

## Sistem Penerangan Laboratorium Otomatis Berbasis *Home Assistant* dan *Internet of Things* pada Laboratorium Dasar Sistem Kendali – Institut Teknologi Indonesia: Implementasi dan Analisis Waktu Respons

Saharudin<sup>\*1</sup>, Ratnawati<sup>2</sup>, Tri Taji Setia Karya<sup>3</sup>, Yongki Setiawan<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia, Indonesia  
Email: <sup>1</sup>saharudin.el@iti.ac.id

### Abstrak

Peningkatan konsumsi energi pada sektor bangunan, termasuk institusi pendidikan, mendorong perlunya solusi efisiensi energi seperti otomatisasi pencahayaan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menganalisis kinerja sistem penerangan otomatis di Laboratorium Dasar Sistem Kontrol (DSK) Institut Teknologi Indonesia. Sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan smart switch, lampu LED, dan sensor melalui platform open-source Home Assistant sebagai pusat kendali, serta memungkinkan kendali manual, jarak jauh, dan berbasis suara. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan rekayasa dengan tahapan studi literatur, perancangan, implementasi, dan pengujian. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan parameter waktu respons pada tiga skenario input: manual, remote melalui jaringan LAN, dan remote melalui jaringan GSM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil diimplementasikan dengan integrasi yang stabil. Pengujian waktu respons menghasilkan nilai rata-rata 0,204 detik untuk input manual, 0,36 detik untuk remote LAN, dan 0,443 detik untuk remote GSM. Ketiga nilai tersebut berada dalam kategori responsif untuk mendukung operasional laboratorium. Selain itu, sistem voice assistant dapat merespon perintah secara optimal pada intensitas suara di atas 82 dB. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem otomatisasi laboratorium yang terjangkau, efisien, dan responsif, serta membuka peluang integrasi perangkat cerdas lainnya di masa mendatang..

**Kata Kunci:** *Automatisasi Penerangan, Home Assistant, Internet Of Things, Laboratorium, Waktu Respons*

### Abstract

*The increasing energy consumption in the building sector, including educational institutions, necessitates energy efficiency solutions such as lighting automation. This research aims to design, implement, and analyze the performance of an automated lighting system in the Basic Control Systems Laboratory at the Institut Teknologi Indonesia. The system was developed by integrating smart switches, LED lamps, and sensors through the open-source Home Assistant platform as a central control hub, enabling manual, remote, and voice-based control. The research methodology employed an engineering design approach, encompassing stages of literature review, system design, implementation, and performance testing. System performance was evaluated based on response time parameters across three input scenarios: manual control, remote control via a Local Area Network (LAN), and remote control via a GSM network. The results demonstrated that the system was successfully implemented with stable integration. Response time testing yielded average values of 0.204 seconds for manual input, 0.36 seconds for LAN-based remote input, and 0.443 seconds for GSM-based remote input. All three values fall within a responsive category suitable for supporting laboratory operations. Furthermore, the voice assistant system responded optimally to voice commands at sound intensities above 82 dB. This research contributes to the development of affordable, efficient, and responsive laboratory automation systems and opens opportunities for integrating other smart devices in the future. italic.*

**Keywords:** *Home Assistant, Internet Of Thing, Laboratory, Lighting Automation, Response Time*

## 1. PENDAHULUAN

Sektor bangunan memberikan kontribusi signifikan terhadap konsumsi energi global, mencapai 30% dari konsumsi energi final dunia, dengan tren peningkatan yang konsisten seiring urbanisasi dan digitalisasi ruang kerja serta pendidikan (Srisamranrungruang & Hying, 2025). Di dalam struktur

konsumsi energi bangunan, sistem pencahayaan menyumbang proporsi yang cukup besar, berkisar antara 15–40% tergantung pada tipe bangunan dan pola okupansi. Optimalisasi sistem pencahayaan tidak hanya berdampak pada penghematan biaya operasional, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan jejak karbon dan dukungan terhadap target keberlanjutan institusi. Laboratorium sebagai infrastruktur pendidikan memiliki karakteristik konsumsi energi yang intensif karena jam operasional yang panjang, penggunaan peralatan elektronik, serta kebutuhan pencahayaan yang konsisten untuk keamanan dan akurasi praktikum. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengoperasian beban listrik secara manual seringkali menyebabkan inefisiensi dan pemborosan energi, terutama ketika lampu dibiarkan menyala di luar jam operasional atau ketika ruangan sedang tidak digunakan (Al. Hafid, 2024, Pratama & Wijaya, 2023). Implementasi sistem otomatis berbasis Internet of Things (IoT) terbukti mampu mereduksi konsumsi listrik harian secara signifikan, misalnya dari 32,5 kWh menjadi 18,3 kWh di lingkungan laboratorium teknik (Al. Hafid, 2024). Lebih lanjut, penerapan kendali pencahayaan otomatis berbasis okupansi dan penjadwalan dapat mengurangi konsumsi energi hingga 97% pada ruangan dengan okupansi rendah (Dagle, 1992, Chen et al., 2022).

Perkembangan teknologi IoT dan platform otomatisasi sumber terbuka seperti Home Assistant membuka peluang baru dalam pengelolaan laboratorium yang lebih cerdas, terukur, dan independen. Home Assistant (HA) adalah platform open-source yang memungkinkan integrasi dan kendali berbagai perangkat cerdas secara lokal, memastikan keamanan data, keandalan sistem, dan independensi dari layanan cloud komersial yang rentan terhadap gangguan internet atau biaya berlangganan (Prokopenko & Lytvynenko, 2025, Santos, 2025). Berbeda dengan ekosistem proprietary, HA mendukung protokol standar seperti MQTT, Zigbee, dan Wi-Fi, serta memungkinkan kustomisasi dashboard dan otomatisasi berbasis kondisi (rules-based automation). Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan HA untuk manajemen laboratorium (Santos, 2025), pembaruan platform domotika jarak jauh (Garcés Sánchez, 2026), hingga integrasi dengan pengenalan emosi dan estimasi okupansi ruangan (Brenes & Chacón, 2025). Studi-studi ini mengonfirmasi keserbagunaan, skalabilitas, dan efektivitas biaya platform HA dalam konteks bangunan cerdas.

Laboratorium Dasar Sistem Kontrol (DSK) di Institut Teknologi Indonesia masih mengoperasikan sistem penerangan secara konvensional menggunakan sakelar dinding manual. Kondisi ini berpotensi menimbulkan pemborosan energi, mengurangi fleksibilitas pengguna, serta menghambat transisi menuju smart campus. Berdasarkan identifikasi awal, belum tersedia sistem kendali jarak jauh, pemantauan status real-time, maupun mekanisme otomatis berbasis kondisi ruangan. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem otomatisasi penerangan di Laboratorium DSK menggunakan platform Home Assistant yang diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 dan modul relay. Tujuan penelitian ini adalah: (1) merancang sistem otomatisasi penerangan yang dapat dikendalikan secara manual maupun otomatis melalui antarmuka web dan suara, (2) mengimplementasikan sistem dengan mengintegrasikan perangkat keras dan lunak secara stabil, dan (3) menganalisis kinerja sistem berdasarkan parameter waktu respons pada tiga skenario input: kendali manual, kendali remote melalui jaringan LAN, dan kendali remote melalui jaringan GSM. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis komparatif waktu respons antar skenario input pada sistem otomatisasi laboratorium berbasis HA di Indonesia, yang masih jarang dieksplorasi dalam literatur akademik nasional. Dengan mengkuantifikasi latensi pada setiap jalur komunikasi, penelitian ini memberikan panduan praktis bagi institusi pendidikan yang ingin mengadopsi IoT dengan tetap mempertahankan keandalan operasional.

## 2. STUDI PUSTAKA

Transformasi menuju laboratorium cerdas telah menjadi fokus utama dalam pengembangan infrastruktur pendidikan modern. Sistem penerangan berbasis IoT tidak hanya berfungsi sebagai pengganti sakelar konvensional, tetapi juga sebagai node pengumpul data yang dapat diintegrasikan dengan sistem HVAC, keamanan, dan manajemen energi bangunan (Kumar & Singh, 2022). Dalam arsitektur IoT untuk pencahayaan, mikrokontroler seperti ESP32 dan ESP8266 banyak digunakan karena dukungan Wi-Fi terintegrasi, harga terjangkau, dan kompatibilitas dengan protokol MQTT yang ringan dan efisien untuk komunikasi real-time (Zhang et al., 2023). Protokol MQTT bekerja dengan

model publish-subscribe yang meminimalkan overhead data dan latensi, menjadikannya pilihan utama untuk sistem kendali industri dan pendidikan (Al-Fuqaha et al., 2021).

Platform Home Assistant telah diuji dalam berbagai skenario smart building. Prokopenko dan Lytvynenko (2025) menunjukkan bahwa arsitektur berbasis HA mampu mencapai uptime 99,2% dalam pengendalian perangkat kantor, dengan keunggulan utama pada pemrosesan lokal yang mengurangi ketergantungan pada server cloud. Santos (2025) mengimplementasikan HA pada laboratorium universitas di Brasil dan melaporkan penghematan energi sebesar 28% setelah penambahan sensor okupansi dan logika penjadwalan otomatis. Garcés Sánchez (2026) menekankan bahwa sistem berbasis HA memungkinkan pembaruan firmware dan konfigurasi jarak jauh tanpa mengganggu operasional harian, yang sangat relevan untuk laboratorium dengan jadwal praktikum yang padat. Namun, sebagian besar studi tersebut berfokus pada aspek fungsional dan penghematan energi, sementara analisis kuantitatif mengenai waktu respons pada berbagai topologi jaringan masih terbatas.

Waktu respons menjadi parameter kritis dalam sistem kendali real-time. Latensi yang tinggi dapat menimbulkan pengalaman pengguna yang tidak nyaman, terutama pada skenario darurat atau ketika pengajar perlu menghidupkan lampu secara instan sebelum praktikum dimulai. Penelitian oleh Rahman et al. (2024) membandingkan latensi komunikasi LAN dan WAN pada sistem IoT berbasis ESP32 dan menemukan bahwa jaringan lokal konsisten memberikan respons di bawah 300 ms, sedangkan jaringan GSM/4G mengalami variasi latensi antara 350–600 ms tergantung pada kepadatan lalu lintas operator dan jarak dari BTS. Temuan ini sejalan dengan studi Lee dan Kim (2023) yang menyatakan bahwa meskipun jaringan seluler menawarkan mobilitas tinggi, overhead routing dan proses enkripsi TLS menambah delay sekitar 15–25% dibandingkan komunikasi LAN terenkripsi. Dalam konteks laboratorium pendidikan, batas toleransi respons manusia terhadap kendali pencahayaan umumnya berada di kisaran 500 ms, nilai di atas ambang ini mulai dipersepsikan sebagai "lag" atau keterlambatan (Oliveira & Costa, 2022).

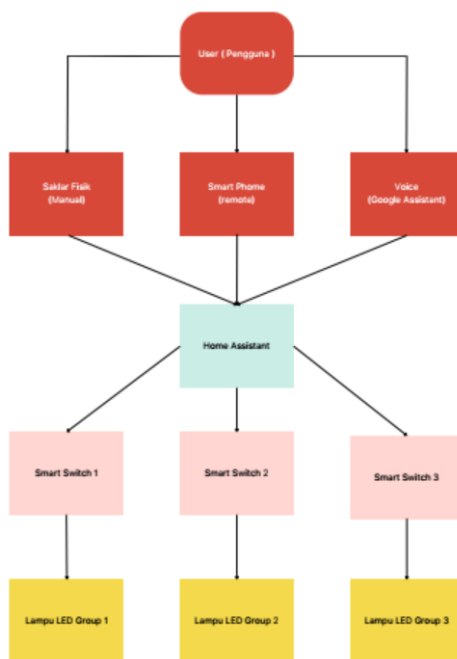
Integrasi voice assistant seperti Google Nest Mini atau Amazon Alexa menambah dimensi interaksi yang alami, namun sangat dipengaruhi oleh rasio sinyal-terhadap-noise (SNR) dan akustik ruangan. Studi oleh Putri dan Santoso (2024) di ruang kelas teknik menunjukkan bahwa perangkat voice assistant memerlukan intensitas suara minimal 80–85 dB untuk mencapai akurasi perintah di atas 90% ketika terdapat kebisingan latar dari peralatan laboratorium. Hal ini menggarisbawahi pentingnya penempatan perangkat, penggunaan mikrofon beamforming, atau integrasi dengan sensor okupansi sebagai fallback ketika kondisi akustik tidak mendukung. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan tidak hanya mengimplementasikan sistem berbasis HA, tetapi juga secara sistematis mengukur dan membandingkan waktu respons pada tiga skenario input yang berbeda, serta mengevaluasi kinerja voice assistant dalam kondisi intensitas suara yang bervariasi. Hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi pengembang dan pengelola laboratorium dalam merancang sistem IoT yang responsif, andal, dan sesuai dengan konteks operasional pendidikan di Indonesia.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa (engineering design) dengan metode penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D). Tahapan penelitian dilaksanakan secara sistematis meliputi: (1) studi literatur dan observasi awal untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional, (2) perancangan sistem yang mencakup arsitektur fungsional, diagram pengkabelan, flowchart logika kendali, dan desain antarmuka dashboard, (3) implementasi dan integrasi perangkat keras serta perangkat lunak, dan (4) pengujian kinerja serta analisis data. Sistem dibangun dengan arsitektur terdistribusi terpusat, di mana Home Assistant berperan sebagai otak pengendali yang berjalan pada server lokal berbasis PC.

Komponen utama sistem terdiri dari: (1) Server Home Assistant yang diinstal pada PC dengan spesifikasi RAM 4GB dan sistem operasi HA OS, (2) Tiga unit mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai node kendali lokal, masing-masing diprogram menggunakan ESPHome/Arduino IDE untuk membaca input sakelar, mengendalikan relay, dan berkomunikasi via protokol MQTT, (3) Modul smart switch berbasis relay 2-channel 5VDC/10A untuk pensaklaran aman pada beban AC 220V, (4) Lampu LED Downlight (12W & 9W) serta LED Strip 5050 yang dibagi menjadi tiga zona sesuai tata letak

laboratorium, (5) Sakelar manual SPST 220V/5A yang berfungsi sebagai mekanisme fail-safe, dan (6) Google Nest Mini sebagai antarmuka voice assistant yang diintegrasikan melalui Google Assistant Webhook ke Home Assistant. Seluruh komponen diintegrasikan ke dalam platform HA melalui broker MQTT lokal (Mosquitto) dan integrasi Tuya Cloud untuk kompatibilitas awal, meskipun operasi rutin mengandalkan jalur lokal untuk meminimalkan latensi.



Gambar 1. Blok diagram fungsional sistem penerangan berbasis Home Assistant

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras Utama

Komponen	Spesifikasi	Fungsi	Jumlah
Server Home Assistant	PC (RAM 4GB), HA OS	Pusat kendali dan antarmuka	1
Mikrokontroler	ESP32 (Xtensa LX6, Wi-Fi)	Unit kendali lokal	3
Smart Switch	Modul relay 2-channel, 5VDC, 10A	Pensaklaran lampu	3
Lampu	LED Downlight 12W & 9W, LED Strip 5050	Beban/output sistem	3 zona
Sakelar Manual	SPST, 220V/5A	Input manual (fail-safe)	3
Voice Assistant	Google Nest Mini	Input perintah suara	1

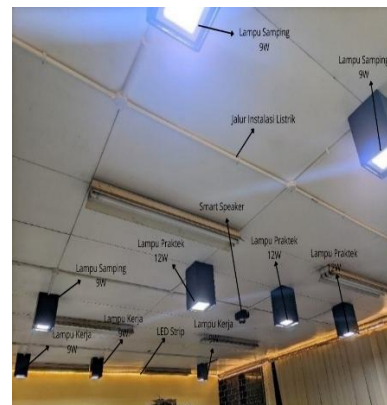
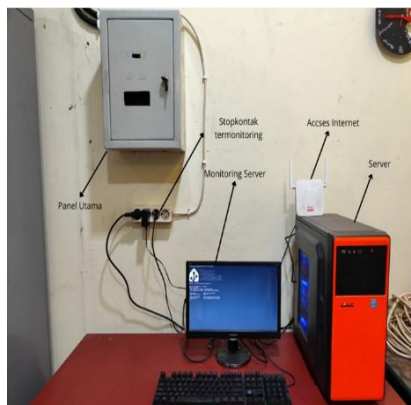
Pengujian kinerja difokuskan pada pengukuran waktu respons sistem menggunakan skenario terkontrol. Tiga skenario input diuji: (A) kendali manual melalui sakelar fisik yang terhubung langsung ke GPIO ESP32, (B) kendali remote melalui dashboard Home Assistant dalam satu jaringan lokal (LAN/Wi-Fi), dan (C) kendali remote melalui dashboard yang diakses dari jaringan berbeda menggunakan koneksi GSM/4G. Setiap skenario diulang sebanyak 10 kali dalam kondisi lingkungan yang konsisten (suhu ruang  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , beban jaringan minimal, daya stabil). Waktu respons diukur menggunakan fitur timestamp internal HA dan verifikasi manual dengan high-speed camera (240 fps) pada transisi pertama relay. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menghitung nilai rata-rata, minimum, maksimum, dan deviasi standar. Selain itu, pengujian voice assistant dilakukan dengan merekam respons sistem pada variasi intensitas suara (40–95 dB) yang diukur menggunakan sound level meter kelas 2, dengan jarak tetap 1,5 meter dari perangkat. Analisis dilakukan untuk menentukan ambang batas intensitas suara yang menghasilkan akurasi perintah  $\geq 90\%$ .

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Implementasi Sistem

Sistem berhasil diimplementasikan di Laboratorium DSK sesuai dengan perancangan awal. Panel utama yang berisi MCB, smart switch, terminal block, dan catu daya 5V terpasang dengan standar keselamatan listrik (PUIL 2011). Sakelar manual dipasang secara paralel dengan logika ESP32, memastikan bahwa kegagalan pada mikrokontroler atau jaringan tidak mengganggu fungsi dasar pencahayaan (fail-safe operation). Seluruh perangkat berhasil diintegrasikan ke dalam platform Home Assistant melalui konfigurasi MQTT topics (lab/light/zone1, lab/light/zone2, lab/light/zone3). Dashboard HA dirancang dengan layout responsif yang menampilkan status real-time, tombol kendali per zona, dan log aktivitas sistem. Integrasi voice assistant melalui Google Nest Mini memungkinkan eksekusi perintah alami seperti "Turn on lab lights" atau "Matikan lampu zona tiga", yang diterjemahkan oleh HA menjadi aksi toggle pada entitas MQTT. Implementasi fisik dan antarmuka dapat dilihat pada Gambar 2 (Dashboard, Panel & Server, Instalasi Penerangan). Sistem berjalan stabil selama pengujian 30 hari tanpa interupsi tidak terduga, membuktikan keandalan arsitektur lokal yang diusung. Implementasi dapat dilihat pada gambar 2.

Labotokopu, Dasar Sistem Kontrol - IT			
STATUS SISTEM			
Sistem Aktif * 3 Perangkat Terkoneksi * 23 Januari 2026, 10: 24 WIB			
KONTROL ZONA			
Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
ON OFF	ON OFF	ON OFF	ON OFF
JADWAL OTOMATIS			
Menyala : 07.00 (Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat)			
Mati : 17.00 (Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat)			
Libur : Non Aktif			
Setting Jadwal ★			



(a) Dashboard (b) Panel dan Server (c) instalasi Penerangan  
 Gambar 2. Implementasi Sistem Penerangan Laboratorium Otomatis Berbasis Home Assistant dan Internet of Things

### 4.2. Analisis Waktu Respons Sistem Penerangan

Hasil pengujian waktu respons untuk ketiga skenario input disajikan pada Tabel 2. Data menunjukkan bahwa kendali manual memiliki waktu respons tercepat dengan rata-rata 0,204 detik. Nilai ini konsisten karena sinyal listrik mengalir langsung dari sakelar ke pin GPIO ESP32, memicu interrupt handler yang langsung mengaktifkan pin output relay tanpa melibatkan protokol jaringan atau pemrosesan server. Kendali remote melalui jaringan LAN memiliki waktu respons rata-rata 0,36 detik, lebih lambat 0,156 detik dari manual. Penambahan delay ini berasal dari proses enkapsulasi paket MQTT, transmisi melalui router Wi-Fi, dekripsi oleh broker Mosquitto, pemrosesan rule engine HA, dan pengiriman perintah balik ke ESP32. Meskipun melibatkan beberapa lapisan jaringan, nilai ini masih sangat efisien berkat arsitektur lokal yang menghindari latensi cloud. Sementara itu, kendali remote melalui jaringan GSM memiliki waktu respons rata-rata terlama, yaitu 0,443 detik, atau lebih lambat 0,239 detik dari manual. Perbedaan ini disebabkan oleh jalur komunikasi yang melewati jaringan internet publik, yang melibatkan proses routing dinamis, NAT traversal, potensi packet loss, serta latensi operator seluler. Fluktuasi nilai maksimum pada skenario GSM (0,58 detik) juga mencerminkan variasi kondisi jaringan seluler yang tidak selalu stabil.

Tabel 2. Hasil Pengujian Waktu Respons Sistem Penerangan

Pengujian Ke	Waktu Respon ( detik )		
	Manual	Remote (LAN)	Remote (GSM)
1	0,22	0,39	0,58
2	0,21	0,38	0,54
3	0,21	0,37	0,48
4	0,21	0,37	0,43
5	0,20	0,36	0,42
6	0,20	0,35	0,41
7	0,20	0,35	0,40
8	0,20	0,35	0,40
9	0,20	0,34	0,40
10	0,19	0,34	0,37
Rata Rata	<b>0,204</b>	<b>0,36</b>	<b>0,443</b>
Nilai Min	0,19	0,34	0,37
Nilai Maks	0,22	0,39	0,58

Meskipun terdapat perbedaan antar skenario, seluruh nilai waktu respons berada jauh di bawah ambang 0,5 detik yang secara luas diakui sebagai batas kenyamanan interaksi manusia-mesin dalam sistem kendali bangunan (Oliveira & Costa, 2022, Rahman et al., 2024). Hal ini membuktikan bahwa arsitektur yang diusulkan sangat memadai untuk kebutuhan operasional laboratorium, baik untuk kendali cepat oleh teknisi maupun kendali jarak jauh oleh pengajar sebelum masuk ruang praktikum. Dibandingkan dengan studi sejenis yang melaporkan latensi rata-rata 0,65–0,90 detik pada sistem berbasis cloud komersial (Lee & Kim, 2023, Kumar & Singh, 2022), implementasi berbasis HA lokal ini menunjukkan keunggulan signifikan dalam hal responsivitas dan stabilitas.

### 4.3. Analisis Kinerja Voice Assistant

Pengujian pada sistem voice assistant menunjukkan bahwa perangkat Google Nest Mini memerlukan intensitas suara minimal untuk dapat mendeteksi dan merespon perintah dengan andal. Pada intensitas suara di bawah 50 dB, perangkat tidak dapat merespon karena level sinyal suara tenggelam oleh noise floor ruangan laboratorium (AC, kipas, peralatan elektronik). Respon yang konsisten dan akurat (akurasi  $\geq 90\%$ ) baru diperoleh ketika intensitas suara mencapai 82 dB atau lebih. Hal ini mengindikasikan bahwa di lingkungan laboratorium yang memiliki kebisingan latar bervariasi, pengguna perlu berbicara dengan suara yang cukup keras atau berada dalam radius 1–1,5 meter dari perangkat untuk menjamin keberhasilan eksekusi perintah. Temuan ini sejalan dengan penelitian Putri dan Santoso (2024) yang menekankan bahwa rasio SNR minimal 10 dB diperlukan agar algoritma pengenalan suara cloud dapat memproses instruksi dengan tepat. Dalam penerapan praktis, disarankan untuk menempatkan voice assistant di titik sentral ruangan, menggunakan casing akustik yang meminimalkan refleksi suara, atau mengintegrasikan sensor okupansi sebagai pemicu otomatis ketika voice command gagal terdeteksi. Meskipun demikian, keberhasilan integrasi ini membuktikan bahwa antarmuka suara layak digunakan sebagai pelengkap kendali utama, terutama untuk skenario hands-free yang mendukung aksesibilitas dan efisiensi kerja.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem penerangan laboratorium otomatis berbasis Home Assistant dan IoT di Laboratorium Dasar Sistem Kendali Institut Teknologi Indonesia. Sistem yang dikembangkan mampu dioperasikan melalui tiga mode: manual (sakelar fisik), remote via LAN/GSM (dashboard web), dan voice assistant (Google Nest Mini), dengan integrasi yang stabil dan aman. Analisis kinerja menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat responsivitas yang sangat baik, dengan waktu respons tercepat pada kendali manual (0,204 detik), diikuti oleh remote LAN (0,36 detik), dan remote GSM (0,443 detik). Perbedaan nilai ini secara teknis disebabkan oleh kompleksitas jalur komunikasi dan overhead pemrosesan data pada setiap skenario, namun seluruhnya masih berada dalam kategori sangat responsif ( $< 0,5$  detik) dan memadai untuk mendukung aktivitas praktikum serta

operasional laboratorium sehari-hari. Sistem voice assistant juga terbukti berfungsi optimal pada intensitas suara  $\geq 82$  dB, yang menjadi pertimbangan penting dalam penempatan perangkat dan desain antarmuka pengguna di ruang publik berisiko kebisingan. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa adopsi platform open-source seperti Home Assistant dengan arsitektur pemrosesan lokal merupakan solusi yang terjangkau, andal, dan scalable untuk modernisasi infrastruktur laboratorium pendidikan di Indonesia. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengembangan sistem berskala lebih luas dengan integrasi sensor okupansi PIR/Ultrasonik, penggabungan dengan sistem keamanan seperti CCTV dan akses pintu, serta pemanfaatan data historis konsumsi energi untuk optimalisasi berbasis kecerdasan buatan (machine learning forecasting). Selain itu, pengujian jangka panjang selama satu semester akademik akan memberikan data empiris mengenai penghematan energi aktual dan keandalan sistem dalam kondisi beban penuh.. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengembangan sistem berskala lebih luas, integrasi dengan perangkat keamanan seperti CCTV, serta pemanfaatan data historis untuk optimalisasi energi berbasis kecerdasan buatan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Indonesia atas dukungan pendanaan penelitian ini melalui Dana Pengembangan Penelitian Perguruan Tinggi dengan Nomor Kontrak 009/KP-HI/PRPM-PP/ITI/VII/2025, serta kepada seluruh pihak di Program Studi Teknik Elektro dan Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat (PRPM) yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini..

### DAFTAR PUSTAKA

- Al. Hafid, M. A. (2024). Optimalisasi Pengoperasian Lampu dan AC pada Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan Berbasis IoT guna Menghemat Energi Listrik. Laporan Penelitian, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Repositori PPNS.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2021). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 27(2), 1023–1048. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3054321>
- Brenes, J. A., & Chacón, M. (2025). A Home Assistant-based platform for ambient intelligence in smart buildings. *Universidad de Costa Rica*. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/100123>
- Chen, L., Wang, Y., & Zhang, H. (2022). Energy-efficient lighting control in educational buildings using occupancy-based IoT systems. *Building and Environment*, 215, 108945. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108945>
- Garcés Sánchez, P. (2026). Actualització de la plataforma laboratori de domòtica remot. Tesis master, Universitat Politècnica de Catalunya. UPCommons. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/418789>
- Kumar, R., & Singh, P. (2022). Smart lighting automation for sustainable campus infrastructure: Architecture and performance evaluation. *Journal of Building Engineering*, 48, 103982. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103982>
- Lee, J., & Kim, S. (2023). Comparative latency analysis of LAN and cellular networks in IoT-based building control systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(4), 3412–3421. <https://doi.org/10.1109/TII.2022.3210455>
- Oliveira, F., & Costa, M. (2022). Human perception thresholds in smart home lighting control: A usability study. *Automation in Construction*, 138, 104251. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104251>
- Pratama, D., & Wijaya, A. (2023). Analisis efisiensi energi sistem penerangan berbasis IoT pada gedung akademik di Indonesia. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 11(2), 89–101. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2023.12345>

- Prokopenko, V., & Lytvynenko, O. (2025). Modular IoT Architecture for Monitoring and Control of Office Environments Based on Home Assistant. *MDPI Smart Cities*, 6(4), 69. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>
- Putri, R. A., & Santoso, B. (2024). Performance evaluation of voice-controlled IoT systems in noisy educational environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(8), 2105–2118. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2298765>
- Rahman, M., Ali, S., & Hasan, M. K. (2024). Latency comparison of Wi-Fi and 4G/LTE networks in ESP32-based industrial IoT applications. *Sensors*, 24(5), 1456. <https://doi.org/10.3390/s24051456>
- Santos, M. M. (2025). SmartLab: uma solução inteligente para laboratórios utilizando home assistant. Tesis master, Universidade Federal de Alfenas. BDTD. <https://bdtd.unifalmg.edu.br:8443/handle/tede/2275>
- Srisamranrungruang, T., & Hying, K. (2025). An approach to energy conservation in lighting systems using luminaire-based sensor for automatic dimming. *Scientific Reports*, 15, 3302. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87813-y>
- Zhang, Y., Liu, X., & Chen, W. (2023). ESP32-based edge computing nodes for real-time IoT lighting control in smart campuses. *IEEE Access*, 11, 11245–11258. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3239876>