

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan pada sistem S-CLASS (*Smart Class*), dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Keberhasilan Purwarupa Terminal Otentikasi S-CLASS Controller: Tujuan pembangunan prototipe *S-CLASS Controller* sebagai terminal otentikasi fisik telah berhasil direalisasikan menggunakan ESP32 dan layar sentuh kapasitif 7 inci. Pengujian aktuator lokal (ESP32 dan relai) menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi dengan rata-rata waktu jeda mekanis (*delay*) hanya sebesar 90,4 ms. Selain itu, perangkat ini memiliki ketahanan sistem (*fail-safe*) yang baik berkat implementasi FreeRTOS dan algoritma *auto-reconnect* yang mencegah pembekuan (*freeze*) layar saat terjadi gangguan jaringan.
2. Kinerja Platform Pemesanan Web Akademik: Pengembangan platform pemesanan web terpadu (frontend Next.js dan backend Golang) berhasil dilakukan untuk mengelola jadwal perkuliahan statis maupun peminjaman insidental. Logika *Backend* menunjukkan performa komputasi yang sangat efisien, di mana kueri pangkalan data PostgreSQL untuk autentikasi dan penjadwalan dapat dieksekusi dengan rentang latensi sub-milidetik (0,44 ms hingga 0,72 ms). Arsitektur ini juga terbukti tangguh dalam menangani validasi ganda, memblokir bentrok jadwal (*double-booking*), dan menangani kedaluwarsa sesi (*JWT*) secara aman.

3. Keberhasilan Integrasi Kendali Otomatis Berbasis IoT: Tujuan integrasi sistem kendali otomatis melalui ekosistem *Home Assistant* via protokol MQTT telah berhasil dicapai secara *end-to-end*. Sistem terbukti mampu merespons validasi kode pemesanan untuk memicu perangkat kelas secara sinkron. Eksekusi pemutusan relai daya utama (*auto-cutoff*) merespons dalam waktu 2,8 detik, sementara aktuator optik (IR Blaster) terbukti 100% efektif mengontrol AC dan proyektor tanpa adanya *packet loss* pada jarak operasional 1 hingga 5 meter.
4. Optimalisasi Efisiensi Energi Kelistrikan: Tujuan optimalisasi efisiensi energi listrik telah berhasil tercapai. Analisis efektivitas sistem membuktikan bahwa S-CLASS secara empiris menekan pemborosan energi melalui tiga skenario utama:
 - A. Integrasi Penjadwalan: Pemutusan daya otomatis yang sinkron dengan jadwal akademik memberikan penghematan konsumsi daya harian sebesar 34,09%. Keberhasilan ini divalidasi mutlak secara statistik (*Paired Sample T-Test*) dengan *p-value* 0,0252.
 - B. Intervensi Target Suhu: Protokol paksa (*override*) yang mengunci AC pada standar 24°C *Auto* berhasil menekan pemborosan kompresor hingga 97,6% dibandingkan penyetalan 18°C *Turbo*.

C. Total Holiday Cutoff: Algoritma sistem berhasil mengeliminasi beban parasitik ruangan pada hari libur, menihilkan daya siaga kelistrikan menjadi 0,000 kWh/hari. *(Catatan Tambahan: Keberhasilan sistem ini juga didukung oleh tingkat usability yang sangat baik, dengan indeks kepuasan mahasiswa/dosen mencapai 94,00% dan staf administrator mencapai 88,80%).*

5.2 Saran

Meskipun sistem S-CLASS telah berfungsi dengan baik dan mencapai target efisiensi yang direncanakan, terdapat beberapa potensi pengembangan yang dapat dilakukan untuk menyempurnakan penelitian ini di masa mendatang:

1. Pengambilan Data Skala Besar dengan Variabel Tetap: Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengambilan data komparatif yang lebih masif. Pengujian dapat melibatkan lebih banyak ruang kelas atau durasi pengujian yang lebih panjang (misalnya dalam satu semester penuh) dengan menggunakan struktur jadwal perkuliahan yang sama persis (*apple-to-apple*). Hal ini bertujuan untuk menghasilkan presisi data statistik penghematan energi (kWh) yang lebih kuat dan merepresentasikan kondisi gedung secara makro.
2. Integrasi Sensor Kehadiran (PIR) untuk Efisiensi Maksimal: Sistem S-CLASS saat ini bergantung mutlak pada waktu kedaluwarsa jadwal di *database*. Untuk menutupi kelemahan pemborosan saat ruangan sudah dipesan namun kelas dibatalkan mendadak (misalnya dosen berhalangan hadir setelah *login*), pengembangan sistem sangat disarankan untuk menggunakan tambahan Sensor PIR (*Passive Infrared*). Dengan adanya sensor gerak ini, efisiensi energi dapat lebih tercapai secara maksimal, karena sistem dapat langsung mengeksekusi pemadaman daya apabila ruangan tidak mendeteksi adanya pergerakan manusia selama durasi tertentu (misalnya 15 menit), meskipun sisa waktu penjadwalan masih tersedia.

3. Peningkatan Sistem Umpan Balik Aktuator (*Closed-Loop System*): Penggunaan *IR Blaster* saat ini bersifat *open-loop* (komunikasi satu arah), sehingga sistem tidak mengetahui status aktual dari unit AC (apakah benar-benar menyala atau gagal merespons sinyal inframerah). Disarankan untuk mengintegrasikan modul AC cerdas berbasis WiFi bawaan pabrik atau protokol *Modbus/RS485* langsung ke sirkuit kelistrikan AC untuk mendapatkan umpan balik (*feedback status*) yang absolut.
4. Pengembangan Aplikasi Bergerak (*Mobile Application*): Untuk meningkatkan kemudahan akses operasional, antarmuka *web S-CLASS* dapat dikembangkan menjadi aplikasi berbasis *mobile* (Android/iOS) secara *native*. Kehadiran aplikasi ini akan memungkinkan fitur notifikasi *push* (*push notifications*) bagi pengguna sebagai pengingat saat kelas akan dimulai atau pemberitahuan saat batas waktu peminjaman akan segera berakhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Dwi and E.- Ningtias, “Journal iof iInnovative iand iCreativity Pengembangan Sistem Smart Home Berbasis IoT Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi Listrik Dwi Rahayu Ningtias, Ahmad Aftah Syukron Universitas Ma’arif Nahdlatul Ulama Kebumen,” 2025.
- [2] M. Ali Eljinini, J. Zraqou, and A. A. Maaaita, “Towards a Smart Campus: Smart Classroom Management,” *IJARCCCE*, vol. 11, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.17148/ijarccce.2022.11604.
- [3] K. Zeeshan, T. Hämäläinen, and P. Neittaanmäki, “Internet of Things for Sustainable Smart Education: An Overview,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 7, Apr. 2022, doi: 10.3390/su14074293.
- [4] I. Harimurti and H. A. Fattah, “Penerapan Internet of Things di Bidang Pendidikan .”
- [5] O. E. Ojo, M. K. Kareem, O. Samuel, and C. O. Ugwunna, “An Internet-of-Things based Real-time Monitoring System for Smart Classroom,” *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, vol. 4, pp. 297–309, May 2022, doi: 10.46481/jnsps.2022.573.
- [6] A. Raikwar *et al.*, “IOT-BASED SMART CLASSROOM AUTOMATION SYSTEM.”
- [7] I. B. Sulistiawati, A. Soetedjo, D. B. Susanti, and G. Sukowiyono, “An Energy Management System in Smart Classroom Using CupCarbon Simulator,” *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 15, no. 5, pp. 26985–26995, Oct. 2025, doi: 10.48084/etasr.11773.
- [8] I. P. Sari, D. Apdilah, and S. Guntur, “Sistem Smart Class Berbasis Internet of Things (IoT),” *sudo Jurnal Teknik Informatika*, vol. 4, no. 1, pp. 33–39, Jun. 2025, doi: 10.56211/sudo.v4i1.778.
- [9] *ESP32-S3-WROOM-1 Datasheet Version 1.7*, vol. 1.7.
- [10] “SquareLine Studio 1.5.4.”
- [11] A.-S. A. Ali and X. Bao, “Design and Research of Infrared Remote Control Based on ESP8266,” *OAlib*, vol. 08, no. 04, pp. 1–14, 2021, doi: 10.4236/oalib.1107314.

- [12] D. Ahmed, S. Z. Ali, F. B. Khan, and M. H. Faruki, "Design And Implementation Of An ESP32-Based Smart Home Automation System With Environmental Monitoring And Automated Controls," *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 19, no. 6, pp. 23–28, Dec. 2024, doi: 10.9790/2834-1906012328.
- [13] A. Akbar, Zaenudin, Z. Mutaqin, and L. D. Samsumar, "IoT-Based Smart Room Using Web Server-Based Esp32 Microcontroller," *Formosa Journal of Computer and Information Science*, vol. 1, no. 2, Aug. 2022, doi: 10.55927/fjcis.v1i2.1151.
- [14] I. Yasri, A. Al-Alif, and F. Pirwanhadi, "A Security Home System Feature as a Part of Home Assistant through IoT Platform," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, vol. 17, no. 2, pp. 15–21, Jun. 2025, doi: 10.54554/jtec.2025.17.02.002.
- [15] V. K. R. Ballamudi, K. Lal, H. Desamsetti, and S. Dekkati, *Getting Started Modern Web Development with Next.js: An Indispensable React Framework*, vol. 1, no. 1. 2021.
- [16] A. A. A Donovan, "The Go Programming Language." [Online]. Available: www.it-ebooks.info
- [17] R. Annisa, R. Agung Ananda, and W. E. Sulistiono, "IMPLEMENTASI GOLANG CLEAN ARCHITECTURE PADA PERANCANGAN BACKEND POINT OF SALES WEBSITE," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 2830–7062, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4668.
- [18] S. Dalimunthe, E. Hasri Putra, and M. A. Fadhly Ridha, "Restful API Security Using JSON Web Token (JWT) With HMAC-Sha512 Algorithm in Session Management," *IT Journal Research and Development*, vol. 8, no. 1, pp. 81–94, Dec. 2023, doi: 10.25299/itjrd.2023.12029.