OLED *screen* 128x64. BH1750 dan OLED *screen* terkoneksi dengan protokol I2C memanfaatkan pin 21 dan 22 pada ESP32. Sementara itu, C4001 *Human Presence Sensor* menggunakan protokol UART dengan memanfaatkan pin 16 dan 17 pada ESP32.

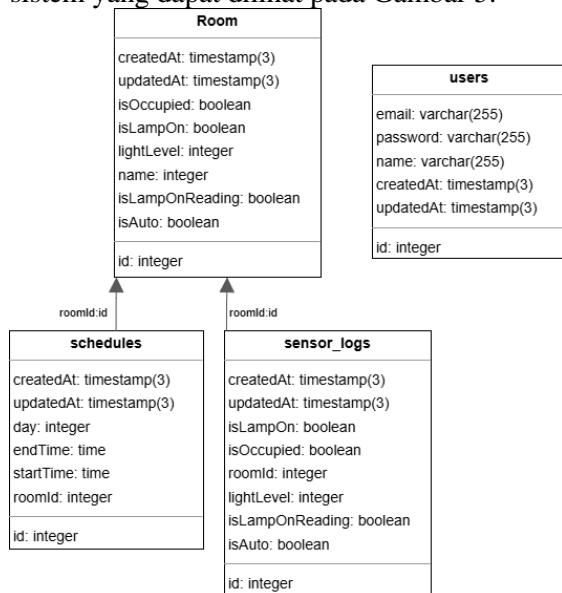
Gambaran arsitektur *internet of things* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Arsitektur Internet of Things

### 5.3 Physical Data Model

*Physical data model* merupakan sebuah rancangan dari struktur basis data pada suatu sistem. Dalam penelitian ini, *physical data model* digunakan untuk menjelaskan kolom-kolom dari setiap tabel dan hubungannya dalam sistem yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Physical Data Model

### 5.4 Dokumentasi API

API atau *Application Programming Interface* adalah salah satu komponen penting dari keseluruhan sistem ini. API akan menjadi sebuah penghubung antara *frontend* dengan *backend*. API akan menjadi sarana pertukaran data antara bagian *frontend* dengan *backend*. *Frontend* akan bertanggung jawab atas tampilan dan juga interaksi user yang kemudian akan dikirimkan menuju *backend* dengan menggunakan API sebagai jembatan antara keduanya. API dalam sistem ini akan memiliki 12 *endpoint* yang memiliki fungsinya masing-

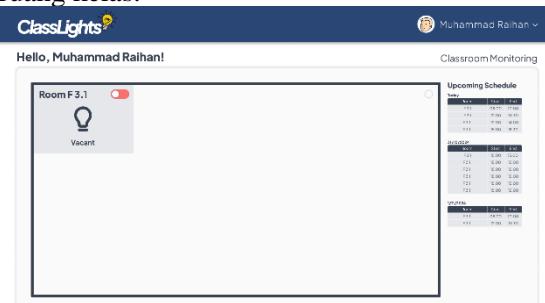
masing. Salah satu contoh dokumentasi api ditunjukkan pada Tabel 4 yang memiliki fungsi untuk melihat seluruh kondisi ruangan.

Tabel 4. Dokumentasi API

Endpoint	/api /room/status
Method	GET
Is Protected?	YES
Response Example	
Success	<pre>{   "message": "",   "statusCode": 200,   "data": [     {       "id": 3,       "name": 21,       "createdAt": "2024-11-06T13:59:25.028Z",       "updatedAt": "2024-11-06T14:03:42.261Z",       "isOccupied": true,       "isLampOn": true,       "lightLevel": 200     }   ] }</pre>

### 5.5 Perancangan Antarmuka

Perancangan antarmuka bertujuan untuk memberikan gambaran antarmuka yang nantinya akan diterapkan pada sistem. Selain itu, perancangan antarmuka juga memberikan penjelasan tentang bagaimana alur sistem Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas. Gambar 6 merupakan hasil rancangan dari halaman *homepage* yang memiliki dua elemen di dalamnya. Elemen pertama adalah sebuah *section* status dari lampu ruang kelas. Elemen kedua adalah jadwal mendatang penggunaan ruang kelas.



Gambar 6. Perancangan Antarmuka

## 6. IMPLEMENTASI

Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas merupakan sebuah sistem *internet of things* dan aplikasi web yang terintegrasi. Sistem ini terdiri dari *frontend*, *backend*, dan *internet of things*.

Sistem ini bertujuan untuk bisa melakukan *monitoring* dan kontrol terhadap sistem pencahayaan ruang kelas sehingga bisa mengefisiensikan penggunaan energi listrik. Selain efisiensi penggunaan energi listrik, sistem ini diharapkan bisa membantu pekerjaan Satpam dan Pihak Umum FILKOM dalam melakukan *monitoring* terhadap sistem pencahayaan ruang kelas.

Implementasi basis data dari Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas menggunakan PostgreSQL yang dijalankan pada sebuah *docker container* dan VPS Ubuntu. Pembuatan tabel mengacu pada *physical data model* yang sudah dirancang sebelumnya. Demi menjaga konsistensi data, seluruh tabel dalam *database* dari Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas dibuat dengan menggunakan sistem migrasi dari PrismaJS dengan prisma *schema*.

Implementasi alat *Internet of Things* dilakukan dengan menggunakan sebuah *development board* untuk mempermudah implementasi alat. Sensor deteksi manusia diletakkan pada bagian depan, sedangkan layar *oled* dan sensor cahaya diletakkan pada bagian atas alat. Kemudian untuk menggantikan relay yang digunakan untuk mengontrol lampu ruang kelas, digunakan sebuah lampu LED yang akan mensimulasikan lampu ruang kelas. Keseluruhan alat dirakit dalam sebuah *enclosure box*. Implementasi ditunjukkan dengan Gambar 7

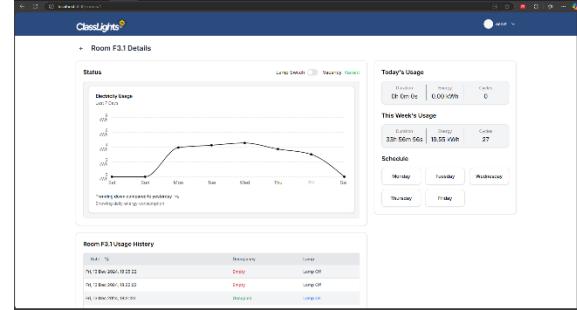


Gambar 7. Hasil Implementasi *Internet of Things*

Implementasi *Back End* atau API dilakukan dengan arsitektur monolitik menggunakan *framework* NestJS. NestJS dipilih karena kehandalannya serta banyak digunakan oleh *enterprise*. Penulis akan memanfaatkan protokol komunikasi REST API dan berkomunikasi dengan format JSON. Selain itu, penulis juga memanfaatkan Prisma ORM sebagai *Object Relational Mapper* atau penghubung antara kode program dengan basis data. Dalam hal autentikasi dan otorisasi, penulis menggunakan

JSON *Web Token* sebagai token untuk melakukan autentikasi dan otorisasi.

Implementasi antarmuka pada aplikasi web dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dibuat sebelumnya dengan beberapa modifikasi menyesuaikan batasan pada teknologi yang digunakan. Teknologi yang digunakan adalah NextJS dan Tailwind CSS. Implementasi antarmuka ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Implementasi Antarmuka

## 7. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian adalah tahap selanjutnya yang sangat penting setelah proses implementasi. Tujuan dari pengujian adalah untuk memastikan bahwa sistem secara keseluruhan berjalan sesuai dengan rencananya. Pengujian sistem kontrol lampu ruang kelas mencakup pengujian fungsional dan *response time*. Analisis efisiensi juga dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan dalam penggunaan energi listrik.

### 7.1 Pengujian

Dari pengujian fungsional yang dilakukan terhadap enam kebutuhan fungsional, didapatkan hasil 100% valid sehingga bisa disimpulkan bahwa sistem telah berfungsi sesuai dengan kebutuhan yang telah didefinisikan. Pengujian *response time* digunakan untuk melihat kecepatan dan kestabilan respons sistem dalam menerima perintah dan mengirimkan data menuju alat *internet of things* melalui MQTT. Dilakukan 5 kali pengujian setiap jam untuk menguji *response time* dari sisi klien menuju alat *internet of things* sehingga didapatkan rata-rata waktu yang dibutuhkan.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Response Time*

Jam	<i>Response Time</i> (ms)					Rata-rata (ms)
	1	2	3	4	5	
06:00	528	536	573	479	497	522,6

<b>07:00</b>	677	705	640	667	674	672,6
<b>08:00</b>	713	722	744	824	710	742,6
<b>09:00</b>	544	571	598	552	585	570
<b>10:00</b>	655	752	723	643	702	695
<b>11:00</b>	863	845	822	794	852	835,2
<b>12:00</b>	549	499	580	589	586	560,6
<b>13:00</b>	757	797	798	806	817	795
<b>14:00</b>	627	635	669	606	640	635,4
<b>15:00</b>	462	481	493	460	470	473,2
<b>16:00</b>	499	547	498	457	463	492,8
<b>17:00</b>	378	397	436	314	425	390
<b>18:00</b>	439	468	483	478	494	472,4
<b>Total</b>				7.857,4		
<b>Rata-rata</b>				604,42		

Dari Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh sistem dalam memproses suatu *request* dari klien menuju alat *internet of things* adalah 604,42 milidetik dengan waktu maksimum 835,2 milidetik pada pukul 11:00 dan waktu minimum 390 milidetik pada pukul 17:00. Rata-rata tersebut masih dalam batas wajar dalam konteks aplikasi *real-time* sehingga sistem kontrol lampu ruang kelas dinilai cukup stabil dan responsif.

## 7.2 Analisis Efisiensi

Analisis efisiensi dilakukan dengan cara membandingkan penggunaan listrik sistem pencahayaan ruang kelas sebelum sistem kontrol lampu ruang kelas diimplementasikan dengan penggunaan listrik sistem pencahayaan ruang kelas sesudah sistem kontrol lampu ruang kelas diimplementasikan. Proses pengambilan data dilakukan selama 10 hari kerja dengan menggunakan dua sensor yang dipasang secara bersamaan pada ruang kelas.

Sensor pertama merupakan sensor cahaya yang akan mendeteksi kondisi nyala/mati lampu ruang kelas yang kemudian akan dianggap sebagai data sebelum sistem kontrol lampu ruang kelas diimplementasi. Sistem akan mencatat waktu ketika sensor cahaya mendeteksi

terjadinya perubahan kondisi nyala/mati lampu dalam ruang kelas tersebut. Data ini akan dianggap sebagai data sebelum sistem kontrol lampu ruang kelas diimplementasi.

Sensor kedua merupakan sensor deteksi manusia yang akan mendeteksi ada/tidaknya okupansi manusia dalam ruang kelas. Sistem akan mencatat waktu ketika sensor deteksi manusia mendeteksi terjadinya perubahan kondisi okupansi dalam ruang kelas tersebut. Data ini akan dianggap sebagai data sesudah sistem kontrol lampu ruang kelas diimplementasi. Analisis efisiensi dilakukan menggunakan data yang diambil pada kondisi berikut:

- a. Ruang kelas: Ruang F3.1 Gedung F Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya
- b. Waktu pengambilan data: 11—22 November 2024
- c. Jumlah lampu: 16 Lampu Philips BrightBoost Fluorescent Tube 36W

Perhitungan penggunaan energi listrik dilakukan dengan cara mengalikan durasi penggunaan lampu dengan spesifikasi watt lampu dan jumlah lampu pada ruang kelas sehingga bisa dihasilkan Persamaan 7.1:

$$E = \frac{t \times (n \times P)}{1000} \quad (7.1)$$

Keterangan:

- E = Penggunaan Energi Listrik (kWh)
- P = Daya (W)
- t = Durasi Penggunaan Lampu (h)
- n = Jumlah Lampu Ruang Kelas

Data durasi penggunaan lampu dalam Ruang Kelas F3.1 Gedung F dicatat dari hasil deteksi sensor cahaya yang menandakan mati/nyala lampu dalam ruangan. Data menunjukkan bahwa sebelum diimplementasikan sistem kontrol lampu ruang kelas, durasi penggunaan lampu di rentang 9,48—12,21 jam dengan total konsumsi energi listrik sebesar 65,78 kWh dan rata-rata konsumsi energi listrik harian sebesar 6,58 kWh.

Data durasi penggunaan lampu dalam Ruang Kelas F3.1 Gedung F yang dicatat dari hasil deteksi sensor deteksi manusia menandakan mati/nyala lampu dalam ruangan setelah diimplementasikan sistem kontrol lampu ruang kelas. Tabel 7.9 menunjukkan bahwa durasi penggunaan lampu setelah implementasi sistem berada di rentang 5,27—8,03 jam dengan total konsumsi energi listrik sebesar 38,56 kWh dan rata-rata konsumsi energi listrik harian sebesar

3,86 kWh

Untuk mendapatkan pengurangan absolut penggunaan energi listrik absolut dari implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas, dihitung rata-rata sebelum sistem diimplementasi dikurangi rata-rata sesudah sistem diimplementasi sehingga didapatkan pengurangan absolut mencapai 2,725 kWh per hari atau setara dengan penurunan 41,42% dari konsumsi awal.

Dari hasil uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk pada Tabel 7.10, didapatkan *p-value* pada data selisih konsumsi energi listrik pada sistem pencahayaan ruang kelas sebelum dan sesudah sistem diimplementasi sebesar 0,204. *P-value* tersebut lebih besar dari 0,05 sehingga data selisih konsumsi energi listrik sebelum dan sesudah sistem diimplementasi dikatakan berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji normalitas, dikatakan bahwa selisih kedua data tersebut berdistribusi normal sehingga bisa dilakukan uji t berpasangan.

Berdasarkan hasil pengujian t berpasangan, didapatkan nilai p-value yang ditunjukkan oleh *Sig. (1-tailed)* berada pada nilai <0,001. Dapat disimpulkan bahwa p-value bernilai <0,05 sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, yang berarti terdapat pengurangan yang signifikan dalam konsumsi energi listrik pada sistem pencahayaan ruang kelas antara sebelum dan sesudah implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas. Hal ini juga didukung oleh nilai rata-rata perbedaan (Mean) sebesar 2,7250 dengan nilai t hitung sebesar 11,5280 dan derajat kebebasan (df) = 9. Dari hasil uji t berpasangan tersebut dapat disimpulkan bahwa implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas terbukti secara statistik dapat menghasilkan pengurangan yang signifikan dalam konsumsi energi listrik sistem pencahayaan pada ruang kelas.

## 8. PENUTUP

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka didapatkan pula kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

### 8.1 Kesimpulan

Setelah penelitian yang diawali dari tahap analisis kebutuhan hingga tahap pengujian dan analisis efisiensi, penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Analisis kebutuhan dilakukan dengan metode wawancara dan observasi lapangan

sehingga dapat diidentifikasi dua aktor dalam sistem, yaitu Satpam dan Pihak Umum FILKOM. Selain itu, tahapan analisis kebutuhan juga menghasilkan enam kebutuhan fungsional dan satu kebutuhan non-fungsional. Tahap perancangan menghasilkan arsitektur sistem, arsitektur *internet of things*, *physical data model*, dokumentasi API, dan rancangan antarmuka. Kemudian setelah tahap perancangan selesai, dilanjutkan dengan tahap implementasi. Implementasi terbagi menjadi tiga bagian yaitu alat *internet of things*, *backend/API*, dan antarmuka. Implementasi *internet of things* dilakukan dengan membeli komponen yang dibutuhkan lalu dilanjutkan dengan perakitan alat sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya. Implementasi *Backend/API* dilakukan dengan kerangka kerja NestJS dan Database PostgreSQL. Terakhir, implementasi antarmuka dilakukan dengan menggunakan kerangka kerja NextJS dan Tailwind CSS. Berdasarkan pengujian fungsional dengan metode *black box testing* yang telah dilakukan, dicapai keberhasilan 100% yang berarti seluruh fungsi yang telah didefinisikan dalam analisis kebutuhan telah berjalan dengan baik dan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Selain itu, berdasarkan pengujian *response time*, rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh sistem dalam memproses suatu *request* dari klien menuju alat *internet of things* adalah 604,42 milidetik dengan waktu maksimum 835,2 milidetik pada pukul 11:00 dan waktu minimum 390 milidetik pada pukul 17:00. Rata-rata tersebut masih dalam batas wajar dalam konteks aplikasi *real-time* sehingga sistem kontrol lampu ruang kelas dinilai cukup stabil dan responsif.

- Berdasarkan analisis efisiensi yang dilakukan dengan pengambilan data langsung pada ruang kelas F3.1 FILKOM UB selama 10 hari kerja, didapatkan rata-rata konsumsi energi listrik sistem pencahayaan ruang kelas harian sebelum sistem diimplementasikan sebesar 6,58 kWh dan rata-rata konsumsi energi listrik sistem pencahayaan ruang kelas harian setelah sistem diimplementasikan sebesar 3,86 kWh. Untuk mendapatkan pengurangan absolut penggunaan energi listrik dari implementasi sistem kontrol

lampu ruang kelas, dihitung rata-rata sebelum sistem diimplementasi dikurangi rata-rata sesudah sistem diimplementasi sehingga didapatkan pengurangan absolut mencapai 2,725 kWh per hari atau setara dengan penurunan 41,42% dari konsumsi energi listrik sebelum sistem diimplementasi. Dari uji normalitas *Shapiro-Wilk*, didapatkan hasil bahwa selisih kedua data yang diambil mempunyai distribusi normal. Uji normalitas dilakukan untuk meningkatkan objektivitas penilaian serta sebagai syarat dari uji beda t berpasangan. Uji beda t berpasangan dilakukan untuk menguji apakah implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas menghasilkan pengurangan konsumsi energi listrik yang signifikan dalam sistem pencahayaan ruang kelas. Berdasarkan hasil pengujian t berpasangan, dipatkan bahwa nilai p-value berada pada nilai <0,001. Dapat disimpulkan bahwa p-value bernilai <0,05 sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, yang berarti terdapat pengurangan yang signifikan dalam konsumsi energi listrik sistem pencahayaan ruang kelas antara sebelum dan sesudah implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas. Dari hasil uji t berpasangan tersebut dapat disimpulkan bahwa implementasi sistem kontrol lampu ruang kelas terbukti secara statistik dapat menghasilkan pengurangan konsumsi energi listrik yang signifikan dalam sistem pencahayaan ruang kelas..

## 8.2 Saran

Dari tahapan penelitian dan hasil yang telah diperoleh, dapat diidentifikasi beberapa saran untuk meningkatkan kualitas penelitian ini. Saran tersebut adalah:

1. Membuat validasi terhadap pengguna yang melakukan registrasi sehingga hanya Satpam dan Pihak Umum FILKOM yang dapat melakukan registrasi.
2. Memperkecil ukuran dari alat yang dipasang ruang kelas sehingga tidak menarik perhatian dan dapat diletakkan pada posisi yang lebih optimal.
3. Memperpanjang durasi pengambilan data sehingga didapatkan lebih banyak data untuk dilakukan pengujian dan analisis.
4. Mengimplementasi fitur tambahan seperti manajemen pengguna, manajemen ruang kelas, dan manajemen jadwal.

## 9. DAFTAR PUSTAKA

- Bernadiktus, F., & Hamzah, A. (2016). Analisa Evaluasi Intensitas Konsumsi Energi Melalui Audit Energi Listrik Di Gedung Rektorat Universitas Riau. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains*, 3(2), 1–11. [https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTE\\_KNIK/article/view/10685](https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTE_KNIK/article/view/10685)
- Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2005). *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley.
- Circuit Schools. (2022). *What is ESP32, how it works and what you can do with ESP32? – Circuit Schools*. <https://www.circuitschools.com/what-is-esp32-how-it-works-and-what-you-can-do-with-esp32/>
- Copei, S., Wickert, M., & Zündorf, A. (2021). *Implementation of a Microservice-Based Certification Platform*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-88583-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88583-0_18)
- Deep Sea Developments. (2023). *The ESP32 Chip explained: Advantages and Applications*. <https://www.deepseadev.com/en/blog/esp32-chip-explained-and-advantages/>
- Dewan Energi Nasional. (2023). *Outlook Energi Indonesia 2023*.
- DFRobot. (2024). *C4001 mmWave Human Presence Sensor Wiki*. [https://wiki.dfrobot.com/SKU\\_SEN0609\\_C4001\\_mmWave\\_Presence\\_Sensor\\_25m](https://wiki.dfrobot.com/SKU_SEN0609_C4001_mmWave_Presence_Sensor_25m)
- Diddeniya, I., Gunawardana, N., Maduwantha, K., Koswattage, K., Randima, M., & Vasanthapriyan, S. (2020). *IoT Based Energy Efficient Smart Classroom*. 6, 3581–3586.
- Espressif Systems. (2024). *ESP32 Series Datasheet v4.6*.
- Fitriani, R., Wati, R., Hanifah, P., & Misriyanti, M. (2019). Kampanye Hemat Listrik Terhadap Efisiensi Energi Pada Ibu Rumah Tangga Yang Bekerja. In *Psikostudia Jurnal Psikologi*. <https://doi.org/10.30872/psikostudia.v7i2.2407>
- Hanggara, B. T., Nasrullah, M. H., & Pramono, D. (2024). Analisis Perbandingan Performa Framework NestJS Dan Lumen Pada Studi Kasus Aplikasi Berbasis REST API. In *J-Intech*. <https://doi.org/10.32664/j-intech.v12i1.1354>

- Kementrian ESDM. (2023). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023.*
- McKinsey. (2024). *What is the Internet of Things (IoT)?* / McKinsey. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-the-internet-of-things>
- Nasrudin, M. W., Nordin, N. A., Ismail, I., Jais, M. I., Rahim, A. N. A., & Mustafa, W. A. (2021). Smart Classroom for Electricity-Saving with Integrated IoT System. *Journal of Physics: Conference Series*, 2107(1), 12019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2107/1/012019>
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Elsevier Science.
- Nugroho, A., Prihandani, K., & Mayasari, R. (2024). Rancang Bangun Sistem Pembelian E-Ticket Berbasis Website Dengan Konsep Server-Side Rendering Menggunakan Framework Next Js Pada Wisata Telaga Kusuma Jumantono. In *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.9960>
- Pratomo, H. P. S., & Jonatan, P. H. (2022). Audit Energi Pada Dua Produk Kaca Lembaran Di Sebuah Pabrik Kaca. In *Jurnal Teknik Mesin*. <https://doi.org/10.9744/jtm.19.2.32-35>
- Random Nerd Tutorials. (2022). *ESP32 with BH1750 Ambient Light Sensor / Random Nerd Tutorials*. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-bh1750-ambient-light-sensor/>
- Random Nerd Tutorials. (2024). *Getting Started with the ESP32 Development Board / Random Nerd Tutorials*. <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>
- Ritheesh, P., Kumar, N. K., & Singh, K. (2023). Smart Classroom: Real Time Monitoring of Classroom through IoT. *2023 Third International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC)*, 202–206. <https://doi.org/10.1109/ICSCCC58608.2023.10176619>
- ROHM Co. (2011). *BH1750 Ambient Light Sensor Datasheet*. <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>
- Sari, L., Alam, S., Surjati, I., & Astuti, P. (2023). *Penyalahan Penggunaan Listrik Untuk Kebutuhan Rumah Tangga Secara Efisien Di Kelurahan Jatibening Baru, Bekasi*. <https://doi.org/10.24853/jpmpt.6.1.27-32>
- Siepert, B. (2020). *Adafruit BH1750 Ambient Light Sensor*. <https://learn.adafruit.com/adafruit-bh1750-ambient-light-sensor>
- Sommerville, I. (2011). *Software Engineering 9th Edition*. Pearson.
- Stephanie, S., & Sujaini, H. (2015). Sistem Otomasi Lampu Pada Bangunan Publik Dengan Metode Forward Chaining. In *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (Jepin)*. <https://doi.org/10.26418/jp.v1i1.10008>
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian : Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, Kombinasi dan R&D*. Alfabeta.
- Utomo, D. W., Kurniawan, D., & Astuti, Y. P. (2018). Teknik pengujian perangkat lunak dalam evaluasi sistem layanan mandiri pemantauan haji pada kementerian agama provinsi jawa tengah. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 9(2), 731–746. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i2.2289>
- Villamil, S., Hernández, C., & Tarazona, G. (2020). An overview of internet of things. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(5), 2320–2327. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.V18I5.15911>
- WatElectronics. (2022). *BH1750 Ambient Light Sensor : Datasheet & Its Applications*. <https://www.watelectronics.com/bh1750-ambient-light-sensor/>
- Wicaksana, G. A., Arjanti, B. D. A., Aqilla, S., Putri, J. A., & Baruno, A. (2023). Pandum : Media Pembelajaran Aksara Jawa Berbasis Next Js. In *Cakrawala Jurnal Ilmiah Bidang Sains*. <https://doi.org/10.28989/cakrawala.v2i2.1941>
- Zima, B., & Barszcz, M. (2024). Comparative Analysis of Node.js Frameworks. In *Journal of Computer Sciences Institute*. <https://doi.org/10.35784/jcsi.5364>