Digital Transformation Technology (Digitech) | e-ISSN : 2807-9000
Volume 6, **Number** 1, Maret 2026
https://doi.org/10.47709/digitech.v6i1.8130

Implementasi Smart Classroom Berbasis IoT dengan Arsitektur Kontrol Penentuan Prioritas dan Monitoring Okupansi

Sendy Tegar Mahendra[1*], Rossi Arizona Dewantara Putra[2], Muhammad Nur Sidiq[3], Uut Haryanto[4], Erwin Apriliyanto[5]
[1,2,3,4,5]Universitas Muhammadiyah Karanganyar, Jawa Tengah, Indonesia
[1]sendytegarm@gmail.com, [2]rossi46arizona@gmail.com, [3]muhammadnursidiq914@gmail.com, [4]uudharyanto5@gmail.com, [5]itanalisterwin@gmail.com

open access

Histori Artikel:
Diajukan: 6 Maret 2026
Disetujui: 10 Mei 2026
Dipublikasi: 18 Mei 2026

Kata Kunci:
Efisiensi Energi; *Internet of Things*; Kontrol Prioritas; *Smart Classroom*; *Load Profiling*

Digital Transformation Technology (Digitech) *is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).*

Abstrak
Pemanfaatan energi listrik di ruang kelas perguruan tinggi sering kali tidak efisien akibat ketergantungan pada kontrol manual dan kelalaian pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem *Smart Classroom* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu meningkatkan efisiensi energi melalui pengelolaan beban listrik secara otomatis dan adaptif. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor PIR, dan aplikasi *mobile* berbasis Flutter yang terintegrasi dengan *Firebase Realtime Database*. Metode penelitian menerapkan hierarki kendali tiga tingkat, yaitu *Force Mode* (Admin), *Auto Mode* (Sensor), dan *Manual Mode* (Tombol Fisik), untuk mengatasi konflik *input* yang umum terjadi pada sistem otomasi. Validasi kinerja dilakukan menggunakan simulasi profil beban berbasis skenario selama satu siklus mingguan. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa logika prioritas berhasil mencegah konflik kendali antar *input*. Sementara itu, analisis efisiensi energi menunjukkan bahwa sistem mampu mereduksi total durasi operasional lampu dari 35.5 jam (metode konvensional) menjadi 26.2 jam (*Smart Classroom*), menghasilkan efisiensi penghematan waktu operasional sebesar 26.2%. Kontribusi utama penelitian ini meliputi perancangan arsitektur kontrol berbasis prioritas *multi-input*, integrasi mekanisme *logging* berbasis *event-source* untuk analisis energi yang lebih kontekstual, serta evaluasi efisiensi menggunakan pendekatan *load profiling* berbasis skenario. Sistem ini terbukti efektif mengurangi pemborosan energi pada jeda aktivitas tanpa mengurangi kenyamanan pengguna.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi listrik di ruang kelas perguruan tinggi umumnya masih bergantung pada kebiasaan manual dosen dan mahasiswa dalam mengoperasikan perangkat. Berbagai studi kasus menunjukkan bahwa ketergantungan pada kontrol manual ini sering menimbulkan inefisiensi operasional dan pemborosan energi (Nugroho et al., 2025; Pramudita & Setyawan, 2022). Sejalan dengan tuntutan standar *smart campus*, diperlukan solusi otomasi yang mampu mengelola beban listrik secara lebih cerdas (Gunawan, 2025). Perkembangan terkini dalam sistem *smart classroom* menunjukkan pergeseran dari sistem konvensional menuju sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan *cloud computing*, memungkinkan *monitoring real-time*, kontrol jarak jauh, serta pengolahan data yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan. Pendekatan ini menjadi bagian dari tren transformasi digital pada sektor pendidikan dalam mendukung efisiensi operasional dan keberlanjutan energi (Pramudita & Setyawan, 2022).

Evolusi solusi dimulai dari sistem otomatisasi *offline* berbasis sensor kehadiran (Rahmawati & Setyawan, 2025; Rinaldi et al., 2021). Namun, sistem *standalone* ini memiliki kelemahan karena tidak adanya konektivitas untuk pemantauan jarak jauh. Perkembangan *Internet of Things* (IoT) kemudian menawarkan solusi yang lebih canggih dengan mengintegrasikan mikrokontroler dan platform *cloud* untuk *monitoring* lingkungan pendidikan (Aristi Saputri et al., 2025; Latief et al., 2025). Namun, studi terbaru menunjukkan bahwa implementasi IoT pada *smart classroom* masih menghadapi tantangan dalam hal integrasi *multi-input* kendali, fleksibilitas operasional, serta kemampuan analitik berbasis data kontekstual.

Meskipun sistem berbasis IoT berhasil menyediakan kontrol jarak jauh, analisis studi terdahulu menunjukkan beberapa kesenjangan signifikan. Pertama, tren sistem IoT modern cenderung menghilangkan tombol fisik dan bergantung penuh pada aplikasi, yang mengurangi fleksibilitas saat jaringan terkendala (Rachman et al., 2025; Tambing, 2024). Kedua, ketiadaan arsitektur hierarki kontrol logika prioritas sering menyebabkan konflik antara input admin dan sensor otomatis (Lasera & Wahyudi, 2020). Ketiga, arsitektur *software* yang ada umumnya bersifat *single-task* dan kurang *scalable* (Shodiq et al., 2021). Keempat, mekanisme *logging data* sering

kali hanya mencatat nilai sensor mentah tanpa menyertakan sumber pemicu peristiwa *event source*, padahal data kontekstual ini krusial untuk audit energi (Gunoto et al., 2022). Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini mengusulkan pendekatan integratif yang menggabungkan kontrol manual, otomatis, dan kendali admin dalam satu arsitektur hierarkis berbasis prioritas untuk mengatasi konflik kendali secara sistematis.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengimplementasikan arsitektur kontrol berbasis prioritas dan *monitoring* okupansi pada *smart classroom* berbasis IoT. Sistem ini dirancang untuk mengisi kesenjangan penelitian sebelumnya dengan mengintegrasikan tiga jenis input dalam hierarki yang jelas: (1) Kontrol Paksa *Force Mode*, (2) Kontrol Otomatis *PIR Sensor*, dan (3) Kontrol Manual *Physical Button*. Selain itu, penelitian ini menerapkan mekanisme *logging* histori berbasis *event-source* ke *Firebase Realtime Database* untuk keperluan analisis efisiensi yang lebih mendalam.

Kontribusi utama penelitian ini adalah (1) perancangan arsitektur kontrol berbasis prioritas *multi-input* untuk mengatasi konflik kendali, (2) integrasi sistem *logging* berbasis *event-source* yang memungkinkan analisis energi secara kontekstual, serta (3) evaluasi efisiensi energi menggunakan pendekatan simulasi *load profiling* berbasis skenario yang merepresentasikan kondisi operasional nyata.

STUDI LITERATUR

Konsep *Smart Classroom* telah berkembang menjadi elemen krusial dalam ekosistem *Smart Campus*, di mana integrasi *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan manajemen fasilitas (Fanshuri et al., 2018; Nugroho et al., 2025). Berbagai penelitian telah mengeksplorasi metode otomasi untuk mengurangi pemborosan energi di ruang kelas. (Rinaldi et al., 2021) dan (Rahmawati & Setyawan, 2025) mengembangkan sistem manajemen ruang berbasis sensor *Passive Infrared* PIR untuk mendeteksi keberadaan manusia. Pendekatan berbasis okupansi ini terbukti efektif dalam meminimalisir penggunaan energi yang tidak perlu, sebagaimana divalidasi oleh studi (Sari et al., 2023) yang menunjukkan bahwa intervensi berbasis sensor kehadiran mampu memberikan penghematan energi yang signifikan pada bangunan pintar.

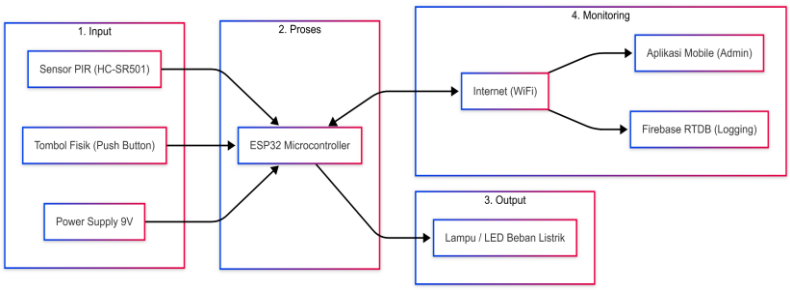
Meskipun penggunaan sensor dan IoT menawarkan efisiensi, implementasi di lapangan sering menghadapi tantangan arsitektural. Penelitian (Lasera & Wahyudi, 2020) dan (Aristi Saputri et al., 2025) menyoroti masalah konflik kendali yang sering terjadi pada sistem hibrida, di mana input dari sensor otomatis sering bertentangan dengan keinginan pengguna manual. Sayangnya, solusi yang ditawarkan oleh beberapa peneliti seperti (Tambing, 2024) dan (Rachman et al., 2025) cenderung menghilangkan saklar fisik dan bergantung sepenuhnya pada aplikasi *mobile*. Pendekatan ini mengurangi fleksibilitas operasional, terutama saat terjadi gangguan jaringan. Oleh karena itu, diperlukan arsitektur kontrol yang mampu mengakomodasi kedua mode tersebut tanpa konflik.

Dari sisi infrastruktur data, penelitian (Gunoto et al., 2022) dan (Gunawan, 2025) berfokus pada *monitoring* besaran listrik tegangan dan arus. Namun, sistem tersebut umumnya hanya menampilkan data mentah tanpa konteks kejadian *event context*. Padahal, (Kusumo et al., 2023) dan (Wonohadidjojo & Santoso, 2022) menekankan pentingnya layanan *cloud* yang *real-time* seperti Firebase untuk sinkronisasi data yang akurat.

Berdasarkan tinjauan tersebut, terdapat *research gap* berupa ketiadaan mekanisme prioritas yang jelas pada sistem *smart classroom* yang ada, serta kurangnya fitur analitik berbasis sumber pemicu *event-source*. Penelitian ini dirancang untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menerapkan logika kontrol prioritas menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mendukung *multitasking* (Muhammad Hurairah et al., 2024), serta sistem *logging* terperinci untuk audit energi yang lebih baik.

METODE

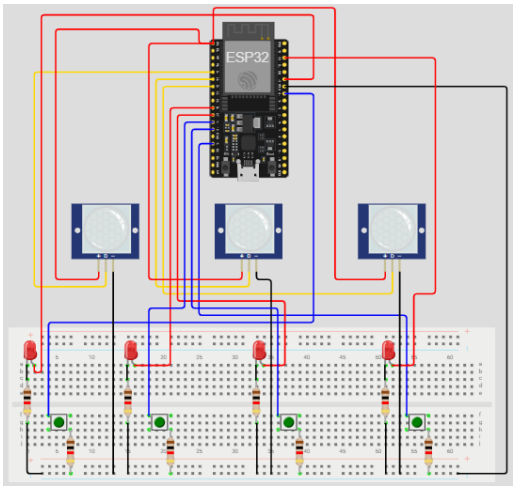
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan *prototyping* untuk menghasilkan solusi otomasi ruang kelas yang efektif. Tahapan penelitian dirancang secara sistematis meliputi perancangan arsitektur perangkat keras, pengembangan algoritma kontrol prioritas, serta pengujian sistem pada replika ruang kelas. Sistem dirancang dengan arsitektur terpusat *centralized* di mana satu mikrokontroler ESP32 mengelola empat entitas sekaligus, yang terdiri dari tiga ruang kelas dan satu koridor. Desain ini dipilih untuk efisiensi biaya dan kemudahan perawatan. Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

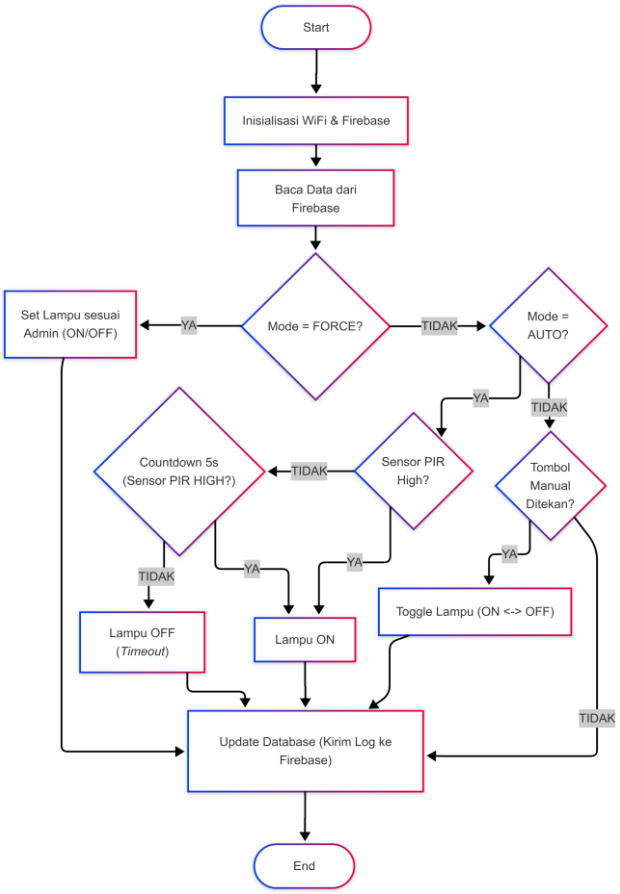
Sistem terdiri dari empat blok utama: (1) Blok Input yang menggunakan sensor *PIR HC-SR501* untuk deteksi okupansi dan tombol fisik *momentary switch* untuk kontrol manual, (2) Blok Proses menggunakan *ESP32 Dev Module* untuk memproses logika dan sinkronisasi *cloud*, (3) Blok Output berupa relay dan lampu LED, serta (4) Blok *Monitoring* yang terdiri dari aplikasi *mobile* dan *Firebase Realtime Database*.

Implementasi perangkat keras direalisasikan berdasarkan skema rangkaian elektronik pada Gambar 2. Mikrokontroler ESP32 menghubungkan komponen *input* dan *output* melalui pin GPIO dengan konfigurasi *wiring* yang terpisah untuk setiap ruang. Tombol fisik dikonfigurasi menggunakan mode *INPUT_PULLUP* internal untuk menjaga stabilitas sinyal logika.



Gambar 2. Skematik Rangkaian

Kebaruan utama dalam penelitian ini terletak pada penerapan algoritma kontrol berbasis prioritas (*priority control*). Algoritma ini dirancang untuk menyelesaikan konflik perintah yang sering terjadi antara sensor otomatis dan intervensi manusia. Alur logika program ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Logika Prioritas

Sebagaimana terlihat pada Gambar 3, sistem menetapkan hierarki keputusan di mana perintah *Force Mode* dari admin memiliki prioritas tertinggi. Jika tidak ada intervensi admin, sistem akan mengecek mode operasi lokal *Auto/Manual*. Pada mode *Auto*, lampu dikendalikan sepenuhnya oleh sensor PIR dengan *timer* otomatis, sedangkan pada mode *Manual*, lampu dikendalikan oleh tombol fisik.
Untuk memvalidasi kinerja sistem, dilakukan dua tahap pengujian utama:

Pengujian Fungsional (*Black Box Testing*) bertujuan memverifikasi bahwa setiap fitur, termasuk logika prioritas dan *logging data*, berfungsi sesuai spesifikasi tanpa memeriksa kode internal (Cahyono et al., 2025).

Pengujian Efisiensi Energi (*Scenario Testing*) untuk mengukur penghematan durasi operasional perangkat. Metode yang digunakan adalah simulasi profil beban *load profile* selama satu siklus mingguan. Pendekatan simulasi berbasis skenario ini mengacu pada penelitian (Neves-Silva & Camarinha-Matos, 2022), yang membuktikan validitas prediksi efisiensi energi melalui pemodelan skenario penggunaan riil. Strategi intervensi berbasis okupansi dipilih berdasarkan studi (Sari et al., 2023) yang menunjukkan efisiensi signifikan dari kontrol otomatis.

Perhitungan efisiensi dilakukan dengan membandingkan durasi nyala pada skenario konvensional $t_{konvensional}$ dan skenario *Smart Classroom* t_{smart}. Total durasi konvensional dihitung berdasarkan asumsi nyala terus-menerus selama jam operasional gedung menggunakan Persamaan (1):

$$t_{\text{konvensional}} = \sum_{i=1}^{n} \left(T_{\text{tutup}(i)} - T_{\text{buka}(i)} \right) \quad (1)$$

Sementara itu, total durasi pada skenario *smart* dihitung dengan menjumlahkan durasi aktivitas riil saat ruangan terdeteksi ada orang menggunakan Persamaan (2):

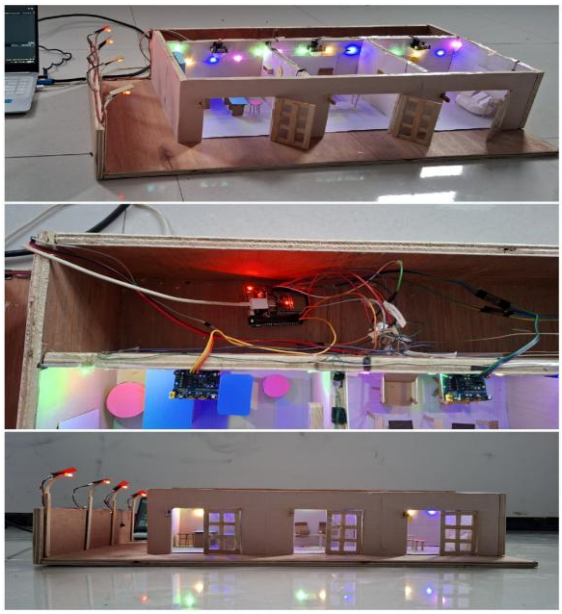
$$t_{\text{smart}} = \sum_{i=1}^{n} t_{\text{aktif}}(i) \quad (2)$$

Hasil dari kedua persamaan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung persentase efisiensi (η) menggunakan Persamaan (3) yang diadaptasi dari metode audit energi (Gunawan, 2025; Gunoto et al., 2022):

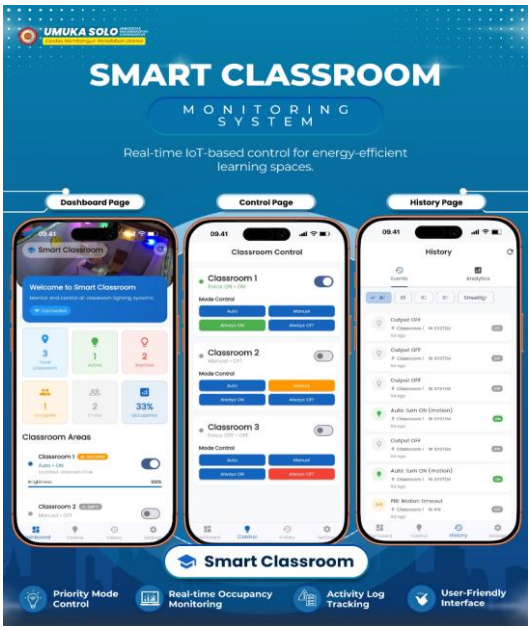
$$\eta = \left(\frac{t_{konvensional} - t_{smart}}{t_{konvensional}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

HASIL

Sistem *Smart Classroom* berhasil direalisasikan dalam bentuk prototipe. Perangkat keras ditempatkan dalam panel terpisah dengan sensor PIR yang disebar di titik strategis yang dapat dilihat pada Gambar 4. Antarmuka pengguna berbasis Flutter menampilkan *dashboard* status ruangan dan kendali mode secara *real-time* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Prototipe Perangkat Keras



Gambar 5. Antarmuka Aplikasi Mobile

Logika kendali otomatis pada *firmware ESP32* bertugas membaca sinyal sensor dan mengelola status relay. Algoritma ini memantau perubahan status pin PIR. Jika terdeteksi gerakan *HIGH*, relay aktif. Jika tidak ada gerakan melebihi batas *timeout 5000 ms*, sistem memutus daya.



```
#define PIR_STAY_ON_MS 5000

void updateOccupancyFromPIR(Room &room) {
  unsigned long now = millis();
  bool prevOccupied = room.isOccupied;
  int pirVal = digitalRead(room.pirPin);

  if (pirVal == HIGH) {
    room.isOccupied = true;
    room.lastMotionTime = now;
  } else {
    if (now - room.lastMotionTime >= PIR_STAY_ON_MS) {
      room.isOccupied = false;
    }
  }

  if (room.isOccupied != prevOccupied) {
    pushRoomEventToFirebase(room, room.isOccupied ? "PIR: Motion detected" :
    "PIR: Motion timeout", "PIR");
    pushRoomCurrentToFirebase(room);
  }
}
```

Gambar 6. Algoritma Deteksi Gerakan

Pengujian fungsional dilakukan dengan metode *Black Box Testing* untuk memverifikasi respon sistem terhadap berbagai skenario input, terutama pada fitur prioritas. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

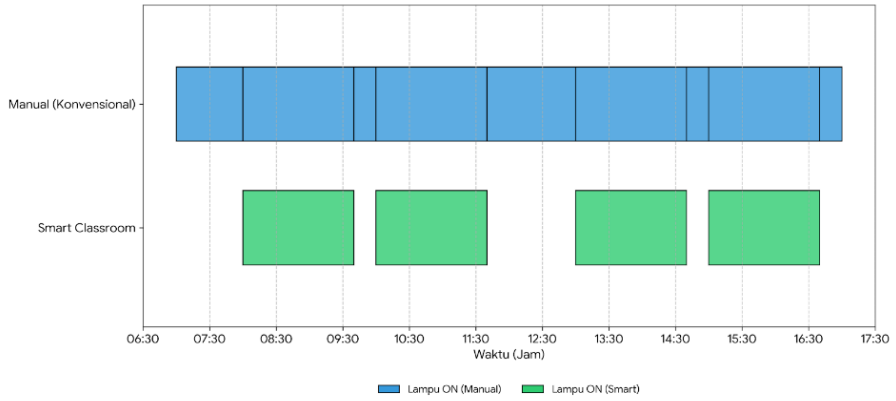
Tabel 1. *Black Box Testing*

Skenario Uji (Input)	Kondisi Awal	Ekspektasi Output	Hasil Aktual	Status
Mode Manual: Tekan Tombol Fisik	OFF	ON *Toggle*	ON	Berhasil
Mode Auto: Gerakan terdeteksi PIR	OFF	ON	ON	Berhasil
Mode Auto: Tidak ada gerakan > 5 detik	ON	OFF *Timeout*	OFF	Berhasil
Prioritas (*Force ON*): Admin set *Force ON*, lalu Tombol ditekan	ON	Tetap ON (Tombol diabaikan)	Tetap ON	Berhasil
Prioritas (*Force OFF*): Admin set *Force OFF*, lalu PIR mendeteksi gerak	OFF	Tetap OFF (Sensor diabaikan)	Tetap OFF	Berhasil

Simulasi profil beban dilakukan selama satu siklus mingguan (Senin-Minggu) untuk mendapatkan data komparasi durasi nyala lampu. Sampel detail profil beban pada hari Senin disajikan pada Tabel 2 dan divisualisasikan pada Gambar 7.

Tabel 2. Sampel Detail Profil Beban Harian (Senin)

Waktu	Status Ruangan	Status Manual	Status *Smart Class*	Durasi Hemat
07:00 - 08:00	Persiapan	ON	OFF	60 Menit
08:00 - 09:40	Kuliah A	ON	ON	-
09:40 - 10:00	Jeda Pergantian	ON	OFF	20 Menit
10:00 - 11:40	Kuliah B	ON	ON	-
11:40 - 13:00	Ishoma	ON	OFF	80 Menit
13:00 - 14:40	Kuliah C	ON	ON	-
14:40 - 15:00	Jeda Sore	ON	OFF	20 Menit
15:00 - 16:40	Kegiatan Hima	ON	ON	-
16:40 - 17:00	Penutupan	ON	OFF	20 Menit
TOTAL		10 Jam	6.7 Jam	3.3 Jam

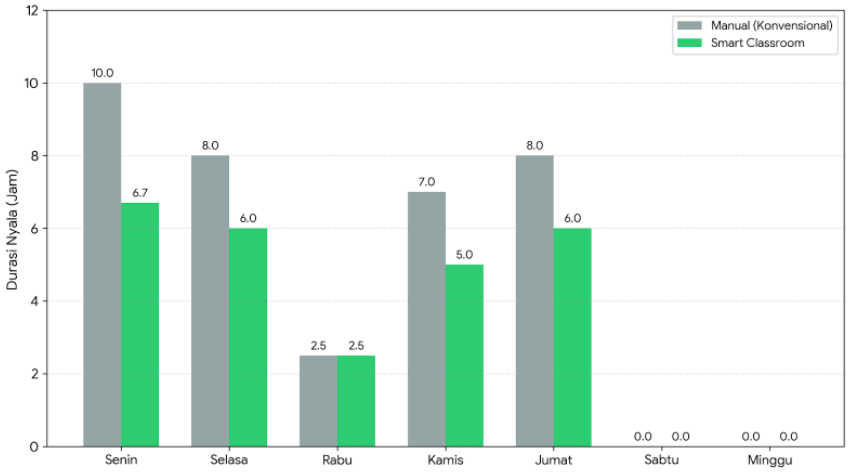


Gambar. 7 Profil Status Beban Harian pada Hari Senin

Selanjutnya, data rekapitulasi total durasi nyala selama satu minggu ditampilkan pada Tabel 3 dan grafik perbandingan pada Gambar 8.

Tabel 3. Rekapitulasi Perbandingan Durasi Nyala (1 Minggu)

Hari	Skenario Aktivitas	Rincian Waktu Operasional	Durasi Manual t_{konv}	Durasi *Smart* t_{smart}
Senin	Kuliah Padat	07.00-17.00 (Sesuai Tabel 2)	10.00	6.70
Selasa	Kuliah Sedang	07.00-15.00 (Kosong 2 jam)	8.00	6.00
Rabu	Kegiatan Organisasi	15.00-17.30 (Non-stop)	2.50	2.50
Kamis	Kuliah & Praktikum	08.00-11.00 & 13.00-15.00	7.00	5.00
Jumat	Kuliah Pagi	07.00-11.00 & 13.00-15.00	8.00	6.00
Sabtu	Libur	Tidak ada aktivitas	0.00	0.00
Minggu	Libur	Tidak ada aktivitas	0.00	0.00
TOTAL (1 Minggu)			35.5 Jam	26.2 Jam

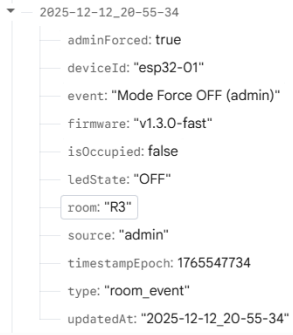


Gambar 8. Grafik Perbandingan Total Durasi

Berdasarkan data pada Tabel 3, dilakukan perhitungan efisiensi energi. Total durasi pada skenario konvensional ($t_{konvensional}$) tercatat sebesar 35.5 Jam, sedangkan pada skenario *Smart Classroom* (t_{smart}) tercatat sebesar 26.2 Jam. Efisiensi (η) dihitung menggunakan Persamaan (3):

$$\eta = \left(\frac{35.5 - 26.2}{35.5}\right) \times 100\% \; = \; \mathbf{26.2\%} \qquad (\mathbf{3})$$

Sistem merekam setiap aktivitas perubahan status ke dalam *Firebase Realtime Database*. Struktur data log yang dihasilkan mencakup status perangkat, waktu kejadian *timestamp*, dan sumber pemicu *source* sebagaimana terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Struktur Data Log Firebase

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sistem terbukti mampu menjalankan hierarki kendali yang dirancang. Temuan penting terlihat pada Skenario No. 4, di mana sistem berhasil mengabaikan input tombol fisik saat Admin mengaktifkan *Force ON*. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma prioritas berfungsi efektif dalam mengatasi konflik kendali *conflict state*.

Hasil ini merupakan perbaikan signifikan dibandingkan penelitian sebelumnya oleh (Lasera & Wahyudi, 2020) dan (Aristi Saputri et al., 2025), di mana sering terjadi tumpang tindih perintah antara sensor otomatis dan saklar manual. Dengan adanya pemisahan layer otoritas (Admin > Sensor > Manual), sistem ini menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi tanpa mengorbankan kemampuan manajemen terpusat.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa implementasi sistem *Smart Classroom* menghasilkan efisiensi durasi operasional sebesar 26.2%. Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 7 (Grafik Harian), penghematan ini diperoleh dari mekanisme pemutusan daya otomatis pada saat jeda pergantian kelas, istirahat siang, dan jeda sore *idle time*. Celah-celah kosong pada grafik hijau (*Smart*) membuktikan bahwa sistem responsif mematikan beban saat ruangan tidak terokupansi.

Temuan ini sejalan dengan hipotesis (Sari et al., 2023) yang menyatakan bahwa intervensi berbasis okupansi adalah metode efektif untuk reduksi energi. Berbeda dengan penelitian (Amirah et al., 2023) yang hanya berfokus pada *monitoring* konsumsi daya pasif, penelitian ini membuktikan bahwa penghematan energi dapat dicapai secara proaktif melalui reduksi durasi operasional *Time Reduction*. Angka 26.2% ini merepresentasikan

potensi penghematan murni operasional harian, belum termasuk pencegahan insiden kelalaian ekstrem (lupa mematikan lampu saat libur) yang akan meningkatkan angka efisiensi lebih jauh.

Fitur *logging* yang ditampilkan pada Gambar 9 memberikan nilai tambah analitik. Keberadaan atribut *source ("PIR", "BUTTON", "ADMIN")* membedakan sistem ini dari alat *monitoring* standar (Gunawan, 2025; Gunoto et al., 2022) yang umumnya hanya mencatat tegangan/arus. Data kontekstual ini memungkinkan manajer fasilitas untuk mengaudit perilaku pengguna, misalnya mengidentifikasi seberapa sering intervensi manual dilakukan dibandingkan penggunaan otomatis, yang berguna untuk evaluasi kebijakan energi kampus di masa depan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, penelitian ini berhasil menjawab permasalahan terkait konflik kendali dan inefisiensi energi pada ruang kelas melalui implementasi arsitektur kontrol berbasis prioritas pada *Smart Classroom.* Sistem yang dikembangkan mampu mengatasi masalah konflik perintah *conflict state* yang umum terjadi pada sistem hibrida, di mana pemisahan otoritas antara Admin *Force Mode*, Sensor *Auto Mode*, dan Pengguna *Manual Mode* terbukti efektif menjaga stabilitas kendali sistem. Dari sisi efisiensi energi, sistem mampu menekan total durasi operasional perangkat dari 35.5 jam (konvensional) menjadi 26.2 jam dalam satu siklus mingguan, dengan tingkat efisiensi penghematan sebesar 26.2% yang diperoleh melalui eliminasi *idle time* pada jeda aktivitas. Selain itu, integrasi fitur *logging* berbasis *event-source* pada Firebase memberikan nilai tambah berupa analisis perilaku penggunaan energi yang lebih kontekstual. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki batasan pada ketergantungan konektivitas internet. Apabila koneksi *Wi-Fi* terputus, fitur intervensi jarak jauh *Force Mode* tidak dapat digunakan dan sistem hanya berjalan pada mode lokal. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan sensor arus/tegangan seperti *PZEM-004T* guna memperoleh data konsumsi energi kWh secara *real-time*, serta menerapkan protokol komunikasi lokal seperti *ESP-NOW* atau *MQTT Local* untuk meningkatkan keandalan sistem dan mengurangi ketergantungan pada layanan *cloud*.

REFERENSI

Amirah, Salman, & Abidin Z. (2023). Desain Dan Implementasi Sistem Monitoring Pemakaian Design And Implementation Of An Iot-Based Electrical Power Usage Monitoring System For Household Customers. *Cogito Smart Journal*, *9*(2). Https://Doi.Org/10.31154/Cogito.V9i2.521.368-380

Aristi Saputri, T., Sutomo, B., Hairunnisa, A., Adie Syaputra, M., & Informasi, S. (2025). Perancangan Dan Implementasi Sistem Smart Air Conditioner Berbasis Iot Di Gedung Kampus Dharma Wacana Untuk Optimalisasi Energi. *Jurnal Jupiter*, *17*(1), 123–133.

Cahyono, Y. D., Widianti, L. W., & Pramuningsih, S. I. (2025). Pengujian Black Box Pada Website Sistem Informasi Pengolahan Data Teritorial Menggunakan Metode Use Case Testing Untuk Operasi Militer. In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)* (Vol. 9, Number 2).

Fanshuri, R., Wiharti, W., & Rimra, I. L. (2018). Ruangan Kelas Dan Laboratorium Pintar (Menuju Smart Campus Dengan Internet Of Things) Smart Classroom And Laboratory (Towards Smart Campus With Internet Of Things). *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, *14*(1). Https://Doi.Org/10.30630/Jipr.14.1.111

Gunawan, G. (2025). Sistem Kontrol Dan Monitoring Beban Listrik Di Pondok Pesantren Al-Husna Pontianak Berbasis Iot. *Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, *22*(2), 94–101. Https://Doi.Org/10.30811/Litek.V22i2.80

Gunoto, P., Rahmadi, A., Susanti, E., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Kepulauan, U. R. (2022). Perancangan Alat Sistem Monitoring Daya Panel Surya Berbasis Internet Of Things. *Sigma Teknika*, *5*(2), 285–294. Https://Doi.Org/10.33373/Sigmateknika.V5i2.4555

Kusumo, L. N., Wijanto, M. C., Tan, R., & Royandi, Y. (2023). Implementasi Realtime Cloud Service Dalam Pengelolaan Nilai Tugas Akhir Mahasiswa. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, *9*(2). Https://Doi.Org/10.28932/Jutisi.V9i2.6566

Lasera, A. B., & Wahyudi, I. H. (2020). Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik Berbasis Iot Esp32 Pada Smart Home System. *Elinvo (Electronics, Informatics, And Vocational Education)*, *5*(2), 112–120. Https://Doi.Org/10.21831/Elinvo.V5i2.34261

Latief, M. F., Irmansyah, I., & Rosyidi, L. (2025). Sistem Pemantauan Ruang Kelas Berbasis Internet Of Things (Iot) Untuk Proses Pendidikan Yang Efektif. *Digital Transformation Technology*, *4*(2), 1278–1284. Https://Doi.Org/10.47709/Digitech.V4i2.5485

Muhammad Hurairah, Ardian Eza Pratama, & Eliza. (2024). Otomasi Sistem Hidroponik Berbasis Mikrokontroler Esp32. *Jurnal Surya Energy*, *9*(1), 1–7. Https://Doi.Org/10.32502/Jse.V9i1.172

Neves-Silva, R., & Camarinha-Matos, L. M. (2022). Simulation-Based Decision Support System For Energy Efficiency In Buildings Retrofitting. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(19). Https://Doi.Org/10.3390/Su141912216

Nugroho, K. T., Julianto, B., Tisna, D. R., Copernikus Andaria, A., Komunitas, A., & Pacitan, N. (2025). Prototipe Smart Class Dengan Memanfaatkan Teknologi Internet Of Things Di Akademi Komunitas Negeri Pacitan.

Journal of Computer Science and Technology JCS-TECH, *5*(1), 13–18.

Pramudita, R., & Setyawan, K. (2022). Sistem Smart Class Berbasis Internet Of Things Dengan Menggunakan Metode Prototype. *SMARTICS Journal*, *8*(1).

Rachman, B., Suppa, R., & Dani, A. A. H. (2025). Rancang Bangun Smart Lamp Menggunakan Nodemcu Berbasis Internet Of Things (IOT). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(1). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5591

Rahmawati, L., & Setyawan, G. (2025). Rancang Bangun Sitem Manajemen Ruang Menggunakan Sensor PIR untuk Kontrol Saklar Otomatis dan Penghemat Energi. *Jurnal Fisika Unand*, *14*(1), 22–28. https://doi.org/10.25077/jfu.14.1.22-28.2025

Rinaldi, R. S., Lase, Y. R., & Rosa, M. K. A. (2021). Perancangan Sistem Otomatisasi Penyalaan Lampu, Kipas Angin, dan Proyektor Dalam Ruang Kelas. *Jurnal Amplifier*, *11*(2).

Sari, M., Ali Berawi, M., Zagloel, T. Y., Madyaningarum, N., Miraj, P., Pranoto, A. R., Susantono, B., & Woodhead, R. (2023). Machine Learning-Based Energy Use Prediction For The Smart Building Energy Management System. *Journal of Information Technology in Construction*, *28*, 622–645. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.033

Shodiq, A., Baqaruzi, S., & Muhtar, A. (2021). Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Berbasis Internet Of Things. *ELECTRON : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, *2*(1), 18–26. https://doi.org/10.33019/electron.v2i1.2368

Tambing, Y. (2024). Prototype Sistem Kontrol Lampu Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Nodemcu. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *12*(1). https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3702

Wonohadidjojo, D. M., & Santoso, H. (2022). Sistem Kendali Jarak Jauh untuk Smart Home Melalui Aplikasi Android Menggunakan NodeMCU dan Firebase. *Buletin Poltanesa*, *23*(1). https://doi.org/10.51967/tanesa.v23i1.1285