

ABSTRAK

PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM LAMPU OTOMATIS BERBASIS ESP32 MENGGUNAKAN SENSOR LDR DAN PIR UNTUK ANALISIS POTENSI PENGHEMATAN ENERGI PADA SIMULATOR WOKWI

Nama : Yoga Aimar Rosyid
NPM : 2255201133
Dosen : Dandi Sunardi, S.Sos.I., M.Kom

Penggunaan lampu yang tidak sesuai dengan kondisi pencahayaan dan aktivitas pengguna dapat menyebabkan pemborosan energi. Penelitian ini bertujuan merancang dan menyimulasikan sistem lampu otomatis berbasis ESP32 menggunakan sensor LDR dan PIR serta menganalisis potensi penghematan energi pada simulator Wokwi. Metode yang digunakan adalah eksperimen berbasis simulasi dengan pendekatan deskriptif kuantitatif dan model Prototype. Sistem menggunakan ambang LDR 2000 dan waktu tunda 10 detik berbasis fungsi millis(). Pengujian black-box dilakukan terhadap 16 kasus uji dengan tiga kali pengulangan, menghasilkan tingkat keberhasilan 100%. Pada skenario dinamis, sistem otomatis menghasilkan konsumsi energi 0,05599 Wh dibandingkan sistem konvensional 0,16667 Wh, dengan potensi penghematan sebesar 66,41%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi ESP32, LDR, PIR, dan mekanisme waktu tunda mampu mengendalikan lampu secara adaptif sesuai kondisi lingkungan dan aktivitas pengguna. Estimasi energi penelitian ini masih terbatas pada simulasi Wokwi.

Kata kunci: ESP32, LDR, PIR, Lampu otomatis, Efisiensi energi, Wokwi.

ABSTRACT

DESIGN AND SIMULATION OF AN ESP32-BASED AUTOMATIC LIGHTING SYSTEM USING LDR AND PIR SENSORS FOR ANALYZING POTENTIAL ENERGY SAVINGS IN THE WOKWI SIMULATOR

Name : Yoga Aimar Rosyid
Student ID : 2255201133
Supervisor : Dandi Sunardi, S.Sos.I., M.Kom

The use of lighting systems that are not adjusted to environmental conditions and user activities can lead to energy waste. This study aims to design and simulate an automatic lighting system based on ESP32 using LDR and PIR sensors, as well as analyze its energy-saving potential in the Wokwi simulator. The research employed a simulation-based experimental method with a quantitative descriptive approach and Prototype development model. The system applied an LDR threshold value of 2000 and a 10-second delay mechanism using the millis() function. Black-box testing was conducted on 16 test cases with three repetitions, resulting in a 100% success rate. In the dynamic scenario, the automatic system consumed 0.05599 Wh compared to 0.16667 Wh in the conventional system, providing an estimated energy saving potential of 66.41%. The results indicate that the integration of ESP32, LDR, PIR, and delay mechanisms can adaptively control lighting based on environmental conditions and user activity. The energy estimation in this study is limited to the Wokwi simulation and does not represent actual physical device consumption.

Keywords: ESP32, LDR, Automatic Lighting, Energy Efficiency, Wokwi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan sumber daya penting bagi aktivitas rumah tangga, pendidikan, perkantoran, industri, dan fasilitas umum. Peningkatan penggunaan perangkat listrik menuntut pengelolaan energi yang semakin efisien. International Energy Agency mencatat bahwa sektor bangunan menyumbang sekitar 30 persen permintaan energi global. Di Indonesia, komitmen konservasi energi diperkuat melalui Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi dan SNI 6197:2020 mengenai konservasi energi pada sistem pencahayaan. Kondisi tersebut menegaskan bahwa efisiensi penggunaan energi pada bangunan, termasuk pencahayaan, perlu mendapat perhatian (International Energy Agency, 2025; Pemerintah Republik Indonesia, 2023; Badan Standardisasi Nasional, 2020).

Pencahayaan diperlukan untuk mendukung aktivitas secara aman dan nyaman, tetapi efisiensinya tidak hanya ditentukan oleh jenis atau daya lampu. Durasi pengoperasian juga menentukan besarnya energi yang digunakan. Lampu hemat energi tetap dapat digunakan secara tidak efisien apabila menyala ketika ruangan tidak digunakan atau ketika cahaya alami masih mencukupi. Pada sistem konvensional yang mengandalkan sakelar manual, kondisi tersebut sangat bergantung pada kedisiplinan pengguna. Lampu dapat

Stetap menyala setelah pengguna meninggalkan ruangan atau ketika kebutuhan pencahayaan telah berkurang.

Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya pengendalian lampu yang dapat menyesuaikan pengoperasian dengan kondisi lingkungan dan aktivitas pengguna. Penelitian ini mengintegrasikan sensor Light Dependent Resistor (LDR), sensor Passive Infrared (PIR), dan ESP32. LDR digunakan untuk memperoleh nilai yang merepresentasikan kondisi pencahayaan dan mengklasifikasikannya menjadi terang atau gelap berdasarkan nilai ambang. PIR digunakan untuk mendeteksi gerakan sebagai representasi aktivitas pengguna, bukan untuk menjamin keberadaan manusia secara terus-menerus. ESP32 memproses kedua masukan tersebut untuk menentukan status lampu serta mengelola waktu tunda dan pencatatan durasi.

Integrasi LDR dan PIR memungkinkan keputusan yang lebih selektif. Lampu hanya menyala apabila kondisi diklasifikasikan gelap dan gerakan terdeteksi. Apabila lingkungan terang, lampu tetap mati meskipun terdapat gerakan; sebaliknya, pada kondisi gelap tanpa gerakan, lampu juga tetap mati. Setelah gerakan tidak lagi terdeteksi, lampu dipertahankan selama waktu tunda yang ditetapkan agar sistem tidak segera mematikan lampu akibat hilangnya deteksi sesaat. Prinsip ini diarahkan untuk mengurangi durasi nyala yang tidak diperlukan.

Perancangan dan pengujian dilakukan pada simulator Wokwi, yang mendukung ESP32, sensor fotoresistor, PIR, LED, serta Serial Monitor Wokwi

memungkinkan rangkaian dan program diuji tanpa perakitan perangkat fisik, sementara kondisi cahaya dan kejadian gerakan dapat dimanipulasi secara terkontrol dan berulang. Nilai sensor, status lampu, waktu kejadian, dan durasi nyala dapat diamati melalui Serial Monitor sebagai data penelitian. (Wokwi, n.d.).

Penggunaan Wokwi sekaligus menentukan batas klaim penelitian. Simulasi digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara masukan sensor, logika program, respons lampu, dan durasi operasional, bukan untuk mengukur arus, tegangan, daya, atau energi listrik aktual. Oleh karena itu, analisis energi dilakukan menggunakan daya lampu yang diasumsikan dan durasi nyala hasil simulasi. Hasil penelitian dinyatakan sebagai estimasi konsumsi energi dan potensi penghematan energi, bukan sebagai penghematan aktual pada bangunan nyata (Wokwi, n.d.).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem pencahayaan otomatis telah dikembangkan melalui berbagai pendekatan. Putri dan Habibullah mengombinasikan LDR dan PIR dengan logika AND untuk mengendalikan lampu berdasarkan kondisi cahaya dan gerakan. Muliadi, Akbar, dan Syam menggunakan ESP32 dan LDR dengan fungsi kendali otomatis serta aplikasi seluler. Fadil, Suhendi, dan Qurthobi mengembangkan sistem berbasis PIR dan LDR dengan pengukuran arus dan tegangan pada prototipe fisik. Sementara itu, Akrasakis dan Tsikalakis menunjukkan bahwa pengendalian berbasis okupansi dan cahaya alami dapat menghasilkan penghematan energi pada bangunan pendidikan. Perbedaan pendekatan

tersebut menunjukkan bahwa pengendalian otomatis dapat dievaluasi dari sisi fungsi maupun energi, tetapi metode dan batas klaimnya harus disesuaikan dengan lingkungan pengujian.

Berdasarkan kajian tersebut, masih terdapat ruang penelitian untuk mengintegrasikan pengujian fungsional berbasis simulasi dengan evaluasi energi yang bertumpu pada durasi nyala. Penelitian berbasis Wokwi perlu membedakan secara tegas hasil simulasi dari pengukuran fisik. Karena itu, penelitian ini menyusun skenario terkontrol untuk menguji kombinasi kondisi terang-gelap dan gerakan-tanpa gerakan, mencatat durasi nyala sistem otomatis, kemudian membandingkannya dengan sistem konvensional pada daya lampu dan periode pengamatan yang sama.

Kebaruan penelitian tidak terletak pada penciptaan sensor atau mikrokontroler baru, melainkan pada penerapan dan metode evaluasinya. Sistem ESP32-LDR-PIR diuji melalui skenario black-box pada Wokwi; keluaran tidak hanya dinilai dari keberhasilan lampu menyala atau mati, tetapi juga dari durasi operasional yang selanjutnya digunakan sebagai dasar estimasi potensi penghematan energi. Pendekatan tersebut menghasilkan model eksperimen simulasi yang terstruktur, dapat diulang, dan tetap proporsional dalam menyatakan hasil.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilaksanakan dengan judul “Perancangan dan Simulasi Sistem Lampu Otomatis Berbasis ESP32

Menggunakan Sensor LDR dan PIR untuk Analisis Potensi Penghematan Energi pada Simulator Wokwi.”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan menyimulasikan sistem lampu otomatis berbasis ESP32 menggunakan sensor LDR dan PIR pada simulator?
2. Bagaimana kinerja sistem lampu otomatis dalam merespon kombinasi kondisi pencahayaan dan deteksi gerakan pada berbagai scenario pengujian?
3. Berapa besar potensi penghematan energi sistem lampu otomatis dibandingkan dengan sistem lampu konvensional berdasarkan perbandingan durasi nyala lampu pada simulator Wokwi?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah dan tidak meluas, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada perancangan dan simulasi sistem lampu otomatis berbasis ESP32 dan dilaksanakan sepenuhnya pada wokwi tanpa perakitan maupun pengujian perangkat elektronik fisik.
2. Komponen utama terdiri atas ESP32, satu sensor LDR, satu sensor PIR. Dan lampu atau LED virtual. LDR digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi

terang untuk mendeteksi Gerakan sebagai representasi aktivitas pengguna, bukan keberadaan manusia secara statis.

3. Lampu menyala Ketika kondisi gelap dan gerakan terdeteksi. Lampu tetap mati Ketika kondisi terang atau tidak terdapat gerakan, dengan mekanisme waktu tunda setelah deteksi gerakan berakhir.
4. Pengujian menggunakan Black-box testing berbasis scenario yang mengombinasikan kondisi terang, gelap, Gerakan terdeteksi, Gerakan tidak terdeteksi, serta perubahan kondisi selama periode pengamatan. Kinerja dinilai dari kesesuaian antara masukan, logika program, dan respon lampu.
5. Data utama meliputi nilai LDR, status PIR, status lampu, waktu kejadian, waktu mulai dan berhenti, serta total durasi nyala selama simulasi.
6. Sistem otomatis dibandingkan dengan model sistem konvensional yang dikendalikan secara manual. Perbandingan menggunakan daya lampu dan periode pengamatan yang sama agar perbedaan estimasi energi terutama ditentukan oleh durasi nyala.
7. Perhitungan energi menggunakan daya lampu yang diasumsikan dan durasi nyala. Penelitian tidak mengukur arus, tegangan, daya, atau konsumsi energi aktual, sehingga hasil dinyatakan sebagai estimasi konsumsi energi dan potensi penghematan energi.
8. Penelitian tidak membahas kendali melalui aplikasi seluler, internet, cloud, Bluetooth, pemantauan jarak jauh, pengaturan intensitas lampu, biaya implementasi, analisis ekonomi, masa pengembalian investasi, umur komponen, dan keandalan perangkat fisik.

9. Hasil penelitian terbatas pada konfigurasi, parameter, dan skenario simulasi yang digunakan dan tidak digeneralisasikan secara langsung untuk seluruh ruangan, bangunan, pola aktivitas, atau kondisi pencahayaan nyata.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini bertujuan merancang dan menyimulasikan sistem lampu otomatis berbasis ESP32 menggunakan sensor LDR dan PIR serta menganalisis potensi penghematan energi melalui pengujian pada simulator Wokwi.
2. Merancang dan menyimulasikan sistem lampu otomatis berbasis ESP32 menggunakan sensor LDR dan PIR pada simulator Wokwi.
3. Menganalisis potensi penghematan energi sistem otomatis dibandingkan dengan sistem konvensional berdasarkan perbandingan durasi nyala lampu.

1.5 Kerangka Kerja Penelitian

Kerangka kerja penelitian menggambarkan tahapan sistematis sejak identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan. Penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan penggunaan lampu manual dan studi literatur mengenai sistem lampu otomatis, ESP32, LDR, PIR, Wokwi, pengujian 7 sistem, serta efisiensi energi. Hasil tahap awal menjadi dasar analisis kebutuhan dan perancangan sistem.

Sistem kemudian dirancang melalui penyusunan arsitektur, rangkaian virtual, logika kendali, algoritma, dan program ESP32. Prototipe diimplementasikan pada Wokwi dan melalui pengujian awal untuk memastikan koneksi, pembacaan sensor, serta keluaran lampu berjalan sesuai rancangan. Setelah prototipe final diperoleh, pengujian utama dilakukan menggunakan skenario black-box dan data durasi dicatat melalui Serial Monitor.

Data durasi sistem otomatis dibandingkan dengan sistem konvensional pada daya lampu dan waktu pengamatan yang sama. Estimasi energi dihitung dari daya dan durasi nyala, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk memperoleh potensi penghematan energi. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan untuk menjawab pertanyaan penelitian dan merumuskan saran pengembangan.

Tabel 1.1 Tahapan Penelitian

No	Tahapan Penelitian	Kegiatan Utama	Luaran
1	Identifikasi masalah dan studi literatur	Mengidentifikasi masalah pengoperasian lampu dan mengkaji landasan teori serta penelitian terdahulu.	Rumusan masalah dan landasan penelitian
2	Analisis kebutuhan	Menetapkan komponen, perangkat lunak, parameter, logika, variable, dan kebutuhan data.	Spesifikasi kebutuhan sistem

3	Perancangan sistem	Menyusun arsitektur, rangkaian, konfigurasi pin, logika kendali, algoritma, dan program.	Desain sistem
4	Implementasi prototipe	Membangun rangkaian dan menjalankan program pada wokwi.	Prototipe simulasi
5	Pengujian awal	Memeriksa koneksi, pembacaan sensor, keluaran, nilai ambang, dan waktu tunda	Prototipe siap diuji
6	Perancangan skenario	Menetapkan kombinasi kondisi cahaya, gerakan, perubahan status, dan durasi pengmatan.	Skenario pengujian
7	Pengujian utama	Menjalankan black-box testing dan mencatat reson serta durasi lampu.	Data hasil simulasi
8	Estimasi energi	Menghitung estimasi energi sistem otomatis dan konvensional berdasarkan daya asumsi dan durasi	Estimasi energi kedua sistem

9	Analisis perbandingan	Menghitung tingkat keberhasilan dan presentase potensi penghematan energi.	Hasil analisis
10	Kesimpulan	Menjawab pertanyaan penelitian dan Menyusun saran.	Kesimpulan dan rekomendasi

