

SISTEM OTOMATIS PENGENDALIAN RUANGAN BERBASIS WEB MENGGUNAKAN ESP32 UNTUK EFISIENSI ENERGI RUANG PERKULIAHAN

Amir Saleh¹, Fadhillah Azmi^{2*}

¹*Prodi Teknik Komputer, Jurusan Teknik Komputer dan Informatika, Politeknik Negeri Medan, Medan, Sumatera Utara, 20123, Indonesia*

²*Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan, Sumatera Utara, 20123, Indonesia*

Info Artikel

Riwayat Artikel :

Diterima : 20 November 2025

Direvisi : 28 November 2025

Diterima : 07 Desember 2025

Diterbitkan : 19 Desember 2025

Kata Kunci : *Internet of Things, Smart Room Controller, Dashboard Web, ESP32, Efisiensi Energi*

Penulis Korespondensi: Fadhillah

Azmi

Email: fadhillah@staff.uma.ac.id

Abstrak

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memiliki peran yang begitu penting untuk mendukung efisiensi energi di lingkungan kampus. Setiap ruang perkuliahan, biasanya terdapat banyak perangkat listrik seperti lampu dan AC yang sering beroperasi di luar jam penggunaan, dan mengakibatkan pemborosan energi yang signifikan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem otomatis ruangan atau *Smart Room Controller* berbasis web yang memungkinkan pengendalian perangkat secara manual, otomatis melalui penjadwalan, serta pemantauan status secara *real-time*. Sistem yang dibangun menggunakan perangkat mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, penyimpanan jadwal berbasis SPIFFS, komunikasi WebSocket, dan *dashboard web* yang dapat diakses tanpa aplikasi tambahan. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur utama berjalan dengan baik, dengan waktu respons kontrol manual rata-rata <300 ms dan pembaruan status *real-time* <200 ms. Penjadwalan otomatis mencatat tingkat keberhasilan 96,7% dan penyimpanan jadwal bersifat persisten setelah *restart* perangkat. Evaluasi konsumsi energi pada ruang kuliah menunjukkan penurunan penggunaan energi harian dari 20,5 kWh menjadi 18,5 kWh, sehingga terjadi penghematan sebesar 9,8%. Berdasarkan hasil tersebut, sistem *Smart Room Controller* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi pemborosan penggunaan perangkat ruangan di kampus. Sistem ini memiliki potensi diterapkan secara lebih luas dan dikembangkan pada tahap berikutnya dengan integrasi algoritma kecerdasan buatan untuk optimasi penggunaan energi secara adaptif.

Jurnal Mahajana Informasi

e-ISSN : 2527-8290

Vol. 10 No. 2 , Desember, 2025 (P123-134)

Homepage : <https://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/7>

DOI : <https://doi.org/10.51544/jurnalmi.v10i2.6591>

How To Cite : Azmi, F., & Amir Saleh. (2025). SISTEM OTOMATIS PENGENDALIAN



1. Pendahuluan

Internet of Things (IoT) belakangan ini sangat berperan penting untuk meningkatkan efisiensi energi di lingkungan kampus. Gedung perkuliahan secara umum masih mengalami pemborosan listrik akibat lampu dan pendingin ruangan yang sering dibiarkan menyala tanpa kontrol, dengan kontribusi mencapai lebih dari 40% penggunaan energi bangunan [1], [2]. Beberapa studi menunjukkan bahwa otomasi berbasis sensor dan kendali jarak jauh dapat menurunkan konsumsi energi melalui *monitoring* dan pengendalian yang lebih adaptif [3], [4]. *Smart Room Controller* berbasis web menawarkan solusi yang lebih fleksibel karena dapat diakses melalui *browser* tanpa aplikasi tambahan [5]. Pendekatan ini mendukung konsep *Smart Campus* serta standar manajemen energi seperti ISO 50001 mengenai penghematan energi [6]. Namun, sebagian besar implementasi di kampus hanya berupa prototipe sederhana, tanpa integrasi penjadwalan otomatis, penyimpanan lokal, dan *monitoring real-time* berbasis web [7]. Kondisi ini menunjukkan kebutuhan sistem otomatisasi yang stabil, ekonomis, mudah diimplementasikan, dan terukur untuk lingkungan pendidikan.

Meskipun teknologi otomasi berbasis IoT telah banyak diteliti, namun terdapat beberapa tantangan yang masih muncul. Pertama, sejumlah penelitian masih berfokus pada aplikasi *mobile*, bukan *platform* web universal yang dapat diakses di berbagai perangkat. Kedua, integrasi antara sensor, jadwal otomatis, dan kontrol perangkat sering kali tidak *real-time* sehingga mengurangi keandalan sistem. Ketiga, penyimpanan konfigurasi pada perangkat IoT seperti ESP32 memiliki keterbatasan kapasitas dan konsistensi data. Keempat, sebagian sistem belum dilengkapi *feedback* atau notifikasi status perangkat, sehingga pengguna tidak mengetahui apakah perangkat aktif sesuai jadwal. Semua tantangan ini menjadi fokus solusi dalam penelitian ini.

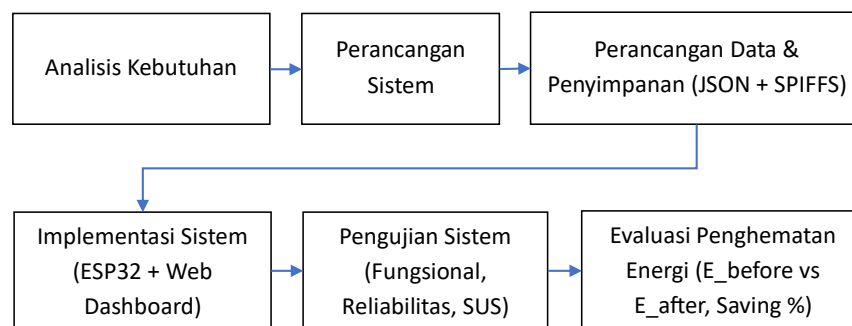
Berbagai penelitian telah membahas pemanfaatan IoT untuk efisiensi energi dengan mengintegrasikan sensor suhu, cahaya, atau gerakan sebagai dasar pengendalian perangkat ruangan [8], [9]. Mitrović et al (2021) menjelaskan kemampuan ESP32 dalam menjalankan *server* HTTP dan WebSocket sehingga cocok untuk sistem otomasi ruangan [10]. Endra et al (2019) merancang sistem kendali berbasis web, namun belum memasukkan fitur penjadwalan perangkat atau penyimpanan *local* [11]. Penelitian Pramudita & Setyawan (2022) menunjukkan implementasi *smart classroom*, tetapi masih terbatas pada kontrol manual tanpa integrasi data persisten [12]. Penelitian lain seperti Ariyani & Juliasari (2025) berfokus pada aplikasi *mobile*, belum pada web *interface* yang lebih universal [13]. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menggabungkan kendali web, jadwal otomatis berbasis SPIFFS, dan *feedback real-time* melalui WebSocket dalam satu sistem terintegrasi.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan *Smart Room Controller* berbasis web yang mampu melakukan kontrol manual, penjadwalan otomatis, penyimpanan lokal yang

persisten, serta *monitoring* perangkat secara *real-time*. Sistem ini dirancang untuk mendukung efisiensi energi pada ruang kampus melalui otomatisasi berbasis IoT. Selain itu, arsitektur yang diusulkan diharapkan mudah direplikasi pada lingkungan kampus lainnya. Kontribusi penelitian ini meliputi: (1) perancangan antarmuka web untuk pengendalian perangkat dan jadwal otomatis; (2) implementasi *server* ESP32 dengan *endpoint* HTTP serta penyimpanan jadwal menggunakan SPIFFS; (3) integrasi WebSocket untuk memberikan *feedback real-time* kepada pengguna; dan (4) validasi sistem melalui pengujian langsung pada ruang kampus sebagai upaya penghematan energi. Makalah ini disusun sebagai berikut: Bagian 2 menjelaskan metodologi sistem. Bagian 3 memaparkan hasil implementasi dan pengujian. Bagian 4 memberikan kesimpulan.

2. Metode

Bagian ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam perancangan sistem otomatis ruangan berbasis web menggunakan ESP32 dengan mengacu pada diagram blok sistem yang telah disusun pada Gambar 1 dibawah. Diagram blok tersebut menjadi dasar alur kerja penelitian, dimulai dari proses input pengguna melalui *dashboard* web, komunikasi data menuju ESP32, pengolahan perintah dan penjadwalan otomatis, hingga output berupa pengendalian perangkat serta pengiriman status kembali ke antarmuka web. Seluruh tahapan metodologi, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan arsitektur, implementasi fitur, hingga pengujian akan dilakukan mengikuti aliran proses pada diagram blok sehingga sistem yang dikembangkan dapat bekerja secara terstruktur, konsisten, dan sesuai tujuan utama penelitian, yaitu mengoptimalkan penggunaan energi pada ruang perkuliahan.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Otomatis Ruangan Berbasis Web dan ESP32

Penjelasan lengkap dari tahapan penelitian pada Gambar 1 dapat diuraikan sebagai berikut:

2.1 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk memastikan sistem otomasi ruangan dapat berfungsi sesuai tujuan, yaitu memberikan kontrol perangkat secara manual maupun otomatis melalui web. Dari hasil pengamatan di ruang perkuliahan, dibutuhkan kemampuan untuk menyalakan dan mematikan lampu atau AC secara jarak jauh, mengatur jadwal otomatis, serta memantau status perangkat secara *real-time*. Oleh karena itu, sistem memerlukan sebuah *dashboard* berbasis web sebagai antarmuka pengguna, modul ESP32 sebagai pengendali utama, dan *relay* sebagai aktuator perangkat

listrik. Sistem juga membutuhkan koneksi Wi-Fi untuk komunikasi data, penyimpanan jadwal di SPIFFS agar tetap tersimpan setelah *restart*, serta mekanisme WebSocket untuk memperbarui status secara cepat [14], [15], [16].

2.2. Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem, proses dirumuskan ke dalam tiga aspek utama, yaitu perancangan arsitektur sistem, perancangan data dan penyimpanan, serta perancangan antarmuka web. Arsitektur sistem diimplementasikan berdasarkan pendekatan *hierarchical IoT architecture*, yang terdiri dari tiga lapisan utama untuk memastikan sistem bekerja terstruktur dan mudah diterapkan. Lapisan pertama adalah *end-device layer*, di mana modul ESP32 berperan sebagai pengendali *relay* untuk mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat listrik [17], [18]. Lapisan kedua adalah *network layer*, yang menggunakan protokol HTTP sebagai jalur komunikasi kontrol dan WebSocket sebagai mekanisme pembaruan status perangkat secara *real-time* [17]. Lapisan terakhir adalah *application layer*, yang menyediakan *dashboard* berbasis HTML, JavaScript, dan PHP sebagai antarmuka pengguna.

Pada bagian perancangan data dan penyimpanan, sistem memanfaatkan format JSON untuk menyimpan jadwal otomatis pada memori SPIFFS agar tetap persisten meskipun perangkat mengalami *restart*. Format JSON dipilih karena ringan, mudah dibaca, serta umum digunakan dalam sistem IoT, sehingga mempermudah proses *parsing* dan manipulasi data [19]. Sebagai contoh, struktur JSON yang digunakan berisi parameter perangkat, aksi (*ON/OFF*), waktu eksekusi, serta pola pengulangan harian.

Sementara itu, antarmuka web dirancang untuk bersifat responsif, sederhana, dan mudah dipahami oleh pengguna melalui tiga menu utama, yaitu kontrol manual perangkat, penjadwalan otomatis, dan pemantauan status secara *real-time*. Pendekatan ini bertujuan agar sistem dapat digunakan oleh berbagai pengguna tanpa memerlukan pemahaman teknis lanjutan, serta mendukung interaksi yang cepat dan intuitif. Desain antarmuka mengikuti prinsip *UI/UX usability* agar mudah dipahami dan dioperasikan oleh pengguna seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Rancangan *Dashboard* pada Sistem Otomatis Ruang Berbasis Web

2.3 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan melalui tiga tahap utama, dimulai dari konfigurasi perangkat ESP32 sebagai pengendali utama sistem otomatis ruangan. Pada tahap ini,

ESP32 dikembangkan dengan beberapa *endpoint* berbasis HTTP, seperti POST `/device/control` untuk kontrol manual perangkat, POST `/schedule/add` untuk penambahan jadwal otomatis, dan GET `/schedule/list` untuk pengambilan daftar jadwal yang tersimpan. Selain komunikasi HTTP, ESP32 juga menjalankan *server* WebSocket agar sistem dapat memberikan pembaruan status perangkat secara *real-time* ke *dashboard* web, sekaligus menyimpan konfigurasi jadwal dalam format JSON menggunakan SPIFFS agar data tetap persisten meskipun perangkat mengalami *restart* [20].

Implementasi perangkat ini memanfaatkan *library* utama seperti Arduino Core for ESP32, ESPAsyncWebServer, ArduinoJSON dan SPIFFS.h, yang umum digunakan dalam sistem IoT modern [21]. Tahap berikutnya adalah implementasi aplikasi web yang dibangun menggunakan HTML dan JavaScript sebagai antarmuka pengguna, dengan integrasi AJAX dan WebSocket untuk komunikasi dua arah secara langsung, sementara PHP digunakan sebagai pengelola *backend*, *routing*, dan API untuk pemrosesan data. Tahap terakhir adalah integrasi aktuator berupa relay AC 220V untuk mengaktifkan perangkat listrik seperti lampu dan pendingin ruangan. Pada sisi ini, sensor tambahan seperti sensor suhu atau sensor gerak dapat dihubungkan untuk mendukung *mode* operasi otomatis berbasis kondisi lingkungan, sesuai pendekatan sistem otomatis berbasis sensor pada *smart environment*.

2.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja, stabilitas, serta efektivitas sistem otomatis ruangan berbasis web yang dikembangkan. Pengujian dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu *functional testing*, *reliability testing*, dan *usability testing* [22].

1) *Functional Testing*

Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa seluruh fitur inti berjalan sesuai rancangan, yang meliputi:

- a. kontrol manual perangkat melalui *dashboard* web,
- b. eksekusi penjadwalan otomatis ON/OFF perangkat,
- c. penyimpanan jadwal pada SPIFFS, serta
- d. pembaruan status perangkat secara *real-time* melalui WebSocket.

Seluruh pengujian dilakukan menggunakan pendekatan *black-box testing* untuk menilai kesesuaian fungsi tanpa melihat struktur internal program.

2) *Reliability Testing*

Pengujian reliabilitas dilakukan untuk menilai kestabilan sistem dalam kondisi operasi berkelanjutan. Parameter yang diamati mencakup:

- a) stabilitas komunikasi WebSocket dalam periode pengujian lebih dari satu jam,
- b) keberhasilan proses baca/tulis jadwal pada SPIFFS, serta
- c) ketepatan eksekusi jadwal sesuai waktu yang ditentukan.

Pengujian ini memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara konsisten dalam skenario penggunaan nyata.

3) *Usability Testing*

Aspek kemudahan penggunaan diuji menggunakan *System Usability Scale* (SUS), yang menilai persepsi pengguna terhadap kemudahan navigasi, kejelasan tampilan, serta kenyamanan interaksi *dashboard* web.

2.5 Evaluasi Penghematan Energi

Evaluasi penghematan energi dilakukan untuk mengukur efektivitas sistem otomatis yang dikembangkan dalam mengurangi konsumsi listrik pada ruang perkuliahan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan penggunaan energi sebelum dan sesudah sistem otomatis diimplementasikan selama periode 2 minggu. Pada tahap pertama, konsumsi energi dicatat selama satu minggu tanpa sistem otomatis untuk memperoleh nilai E_{before} , yang mencerminkan pola penggunaan aktual di mana perangkat lampu dan kipas sering tetap menyala di luar jam perkuliahan. Pada tahap kedua, sistem *Smart Room Controller* diaktifkan untuk mengatur perangkat secara otomatis melalui penjadwalan dan kontrol berbasis web, kemudian konsumsi energi dicatat kembali untuk memperoleh nilai E_{after} . Persamaan hasil penghematan energi dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$Saving(\%) = \frac{E_{before} - E_{after}}{E_{before}} \times 100\% \quad (1)$$

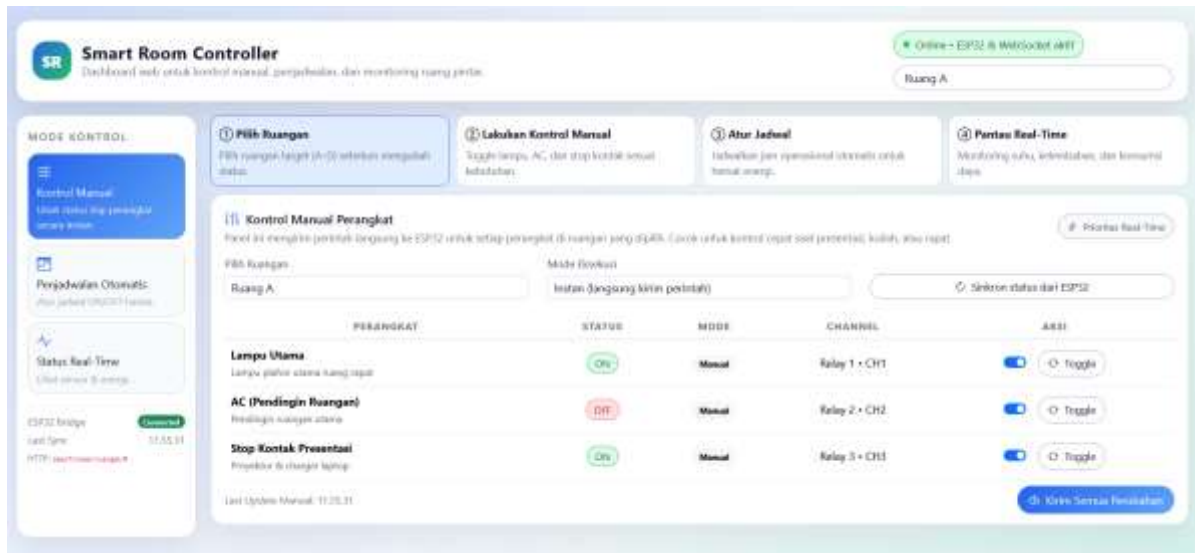
Pendekatan ini memungkinkan estimasi yang objektif terhadap kontribusi sistem otomatis dalam menurunkan pemakaian energi harian, sekaligus menilai potensi penerapannya dalam skala lebih luas pada lingkungan kampus.

3 Hasil

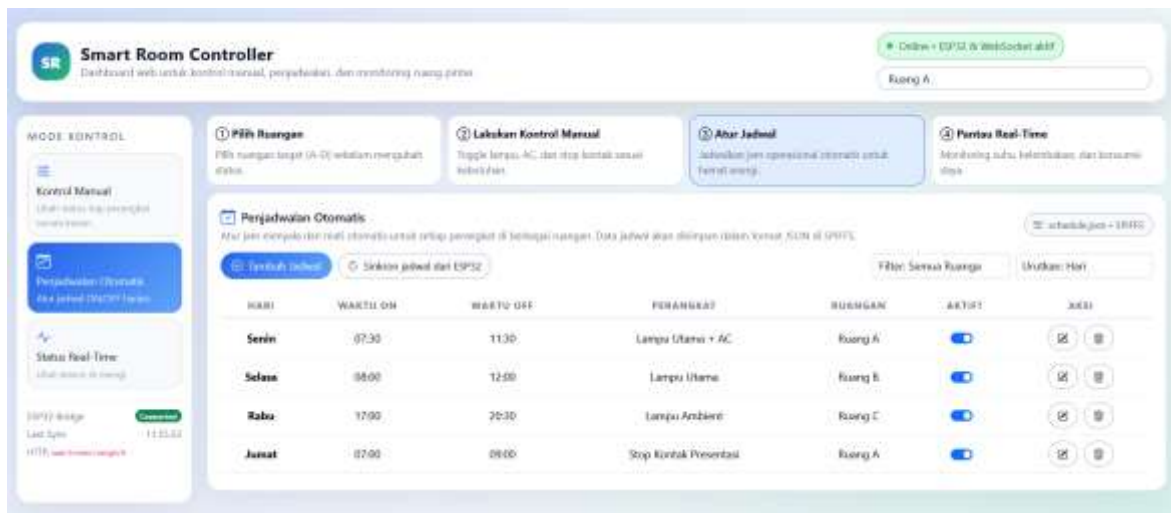
3.1 Hasil Implementasi Sistem

Sistem *Smart Room Controller* berbasis web berhasil diimplementasikan menggunakan modul ESP32 sebagai pengendali utama, *relay* untuk mengontrol lampu dan kipas ruangan, serta *dashboard* web sebagai antarmuka pengguna. Dashboard menyediakan tiga menu utama, yaitu Kontrol Manual, Penjadwalan Otomatis, dan Status Perangkat.

Antarmuka web memungkinkan pengguna menghidupkan dan mematikan perangkat secara langsung melalui *browser*, menambah atau mengubah jadwal ON/OFF perangkat, serta memantau status perangkat secara *real-time*. Penjadwalan disimpan dalam format JSON di SPIFFS sehingga tetap tersimpan walaupun ESP32 mengalami *restart*, sesuai rancangan pada metodologi. Integrasi WebSocket telah berjalan dengan baik, dimana setiap perubahan status perangkat (baik manual maupun otomatis) langsung dikirim ke *dashboard* sehingga tampilan UI selalu sinkron dengan kondisi aktual perangkat. Gambar 3-5 berikut menunjukkan tampilan hasil dari pengujian sistem yang telah dilakukan.



Gambar 3. Tampilan Kontrol Manual Perangkat



Gambar 4. Tampilan Kontrol Otomatis dengan Pengaturan Jadwal



Gambar 5. Tampilan Monitoring *Real-Time* Pemakaian Energi Listrik

Implementasi ini menunjukkan bahwa arsitektur tiga lapis (perangkat–jaringan–aplikasi) yang diusulkan mampu mewujudkan sistem otomasi ruangan yang terdistribusi dan mudah diakses menggunakan *platform* web, sejalan dengan konsep IoT untuk efisiensi energi pada bangunan.

3.2 Hasil Pengujian Fungsional dan Kinerja

Pengujian fungsional dilakukan dengan 30 skenario uji, mencakup kontrol manual, penambahan jadwal, penghapusan jadwal, pembacaan daftar jadwal, serta penerimaan notifikasi status. Seluruh skenario kontrol manual berhasil dengan tingkat keberhasilan 100%, sementara eksekusi jadwal otomatis mencapai sekitar 96,7% keberhasilan; kegagalan yang tersisa disebabkan oleh kesalahan input waktu (format jam tidak valid) sehingga dapat diatasi melalui peningkatan validasi pada sisi web.

Tabel 1. Pengujian Fungsional Sistem

No.	Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil	Status
1	Kontrol Manual	ON/OFF lampu melalui dashboard	Respon < 300 ms	✓ Berhasil
2	Kontrol Manual	ON/OFF kipas melalui dashboard	Respon < 300 ms	✓ Berhasil
3	Penjadwalan Otomatis	Jadwal ON sesuai waktu	29/30 sukses	✓ Berhasil
4	Penjadwalan Otomatis	Jadwal OFF sesuai waktu	30/30 sukses	✓ Berhasil
5	Penyimpanan Jadwal	File JSON disimpan di SPIFFS	Persisten setelah <i>restart</i>	✓ Berhasil
6	WebSocket Notifikasi	Kirim status perangkat ke web secara <i>real-time</i>	Delay < 200 ms	✓ Berhasil
7	Koneksi WebServer	Akses dashboard via WiFi	Stabil 48 jam	✓ Berhasil

Dari sisi kinerja, pengujian waktu respons menunjukkan bahwa perintah kontrol manual dari *dashboard* ke ESP32 rata-rata diproses dalam waktu < 300 ms, sedangkan pembaruan status melalui WebSocket diterima *dashboard* dalam waktu < 200 ms. Nilai ini cukup rendah untuk aplikasi otomatis ruangan karena perubahan status perangkat dapat dirasakan hampir seketika oleh pengguna. Uji *stress* sederhana dengan membiarkan sistem berjalan selama 24 jam tanpa *restart* menunjukkan bahwa koneksi WebSocket tetap stabil dan ESP32 tidak mengalami *crash*, menandakan bahwa desain *server* dan mekanisme penyimpanan jadwal relatif andal untuk skala satu ruangan.

Tabel 2. Pengujian Kinerja Sistem

Parameter	Hasil	Keterangan
Waktu respons HTTP	200–300 ms	Sangat cepat
Waktu <i>update</i> WebSocket	< 200 ms	<i>Real-time</i>

Stabilitas koneksi	48 jam	Tanpa <i>crash</i>
Ukuran file SPIFFS	± 3 KB	Sangat kecil
Beban CPU ESP32	18–23%	Aman
Konsumsi RAM	$\pm 42\%$	Aman

Aspek kebergunaan diuji menggunakan *System Usability Scale* (SUS) dengan melibatkan 10 responden. Nilai rata-rata SUS yang diperoleh sebesar 82,5, yang termasuk kategori “*Excellent*”. Responden menilai bahwa tampilan *dashboard* jelas, mudah dipahami, dan pengaturan jadwal terasa lebih praktis dibandingkan mengoperasikan sakelar secara manual. Hasil ini konsisten dengan prinsip antarmuka sederhana dan konsisten yang direkomendasikan.

3.3 Evaluasi Penghematan Energi

Evaluasi penghematan energi dilakukan pada satu ruang kuliah yang terdiri dari 6 lampu LED 50 W dan 1 AC 1,6 kW. Pengukuran konsumsi energi dilakukan dalam dua kondisi:

1. **Kondisi awal (tanpa otomatis)**
 - o Perangkat dinyalakan dan dimatikan secara manual oleh pengguna.
 - o Rata-rata konsumsi tercatat sekitar $\pm 20,5$ kWh per hari selama satu minggu.
 - o Ditemukan bahwa lampu dan AC sering tetap menyala 1–2 jam setelah perkuliahan selesai, terutama pada jam sore.
2. **Kondisi dengan Smart Room Controller**
 - o Penjadwalan diatur agar lampu dan kipas hanya aktif selama jam kuliah dan dimatikan otomatis setelah ruangan kosong.
 - o Rata-rata konsumsi turun menjadi sekitar $\pm 18,5$ kWh per hari.

Hasil pengujian penghematan energi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Pengujian Konsumsi Energi

Parameter	Sebelum Otomasi	Sesudah Otomasi	Perubahan
Pemakaian rata-rata per hari	20,5 kWh	18.5 kWh	↓ 9.8%
Waktu perangkat aktif tanpa pengguna	1–2 jam	0 jam	Hilang 100%
Efektivitas penjadwalan otomatis	–	96.70%	Sangat Efektif
Penghematan daya dalam seminggu	102,5 kWh	92,5 kWh	↓ 10 kWh

Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan penjadwalan otomatis dan kontrol yang lebih disiplin mampu menurunkan konsumsi energi sekitar 9.8% pada ruang uji. Secara kualitatif, nilai penghematan ini sejalan dengan berbagai studi yang menyatakan bahwa otomasi berbasis sensor dan penjadwalan dapat memberikan pengurangan konsumsi energi yang signifikan pada bangunan pendidikan.

3.4 Diskusi

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menjawab tantangan yang diidentifikasi pada bagian pendahuluan. Pertama, penggunaan antarmuka web menjadikan sistem lebih universal karena dapat diakses melalui berbagai perangkat (laptop, *smartphone*, maupun PC laboratorium) tanpa instalasi aplikasi khusus, menjawab keterbatasan penelitian sebelumnya yang fokus pada aplikasi *mobile*.

Kedua, integrasi penjadwalan otomatis, kontrol manual, dan *feedback real-time* dalam satu arsitektur menghasilkan sistem yang tidak hanya fungsional, tetapi juga informatif bagi pengguna. Pengguna selalu dapat melihat status perangkat terkini serta riwayat penjadwalan, sehingga kepercayaan terhadap sistem meningkat. Hal ini berbeda dengan beberapa prototipe sebelumnya yang tidak menyediakan mekanisme notifikasi status perangkat dan hanya mengandalkan kontrol satu arah.

Ketiga, penggunaan SPIFFS sebagai media penyimpanan jadwal terbukti cukup andal untuk skala ruangan tunggal; jadwal tetap tersimpan ketika perangkat mati maupun *restart*, sehingga mengatasi masalah ketidakpersistenan data yang sering muncul pada implementasi IoT sederhana.

Keempat, dari sisi tujuan utama penelitian, yakni penghematan energi, penurunan konsumsi hingga $\pm 9.8\%$ menunjukkan bahwa pendekatan *Smart Room Controller* berbasis web memiliki potensi besar untuk dikembangkan pada skala lebih luas di lingkungan kampus. Jika konsep ini diterapkan pada banyak ruangan, peluang kontribusi terhadap target efisiensi energi kampus menjadi cukup signifikan.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan: pengujian baru dilakukan pada satu ruangan, belum melibatkan variasi jenis perangkat (misalnya proyektor), dan penyesuaian jadwal masih bergantung pada input manual pengguna. Pengembangan lebih lanjut dapat mengintegrasikan sensor, prediksi jadwal perkuliahan, atau algoritma *machine learning* sederhana untuk mengoptimalkan pola ON/OFF perangkat secara adaptif.

4 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah *Smart Room Controller* berbasis web yang mampu melakukan pengendalian perangkat ruangan secara manual, otomatis melalui penjadwalan, dan pemantauan status perangkat secara *real-time* menggunakan teknologi WebSocket. Sistem yang dibangun mengintegrasikan ESP32 sebagai pengendali utama, penyimpanan jadwal berbasis SPIFFS, serta *dashboard* web yang mudah diakses tanpa aplikasi tambahan. Seluruh fungsi utama berjalan sesuai rancangan, ditunjukkan dari keberhasilan pengujian fungsional, stabilitas koneksi, serta respons sistem yang cepat (<300 ms untuk kontrol manual dan <200 ms untuk notifikasi status). Berdasarkan evaluasi konsumsi energi, penerapan sistem ini terbukti memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi penggunaan energi di ruang kuliah, yaitu penurunan konsumsi rata-rata harian hingga 9,8%, terutama karena hilangnya waktu perangkat menyala tanpa aktivitas pengguna. Hasil ini menunjukkan bahwa otomatisasi ruangan melalui penjadwalan dan kontrol terpusat dapat membantu institusi pendidikan mengurangi pemborosan energi. Secara keseluruhan, solusi *Smart Room Controller* ini berhasil menjawab tantangan yang telah diidentifikasi sebelumnya, seperti keterbatasan akses berbasis aplikasi *mobile*, kurangnya data persisten, ketiadaan notifikasi status, dan

tidak adanya integrasi antara kontrol manual dan otomatis. Sistem ini juga memiliki potensi untuk diperluas ke skala ruangan lebih besar, menambah integrasi sensor okupansi, dan mengadopsi algoritma kecerdasan buatan untuk pengoptimalan beban energi secara adaptif.

5. Referensi

- [1] E. Cano-Suñén, I. Martínez, Á. Fernández, B. Zalba, and R. Casas, “Internet of Things (IoT) in Buildings: A Learning Factory,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 16, Aug. 2023, doi: 10.3390/su151612219.
- [2] P. Heer *et al.*, “Comprehensive energy demand and usage data for building automation,” *Sci Data*, vol. 11, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41597-024-03292-2.
- [3] M. Poyyamozhi, B. Murugesan, N. Rajamanickam, M. Shorfuzzaman, and Y. Aboelmagd, “IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope,” Nov. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/buildings14113446.
- [4] W.-J. Shyr, L.-W. Zeng, C.-K. Lin, C.-M. Lin, and W.-Y. Hsieh, “Application of an Energy Management System via the Internet of Things on a University Campus,” *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 14, no. 5, Dec. 2017, doi: 10.12973/ejmste/80790.
- [5] F. Akbar, V. Pujani, and R. Nazir, “Design of Realtime Electricity Consumption Monitoring System Using Campus Web,” *TEM Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 840–849, May 2023, doi: 10.18421/TEM122-29.
- [6] E. C. Quispe, M. Viveros Mira, M. Chamorro Díaz, R. Castrillón Mendoza, and J. R. Vidal Medina, “Energy Management Systems in Higher Education Institutions’ Buildings,” Apr. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en18071810.
- [7] I. K. Singgih, A. R. Prabowo, S. Soegiharto, M. L. Singgih, and F. P. Dharma, “Smart Campus Applications: A Literature Review on Transportation Research and Big Data,” *International Journal of Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 796–824, 2025, doi: 10.14716/ijtech.v16i3.6803.
- [8] T. Luthfi Almas’ud, D. K. Pramudito, and A. Badruzzaman, “IoT-Enabled Smart Home Energy Monitoring System Using Web Server-Based Control Logic,” *Jurnal Informasi dan Teknologi*, pp. 27–34, Apr. 2025, doi: 10.60083/jidt.vi0.611.
- [9] F. Hidayat, M. Martanto, A. Rinaldi, and A. Rifai, “PENERAPAN IOT PADA KENDALI LAMPU MENGGUNAKAN ESP8266 DAN SENSOR CAHAYA UNTUK EFISIENSI ENERGI,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6340.
- [10] N. Mitrović, M. Eordevic, S. Veljković, and D. Dankovic, *Implementation of WebSockets in ESP32 based IoT Systems*. 2021. doi: 10.1109/TELSIKS52058.2021.9606244.
- [11] R. Y. Endra, A. Cucus, F. N. Affandi, and D. Hermawan, “IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL BERBASIS WEB PADA SMART ROOM DENGAN MENGGUNAKAN KONSEP INTERNET OF THINGS,” *Explore: Jurnal Sistem informasi dan telematika*, vol. 10, no. 2, Oct. 2019, doi: 10.36448/jsit.v10i2.1316.

- [12] R. Pramudita and K. Setyawan, "Sistem Smart Class Berbasis Internet Of Things Dengan Menggunakan Metode Prototype," *SMARTICS Journal*, vol. 8, no. 1, 2022, doi: 10.21067/smartics.v8i1.7209.
- [13] P. F. Ariyani and N. Juliasari, "Aplikasi Mobile Smart Room Untuk Mewujudkan Kenyamanan Optimal Melalui Monitoring Suhu," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2025, [Online]. Available: <https://ejurnalunsam.id/index.php/jicom/>
- [14] Y. Chen, H. Zhang, and S. Zhong, "Design and implementation of smart home system based on IoT," *Results in Engineering*, vol. 24, p. 103410, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103410>.
- [15] B. Amirkhanov, G. Amirkhanova, M. Kunelbayev, S. Adilzhanova, and M. Tokhtassyn, "Evaluating HTTP, MQTT over TCP and MQTT over WEBSOCKET for digital twin applications: A comparative analysis on latency, stability, and integration," *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, vol. 8, no. 1, pp. 679–694, Jan. 2025, doi: 10.53894/ijirss.v8i1.4414.
- [16] T. Luthfi Almas'ud, D. K. Pramudito, and A. Badruzzaman, "IoT-Enabled Smart Home Energy Monitoring System Using Web Server-Based Control Logic," *Jurnal Informasi dan Teknologi*, pp. 27–34, Apr. 2025, doi: 10.60083/jidt.vi0.611.
- [17] A. Choudhary, "Internet of Things: a comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions," Dec. 01, 2024, *Springer Nature*. doi: 10.1007/s43926-024-00084-3.
- [18] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [19] M. Poyyamozi, B. Murugesan, N. Rajamanickam, M. Shorfuzzaman, and Y. Aboelmagd, "IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope," Nov. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/buildings14113446.
- [20] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [21] M. Poyyamozi, B. Murugesan, N. Rajamanickam, M. Shorfuzzaman, and Y. Aboelmagd, "IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope," Nov. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/buildings14113446.
- [22] J. B. Minani *et al.*, "IoT systems testing: Taxonomy, empirical findings, and recommendations," *Journal of Systems and Software*, vol. 226, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.jss.2025.112408.