



Rancang Bangun Sistem IoT MCB Kantor dengan *Auto Cut-off* untuk Efisiensi Energi

Agus Windarto¹, Unang Achlison², Imam Saufik Suasana³

¹⁻³Program Studi Sistem Komputer, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Semarang, Indonesia

Email: agus.windarto89@gmail.com¹, unang@stekom.ac.id², saufik@stekom.ac.id³

Article Info

Article history:

Received July 9, 2026

Revised July 11, 2026

Accepted July 13, 2026

Available July 14, 2026

Published July 30, 2026

Keywords:

Auto Cut-off;

Efisiensi Energi;

ESP32;

Internet of Things;

MCB

ABSTRACT

The use of electrical energy in office environments that has not been optimally managed often results in waste, especially for lights and air conditioners that remain active outside of operating hours. This study aims to design and build an Internet of Things-based system using ESP32 to control office electricity with a time-based auto cut-off mechanism through a path after the Miniature Circuit Breaker. The system controls the load of lights and air conditioners concisely using relays as actuators, equipped with time synchronization via Network Time Protocol, Real Time Clock DS3231 as a backup time source when offline, DHT11 sensors, OLED displays, input buttons, and a Laravel-based web dashboard for two-way monitoring and control. The research method uses a design approach with stages of requirements analysis, hardware and software design, implementation, integration, and testing using black box testing, integration testing, and durability testing. The test results show that the system is able to activate and deactivate relays according to the operational schedule, distinguish workdays and national holidays, continue to run in conditions without internet, and provide an override mode for manual control. The developed system can support the efficiency of electrical energy use and the implementation of the Internet of Things-based smart office concept.

Corresponding Author:

Agus Windarto,

Universitas Sains dan Teknologi Komputer

Jl. Majapahit No. 605 Semarang

Email: agus.windarto89@gmail.com



1. INTRODUCTION

Penggunaan energi listrik di lingkungan perkantoran masih sering belum dikelola secara optimal, terutama pada sistem penerangan dan pendingin ruangan. Di Kantor Kelurahan Bangunharjo, pengendalian lampu dan AC masih mengandalkan petugas secara manual sehingga terdapat risiko keterlambatan pemadaman peralatan setelah jam operasional. Kondisi ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa kontrol manual rentan terhadap kelalaian manusia dan dapat menimbulkan pemborosan energi (Putra & Setiyadi, 2021; Suryani et al., 2019).

Internet of Things (IoT) menawarkan kemampuan pemantauan, pengendalian jarak jauh, dan otomatisasi perangkat listrik melalui mikrokontroler yang terhubung jaringan. Perangkat seperti ESP32 memiliki Wi-Fi terintegrasi dan memadai untuk aplikasi pengendalian energi berbiaya rendah. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem pencahayaan dan pemantauan energi berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi dibandingkan sistem konvensional (Zhang et al., 2017; Gubbi et al., 2013; El-Khozondar et al., 2024; Al-Fuqaha et al., 2015; Zanella et al., 2014; Aussat et al., 2022; Gheorghe et al., 2021).

Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengendalian perangkat secara individual, misalnya per lampu atau per perangkat. Pendekatan tersebut belum sepenuhnya menyelesaikan kebutuhan pengendalian listrik secara terpusat pada lingkungan kantor. Pada instalasi listrik, pengendalian terpusat dapat dilakukan melalui jalur utama setelah MCB sehingga pemutusan beberapa beban dapat dilakukan sekaligus tanpa mengubah fungsi MCB sebagai perangkat proteksi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem IoT MCB kantor dengan mekanisme auto cut-off berbasis waktu. Sistem dirancang untuk mengendalikan lampu dan AC secara terpusat melalui relay pada jalur setelah MCB, dilengkapi kalender kerja, sinkronisasi waktu NTP, RTC sebagai sumber waktu cadangan saat offline, pemantauan suhu dan kelembapan, serta dashboard web untuk pemantauan dan pengendalian. Kontribusi penelitian ini adalah penerapan hard control terpusat setelah MCB untuk mendukung efisiensi energi dan konsep smart office.

2. METHOD

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dengan pendekatan eksperimental. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi, integrasi, pengujian, dan evaluasi. Fokus penelitian adalah menghasilkan artefak teknologi berupa sistem kendali listrik kantor berbasis ESP32 yang mampu menjalankan auto cut-off sesuai jadwal operasional.

2.2. Kebutuhan dan Arsitektur Sistem

Analisis kebutuhan dilakukan melalui observasi pola penggunaan listrik dan jam operasional kantor. Sistem dirancang agar memenuhi kebutuhan otomatisasi berbasis waktu, fleksibilitas hari kerja dan hari libur, ketahanan saat internet terputus, kendali manual melalui override mode, pemantauan kondisi lingkungan, serta kontrol terpusat pada jalur setelah MCB.

Komponen perangkat keras yang digunakan terdiri atas ESP32 Devkit V1 sebagai pusat kontrol, relay dua kanal sebagai aktuator pemutus dan penyambung beban, RTC DS3231 sebagai sumber waktu lokal, sensor DHT11 untuk suhu dan kelembapan, OLED 0,96 inch sebagai tampilan lokal, tombol input, adaptor 5V, expansion board, serta MCB sebagai proteksi utama instalasi listrik.

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan framework Arduino pada ESP32 dan dashboard web berbasis Laravel. Firmware ESP32 memiliki fitur mode access point untuk konfigurasi Wi-Fi dan server API, sinkronisasi NTP ke RTC, logika auto cut-off, memory-first calendar untuk data hari libur, override mode, pengiriman data sensor, polling status relay, dan sinkronisasi dua arah antara server web dan perangkat.

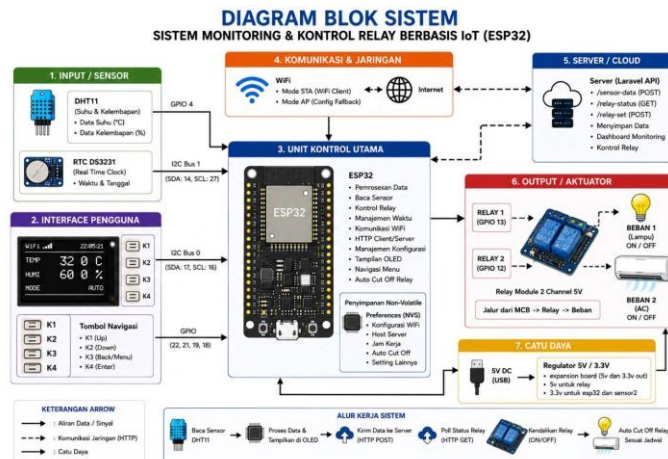


Figure 1. Diagram blok sistem IoT MCB kantor.

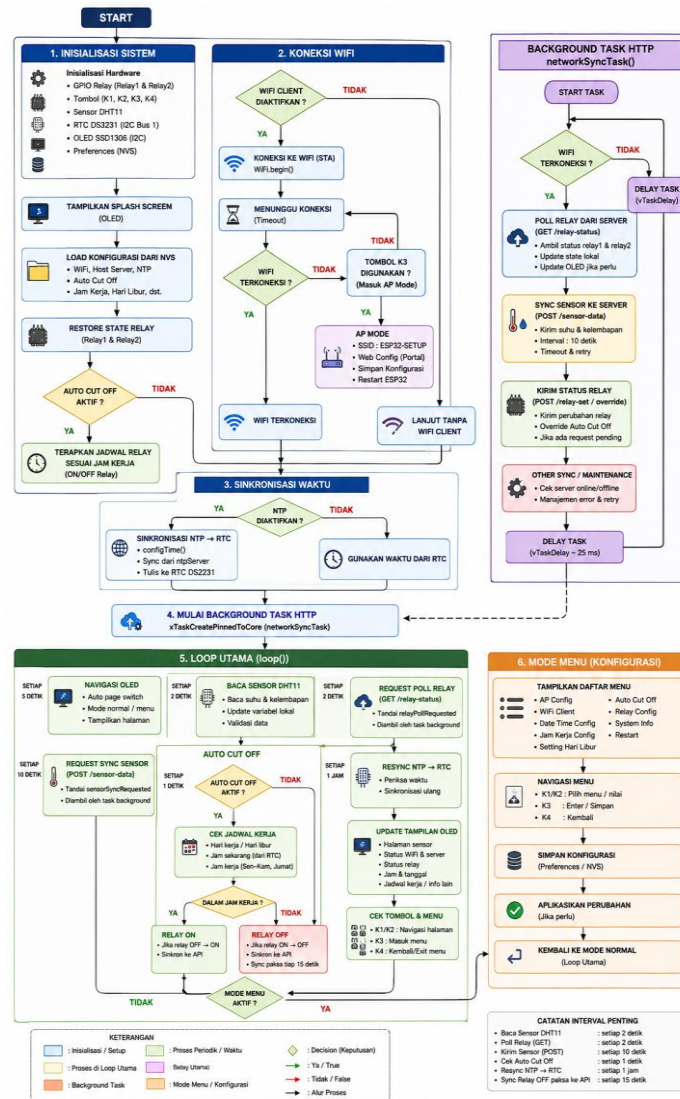


Figure 2. Flowchart utama sistem auto cut-off.

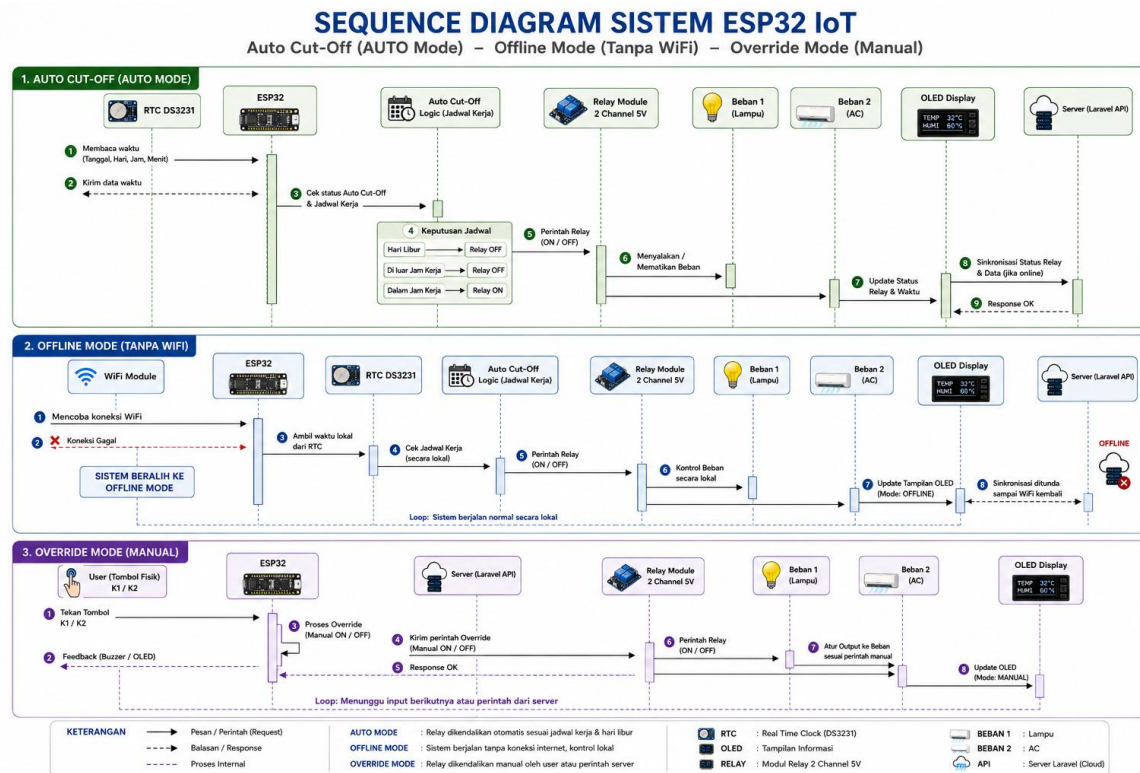


Figure 3. Sequence diagram komunikasi sistem.

2.3. Logika Auto Cut-off

Logika auto cut-off membandingkan waktu saat ini dengan jadwal operasional kantor. Jika sistem berada pada hari kerja dan jam operasional, relay berada pada kondisi aktif. Jika berada di luar jam kerja, hari libur, atau hari libur nasional, relay dinonaktifkan sehingga aliran listrik ke beban diputus. Saat koneksi internet tersedia, waktu diperbarui melalui NTP. Jika internet tidak tersedia, sistem menggunakan RTC DS3231 sebagai sumber waktu cadangan agar jadwal tetap berjalan.

2.4. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan black box testing untuk menguji fungsi sistem, integration testing untuk memastikan komunikasi antar modul berjalan, serta endurance testing untuk melihat stabilitas sistem saat dijalankan terus-menerus. Parameter keberhasilan meliputi kemampuan sistem melakukan pemutusan otomatis sesuai jadwal, membedakan hari kerja dan hari libur nasional, tetap berfungsi dalam kondisi offline, mendukung override mode, dan mengendalikan beban secara terpusat melalui jalur setelah MCB.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Implementasi Sistem

Sistem berhasil diimplementasikan sebagai prototipe kontrol listrik berbasis IoT. Jalur listrik dari PLN masuk ke MCB utama, kemudian jalur setelah MCB diarahkan ke relay sebagai kontrol utama terhadap beban lampu dan AC. ESP32 mengendalikan relay berdasarkan jadwal sistem, sedangkan OLED menampilkan informasi lokal seperti jam sistem, status koneksi Wi-Fi, suhu, kelembapan, dan mode sistem.

Dashboard pemantauan berbasis Laravel digunakan untuk memantau status relay, suhu, kelembapan, mode sistem, serta melakukan pengendalian manual. Sistem juga mendukung sinkronisasi data sensor dan relay melalui API sehingga perubahan dari perangkat maupun dashboard dapat saling diperbarui.

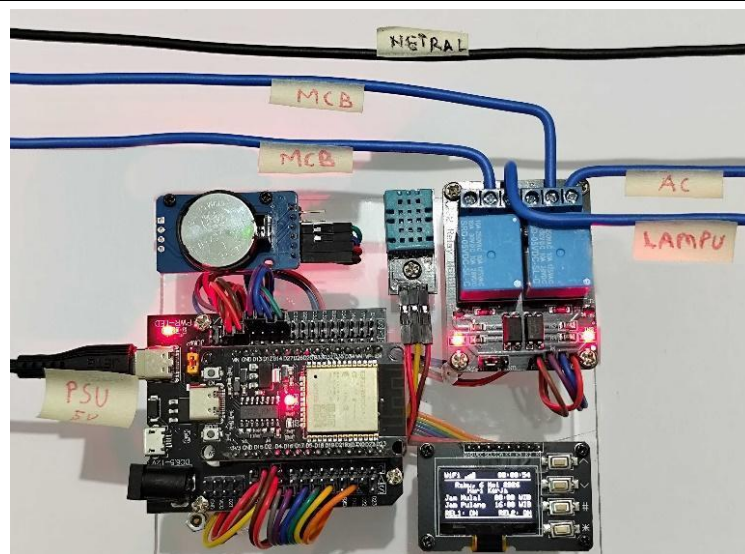


Figure 4. Implementasi sistem kontrol listrik berbasis IoT.

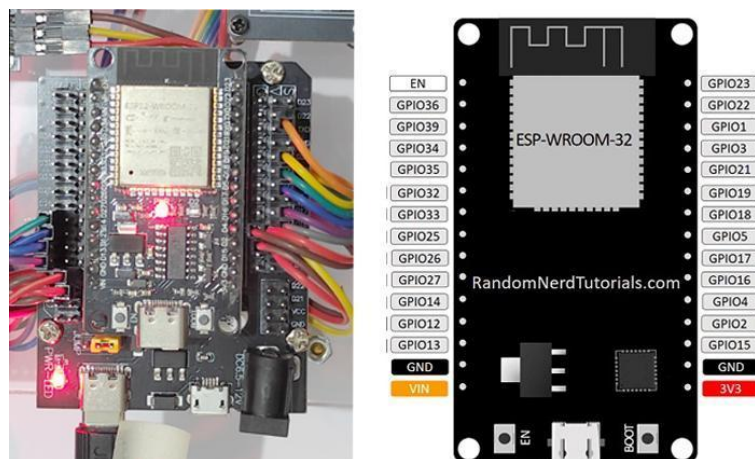


Figure 5. ESP32 sebagai pusat kontrol sistem.

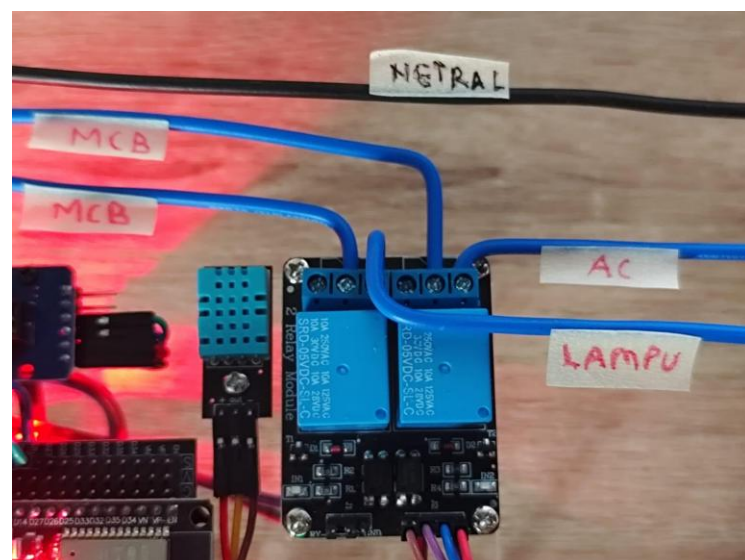


Figure 6. Jalur MCB ke relay setelah MCB.

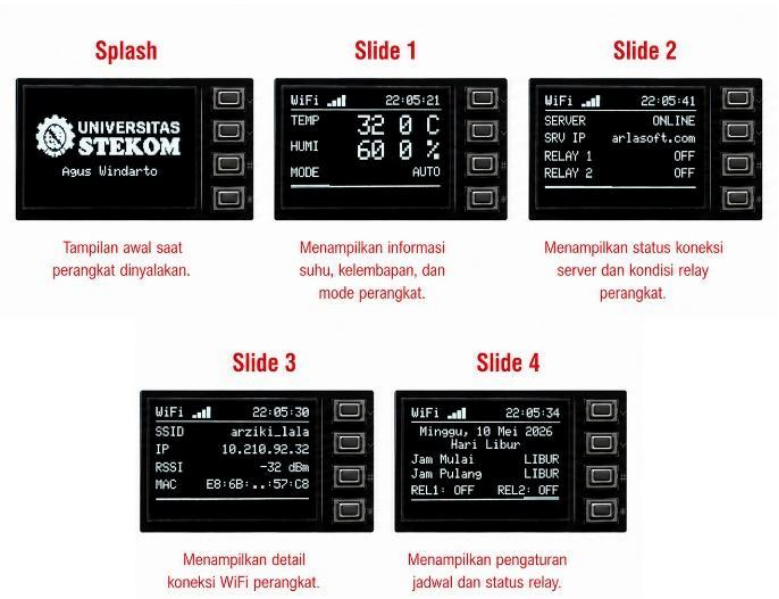


Figure 7. Tampilan OLED sistem.

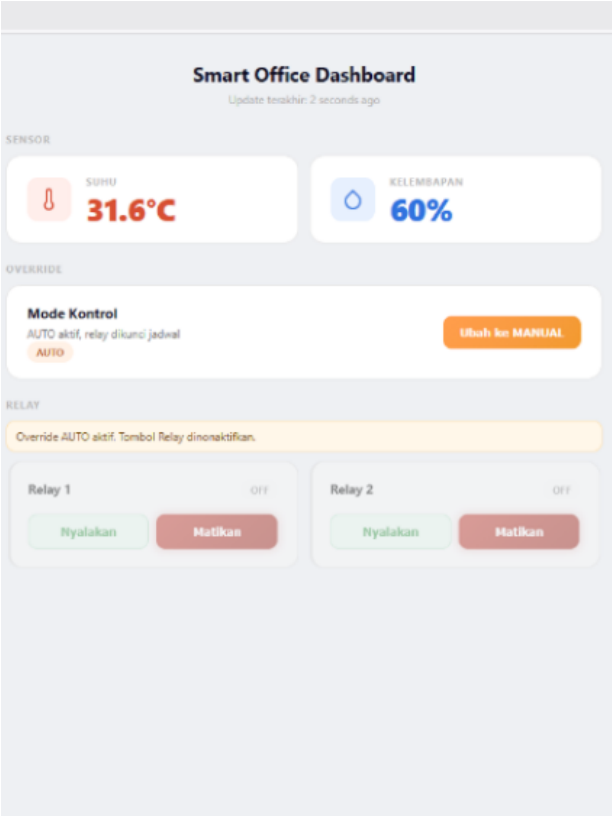


Figure 8. Dashboard monitoring sistem.

3.2. Hasil Pengujian Auto Cut-off

Pengujian auto cut-off menunjukkan bahwa relay dapat aktif saat berada dalam jam kerja dan nonaktif secara otomatis ketika berada di luar jam operasional. Pada kondisi waktu tidak valid, sistem menerapkan fail-safe dengan mematikan relay untuk menghindari beban menyala tanpa kendali jadwal yang benar.

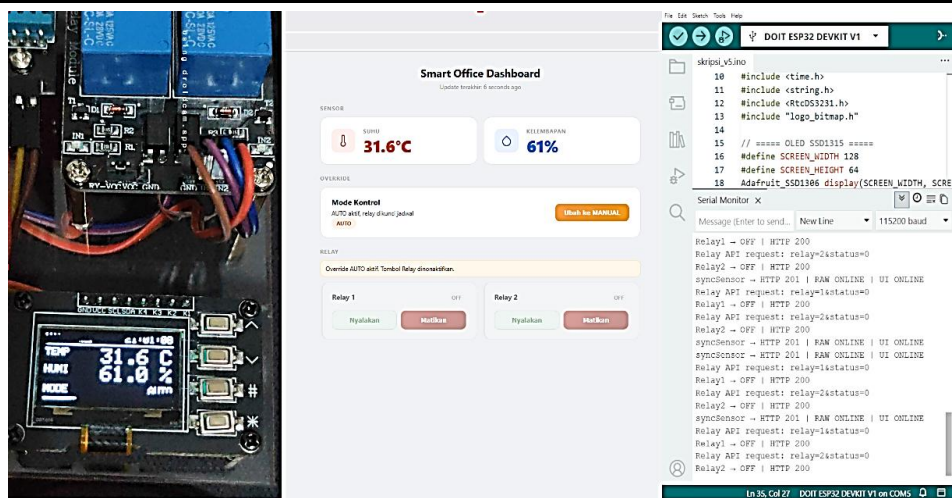


Figure 9. Proses sinkronisasi data ESP32 dan server.

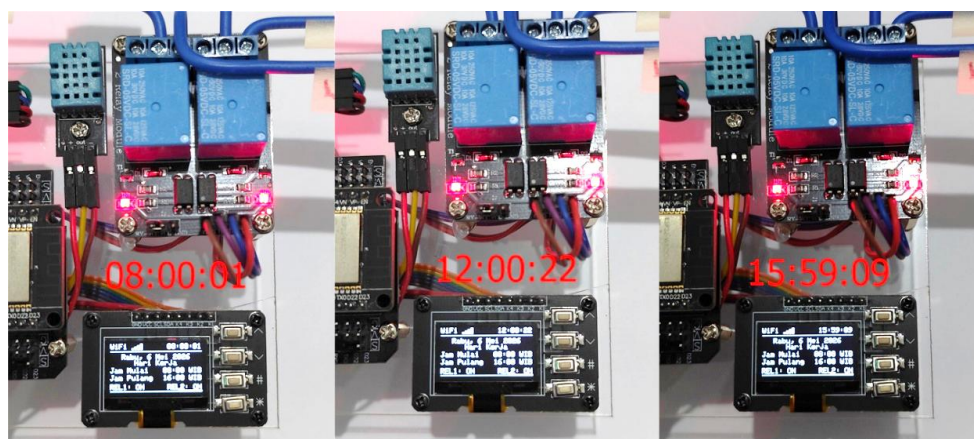


Figure 10. Pengujian relay saat jam kerja.



Figure 11. Pengujian relay saat luar jam kerja.

Table 1. Hasil pengujian auto cut-off.

Waktu Pengujian	Status Relay	Keterangan
07:59:38	OFF	Luar jam kerja
08:00:01	ON	Jam kerja
12:00:22	ON	Jam istirahat, relay tetap aktif
15:59:09	ON	Jam kerja
16:00:07	OFF	Luar jam kerja
20:00:07	OFF	Luar jam kerja

3.3. Pengujian Kalender Kerja dan Offline Mode

Sistem mampu membedakan hari kerja, hari libur, dan hari libur nasional melalui mekanisme kalender kerja. Data kalender disimpan pada memori lokal perangkat sehingga sistem tetap dapat mengambil keputusan ketika jaringan tidak tersedia. Pada pengujian offline, ESP32 tetap menjalankan jadwal berdasarkan waktu dari RTC DS3231.

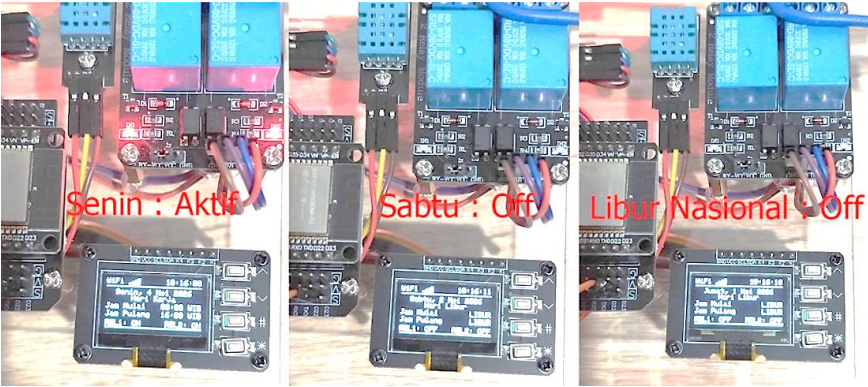


Figure 12. Pengujian hari kerja pada sistem.

Table 2. Hasil pengujian kalender kerja.

Jenis Hari	Status Relay	Hasil
Senin (hari kerja)	Aktif	Berhasil, relay menyala sesuai jadwal
Minggu (hari libur)	Mati	Berhasil, relay tidak menyala
Hari libur nasional	Mati	Berhasil, relay tidak menyala

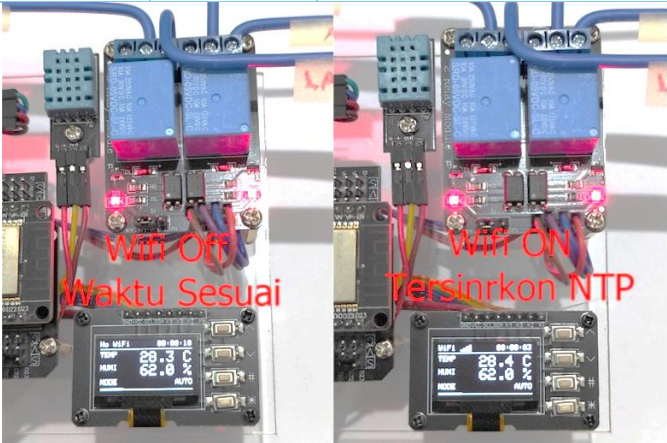


Figure 13. Pengujian sistem saat offline.

Table 3. Hasil pengujian offline mode.

Kondisi	Hasil Pengujian	Status
---------	-----------------	--------

Wi-Fi aktif	Sinkronisasi NTP berhasil, waktu akurat dari server internet	Berhasil
Wi-Fi mati	RTC DS3231 mengambil alih sebagai sumber waktu dan sistem tetap berjalan	Berhasil

3.4. Pengujian Override dan Sinkronisasi Server Web

Override mode memberikan fleksibilitas kepada pengguna untuk mengendalikan relay secara manual ketika terdapat kegiatan di luar jadwal operasional. Pengujian sinkronisasi menunjukkan bahwa status mode dan relay dapat diperbarui melalui dashboard web dan diterapkan pada ESP32. Sebaliknya, perubahan status pada ESP32 juga dapat dikirimkan ke server melalui API.



Figure 14. Pengujian override melalui dashboard.

Table 4. Hasil pengujian override mode.

Parameter	Kondisi	Hasil
Override aktif	Manual ON di luar jadwal	Relay menyala
Override aktif	Manual OFF dalam jadwal	Relay mati
Kembali ke otomatis	Override dinonaktifkan	Sistem mengikuti jadwal
Responsivitas	Perintah override diberikan	Respons kurang dari 2 detik

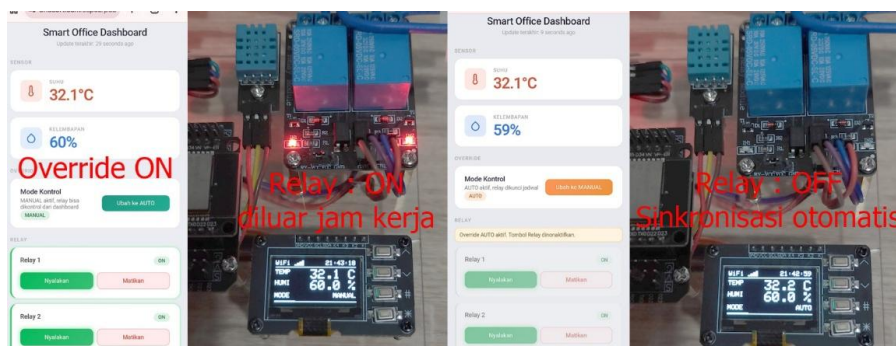


Figure 15. Pengujian sinkronisasi web server.

Table 5. Hasil pengujian sinkronisasi sistem.

Parameter	Kondisi	Hasil
-----------	---------	-------

Override aktif	Manual ON di luar jadwal	Relay menyala
Override aktif	Manual OFF dalam jadwal	Relay mati
Kembali ke otomatis	Override dinonaktifkan	Sistem mengikuti jadwal
Responsivitas	Perintah override diberikan	Respons kurang dari 2 detik



Figure 16. Pengujian endurance sistem.

Table 6. Hasil pengujian endurance system.

Durasi Pengujian	Status Sistem	Error yang Terdeteksi	Keterangan
1 jam	Stabil	Tidak ada	Sistem berjalan normal
6 jam	Stabil	Tidak ada	Sistem berjalan normal
12 jam	Stabil	Tidak ada	Sistem berjalan normal
24 jam	Stabil	Tidak ada	Sistem berjalan normal

3.5. Pembahasan

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa mekanisme auto cut-off mampu mengendalikan relay sesuai batas waktu operasional kantor. Relay berada pada kondisi OFF sebelum jam kerja dimulai, berubah menjadi ON pada pukul 08:00, tetap aktif selama rentang jam kerja termasuk saat jam istirahat, kemudian kembali OFF setelah pukul 16:00 dan tetap OFF pada malam hari. Pola ini menunjukkan bahwa sistem dapat menjalankan pemutusan dan penyambungan aliran listrik secara otomatis berdasarkan jadwal, sehingga tujuan penelitian untuk mengurangi ketergantungan pada kontrol manual dan mencegah perangkat listrik tetap menyala di luar jam operasional dapat tercapai.

Hasil pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa sistem mampu membedakan hari kerja, hari libur mingguan, dan hari libur nasional. Pada hari kerja, relay berada pada kondisi aktif sesuai jadwal operasional, sedangkan pada hari Minggu dan hari libur nasional relay tidak menyala. Temuan ini penting karena efisiensi energi tidak hanya ditentukan oleh jam operasional harian, tetapi juga oleh kemampuan sistem menyesuaikan kalender kerja. Dengan demikian, fitur kalender kerja mendukung penerapan auto cut-off secara lebih tepat dan mengurangi risiko pemborosan listrik pada periode kantor tidak beroperasi.

Berdasarkan kedua hasil tersebut, sistem IoT MCB kantor yang dikembangkan telah menunjukkan kesesuaian dengan tujuan jurnal, yaitu menyediakan pengendalian listrik terpusat setelah MCB untuk meningkatkan efisiensi energi. Tabel 1 menegaskan keberhasilan pengendalian berbasis waktu, sedangkan Tabel 2 menegaskan keberhasilan pengendalian berbasis kalender kerja. Kombinasi kedua fungsi tersebut membuat sistem lebih relevan untuk lingkungan perkantoran karena mampu menjaga beban lampu dan AC tetap aktif saat dibutuhkan dan nonaktif saat tidak digunakan.

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem IoT berbasis ESP32 mampu memberikan pengendalian listrik secara otomatis dan terpusat melalui jalur setelah MCB. Pendekatan ini berbeda dari pengendalian individual karena sistem dapat memastikan beberapa beban listrik benar-benar tidak aktif di luar jam operasional. Dukungan RTC, memory-first calendar, dan override mode membuat sistem lebih andal dan fleksibel untuk lingkungan kantor.

Dari sisi efisiensi energi, sistem membantu mengurangi pemborosan akibat kelalaian manusia dalam mematikan lampu dan AC. Dari sisi operasional, dashboard web memberikan kemudahan pemantauan dan kontrol jarak jauh. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjadi salah satu implementasi smart office berbasis IoT di lingkungan perkantoran dan selaras dengan konsep kontrol bangunan berbasis okupansi untuk penghematan energi (Esrafilian-Najafabadi & Haghighat, 2021; Dong et al., 2018; Nikdel et al., 2018; Mutmainnah & Trisiantoro, 2025).

4. CONCLUSION

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem IoT berbasis ESP32 untuk pengendalian listrik kantor menggunakan mekanisme auto cut-off melalui jalur setelah MCB. Sistem mampu mengendalikan beban lampu dan AC secara terpusat, menjalankan relay sesuai jadwal operasional, membedakan hari kerja dan hari libur nasional, tetap beroperasi saat offline menggunakan RTC DS3231, serta menyediakan override mode untuk kontrol manual. Sinkronisasi dua arah antara ESP32 dan server web berbasis Laravel juga berjalan baik sehingga pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan secara real-time. Sistem ini dinilai mampu mendukung efisiensi penggunaan energi listrik dan penerapan smart office berbasis IoT.

Pengembangan berikutnya dapat dilakukan dengan menambahkan sensor keberadaan manusia, soft shutdown AC menggunakan IR transmitter, sensor arus untuk pemantauan konsumsi daya secara real-time, aplikasi mobile, platform cloud IoT, serta komunikasi berbasis Zigbee atau mesh network untuk skala implementasi yang lebih besar. Arah ini sejalan dengan penelitian mengenai kontrol HVAC berbasis okupansi, smart lighting, dan pemantauan energi berbasis ESP32 (Aussat et al., 2022; Gheorghe et al., 2021; Esrafilian-Najafabadi & Haghighat, 2021; Dong et al., 2018; Nikdel et al., 2018; Mutmainnah & Trisiantoro, 2025).

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Kantor Kelurahan Bangunharjo dan Universitas Sains dan Teknologi Komputer yang telah memberikan dukungan, arahan, dan kesempatan dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENCES

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Aussat, Y., Rosmanis, A., & Keshav, S. (2022). A power-efficient self-calibrating smart lighting system. *Energy and Buildings*, 259, 111874. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111874>
- Dong, J., Winstead, C., Nutaro, J., & Kuruganti, T. (2018). Occupancy-based HVAC control with short-term occupancy prediction algorithms for energy-efficient buildings. *Energies*, 11(9), 2427. <https://doi.org/10.3390/en11092427>
- El-Khozondar, H. J., et al. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9, 100666. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>
- Esrafilian-Najafabadi, M., & Haghighat, F. (2021). Occupancy-based HVAC control systems in buildings: A state-of-the-art review. *Building and Environment*, 197, 107810. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107810>
- Gheorghe, A. C., Stan, E., & Udriou, I. (2021). Electricity consumption measurement system using ESP32. *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*, 21(2), 23-26. <https://doi.org/10.2478/sbeef-2021-0017>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Hermawan, R., Irjanto, N., & Kungkung, A. (2025). Development of a low-cost NTP stratum 2 time synchronization system with hybrid RTC/NTP failover. *Journal of Soft Computing Exploration*, 6(3). <https://doi.org/10.52465/josce.v6i3.570>
- Kumar, N. M., & Sivaneasan, B. (2016). IoT based smart grid energy management system. *IEEE Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICSGCE.2016.7876042>

- Mutmainnah, M., & Tristianoro, R. (2025). Microcontroller-based smart control system for automatic lighting and air conditioning control in campus facilities. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 22(2). <https://doi.org/10.31963/elekterika.v22i2.5879>
- Nikdel, L., Janoyan, K., Bird, S. D., & Powers, S. E. (2018). Multiple perspectives of the value of occupancy-based HVAC control systems. *Building and Environment*, 129, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.039>
- Novrianti, T., Anjani, S., & Andriani, R. (2026). Design and implementation of an IoT-based remote lighting control system for smart home applications. *Journal of Frontier Research in Science and Engineering*, 4(1).
- Perera, C., Liu, C. H., & Jayawardena, S. (2015). The emerging Internet of Things marketplace. *IEEE Communications Magazine*, 53(3), 40-47. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7010534>
- Putra, A. E., & Setiyadi, D. (2021). Prototype pengendalian lampu dan AC jarak jauh berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Komputer*, 5(2). <https://doi.org/10.31294/jtk.v5i2.10123>
- Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1), 30-39. <https://doi.org/10.1109/MC.2017.9>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637-646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- Suryani, E., et al. (2019). Smart home system berbasis IoT untuk efisiensi energi listrik. *Jurnal RESTI*, 3(2), 653-658. <https://doi.org/10.29207/resti.v3i2.1034>
- Syahputra, R. J., Sihombing, M., & Saripurna, D. (2023). Monitoring the temperature and humidity air in the room using a sensor IoT-based DHT-11. *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications*, 3(1), 363-367. <https://doi.org/10.59934/jaiea.v3i1.329>
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
- Zhang, Y., Chen, M., & Wang, L. (2017). Energy-efficient smart lighting control system based on IoT. *IEEE Access*, 5, 16566-16577. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2763156>

NOMENKLATUR

Istilah	Keterangan
IoT	Internet of Things
MCB	Miniature Circuit Breaker
NTP	Network Time Protocol
RTC	Real Time Clock
ESP32	Mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth