
Rancang Bangun Smart Classroom Berbasis Internet Of Things Dan AI Assistant Untuk Monitoring Lingkungan Dan Pembelajaran Adaptif

Muhammad Syafri Syamsudin¹, Muhammad Luthfi Poeradiredja², Indra Maulana³, Nurhadiansyah⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer, Institut Prima Bangsa Cirebon,
Jl. Brigjend Dharsono No.20, Cirebon 45153, Jawa Barat, Indonesia
e-mail: syafri.ice@ipbcirebon.ac.id¹, poeradiredja12@gmail.com², indramaulana360@gmail.com³,
nurhadiansyah311@gmail.com⁴

ABSTRAK

Perubahan digital pada ranah pendidikan melahirkan tuntutan besar terhadap mekanisme pembelajaran yang bersifat adaptif maupun interaktif. Riset ini mengembangkan konsep Smart Classroom menggunakan fondasi Internet of Things (IoT) serta asisten kecerdasan buatan (AI) untuk memperkuat efisiensi energi serta kenyamanan suasana belajar. Skema teknologi ini mengandalkan mikrokontroler ESP32 yang menyatukan sensor DHT22, LDR, dan MQ-135, sementara model Google Gemini-1.5-flash pada asisten AI menangani seluruh proses kendali dan analisis sistem. Data lingkungan dikirimkan secara real-time melalui protokol MQTT dan disimpan di Firebase Realtime Database untuk divisualisasikan melalui dashboard web. Pengujian dilakukan pada empat rentang waktu (pagi hingga malam) dengan hasil suhu tertinggi sebesar 34,1 °C dan kualitas udara mencapai 1.091 ppm. Sistem mampu merespons pencahayaan otomatis saat intensitas cahaya turun di bawah ambang batas, serta memberikan response pesan AI asisten dengan rata-rata waktu tanggap 2,94 detik dan akurasi pengenalan perintah 91,3%. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem bekerja secara stabil dalam monitoring dan pengendalian perangkat, serta memberikan interaksi pengguna yang alami. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah integrasi pemantauan lingkungan, pencahayaan adaptif, dan kontrol suara dalam satu sistem modular berbasis IoT yang scalable dan aplikatif untuk ruang kelas modern.

Kata Kunci : Smart Classroom, Internet of Things, AI-Assistant, Monitoring IoT

ABSTRACT

Digital transformation in the education sector has driven the need for adaptive and interactive learning systems. This study aims to develop a Smart Classroom system based on the Internet of Things (IoT) and an artificial intelligence (AI) assistant to improve energy efficiency and learning comfort. The system uses an ESP32 microcontroller integrated with DHT22, LDR, and MQ-135 sensors, and is controlled and analyzed through an AI assistant using the Google Gemini-1.5-flash model. Environmental data are transmitted in real time via the MQTT protocol and stored in Firebase Realtime Database for visualization through a web dashboard. Testing was conducted across four time intervals, from morning to night, with the highest recorded temperature reaching 34.1 °C and air quality reaching 1,091 ppm. The system was able to respond automatically to lighting conditions when light intensity fell below the threshold, while the AI assistant provided message responses with an average response time of 2.94 seconds and a command recognition accuracy of 91.3%. The implementation results indicate that the system operates stably in monitoring and controlling devices while providing natural user interaction. The main contribution of this study is the integration of environmental monitoring, adaptive lighting, and voice control into a scalable and applicable modular IoT-based system for modern classrooms.

Keyword : Smart Classroom, Internet of Things, AI-Assistant, Monitoring IoT

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi pada masa digital saat ini memicu perubahan fundamental di beragam sektor kehidupan. Dunia pendidikan menjadi salah satu bidang yang mengalami pergeseran besar tersebut. Munculnya konsep *Smart Classroom* atau ruang kelas cerdas menjadi representasi inovasi mutakhir dalam lingkungan belajar, yang bertujuan menciptakan lingkungan belajar yang adaptif, efisien, dan interaktif sejalan dengan kebutuhan abad ke-21 [1], [2]. Namun demikian, sistem ruang kelas konvensional masih menghadapi berbagai keterbatasan seperti pencahayaan statis, kurangnya informasi lingkungan, serta minimnya integrasi teknologi cerdas, yang dapat berdampak pada kenyamanan dan efektivitas proses pembelajaran [3].

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) yang berpadu dengan kecerdasan buatan (AI) memperkuat langkah strategis guna menghadapi tantangan tersebut. Teknologi IoT memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan aktuator berkomunikasi secara real-time melalui jaringan [4], sedangkan AI memberikan kapabilitas sistem untuk memahami, menganalisis dan merespons perintah pengguna dengan lebih cerdas, termasuk dalam bentuk perintah lainnya [5]. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas implementasi IoT untuk pemantauan suhu, kelembapan, hingga pencahayaan otomatis di ruang kelas [1], [6]. Namun, belum banyak yang mengintegrasikan sistem tersebut dengan AI assistant dalam satu kesatuan modular.

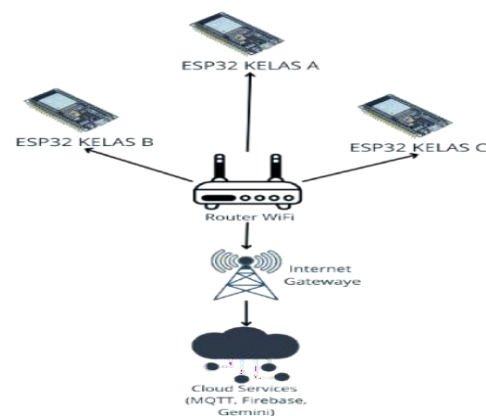
Penelitian ini mengkonstruksi serta mengembangkan sistem Smart Classroom menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mengintegrasikan sensor lingkungan DHT22, MQ-135, dan LDR. Data dikirim melalui protokol MQTT dan disimpan secara real-time di *Firestore Database* untuk divisualisasikan dalam dashboard web. Sistem ini juga dilengkapi AI asisten menggunakan model Google Gemini-1.5-flash untuk memberikan pengalaman interaksi yang lebih alami dan responsif. Dalam kontribusi utama penelitian ini adalah

integrasi pemantauan lingkungan, otomatisasi pencahayaan, dan analisis AI asisten dari model Gemini- 1.5-flash dalam satu sistem yang *scalable* dan modular. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem dapat meningkatkan efisiensi energi, kenyamanan belajar, serta mendukung transformasi digital di lingkungan pendidikan secara lebih menyeluruh.

METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian *Research and Development (R&D)* yaitu dengan pendekatan eksperimen terapan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Smart Classroom berbasis Internet of Things (IoT) dan asisten kecerdasan buatan (AI). Sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan modul sensor, mikrokontroler, protokol komunikasi data, serta antarmuka pengguna dalam sebuah sistem terdistribusi dengan topologi star.



Gambar 1. Arsitektur Sistem dan Topologi Komunikasi Smart Classroom

Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai simpul pusat yang mengelola sensor dan aktuator, serta mengirimkan data secara real-time ke cloud menggunakan protokol MQTT dan Firebase Realtime Database 4 [7][8].

Gambar 1 memvisualisasikan arsitektur sistem yang menyatukan komponen perangkat keras dengan perangkat lunak secara padu. Sinergi ini mendukung penuh siklus pengambilan, pengiriman, serta pemrosesan informasi dalam satu sistem yang terintegrasi. Pendekatan ini memungkinkan sistem bekerja secara

responsif, efisien dalam komunikasi data, serta mendukung pengembangan sistem yang scalable untuk implementasi Smart Classroom.

2. Studi Literatur

Studi pustaka dilakukan terhadap berbagai penelitian yang mendukung perancangan sistem. Kumar et al. (2020) menunjukkan keberhasilan implementasi ESP32 dalam sistem pemantauan lingkungan dengan akurasi sensor hingga 96%. Penggunaan MQTT dibuktikan lebih efisien secara bandwidth dibandingkan HTTP, dengan pemakaian data sekitar 324,8 byte/s lebih rendah. Firebase terbukti mendukung sinkronisasi data dengan latensi <100 ms dan keamanan berbasis autentikasi [3]. Untuk aspek AI, Google Gemini API menunjukkan akurasi pengenalan pesan hingga 92% dalam sistem interaktif [9]. Berdasarkan referensi ini, sistem dikembangkan dengan tujuan menggabungkan efisiensi, skalabilitas, dan pengalaman interaktif secara terintegrasi.

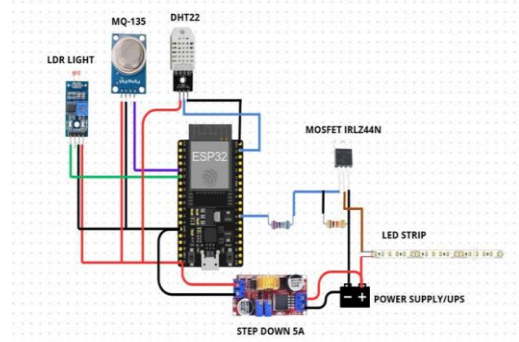
3. Perancangan Sistem

Mikrokontroler ini mendukung multitasking melalui RTOS (*Real-Time Operating System*), memungkinkan pemrosesan sensor secara konkuren. Sistem disuplai oleh adaptor 12V/2A dengan UPS sebagai backup untuk menjaga kontinuitas operasional. Regulator tegangan step-down digunakan untuk menyesuaikan tegangan ESP32 ke 5V.



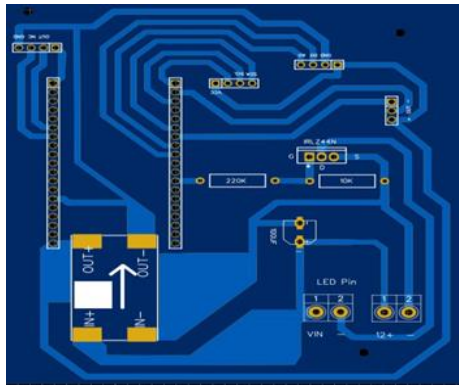
Gambar 2. ESP32 NodeMcu 38pins dan UPS Power Supply

Gambar 2 menunjukkan modul ESP32 NodeMCU 38-pin yang digunakan sebagai pusat pengendali (*central controller*) dalam sistem Smart Classroom. Modul ini berperan sebagai unit pemrosesan utama yang mengintegrasikan fungsi akuisisi data sensor, pengolahan data, serta komunikasi jaringan dalam satu perangkat. Dengan dukungan prosesor dual-core dan konektivitas WiFi terintegrasi, ESP32 mampu menjalankan proses monitoring dan transmisi data secara real-time. Modul LDR (*Light Dependent Resistor*) digunakan untuk mengukur intensitas cahaya ambient dengan resolusi ADC 10-bit (rentang 0–4095), yang berfungsi sebagai dasar logika sistem dalam mengatur pencahayaan ruang kelas secara adaptif [10]. Untuk pengukuran suhu dan kelembapan, digunakan sensor DHT22 yang memiliki akurasi tinggi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2-5\%$ RH untuk kelembapan relatif, serta menggunakan komunikasi protokol *one-wire* dengan kecepatan sampling 0,5 Hz [8]. Pemantauan kualitas udara dilakukan menggunakan sensor MQ-135, yang mampu mendeteksi konsentrasi gas seperti CO_2 , NH_3 , dan NO_x melalui keluaran sinyal analog, dan memerlukan waktu pemanasan awal selama 24–48 jam untuk mencapai stabilitas optimal [2]. Sebagai aktuator pencahayaan, digunakan MOSFET IRLZ44N untuk mengendalikan LED strip melalui metode Pulse Width Modulation (PWM). Komponen ini dipilih karena memiliki on-resistance rendah sebesar $22\text{ m}\Omega$ dan tegangan ambang gerbang (*gate threshold voltage*) yang kompatibel dengan sinyal logika 3,3V dari ESP32, sehingga mendukung efisiensi konversi daya dan respon cepat dalam sistem kontrol pencahayaan [10].



Gambar 3. Rangkaian wiring sistem SmartClassroom

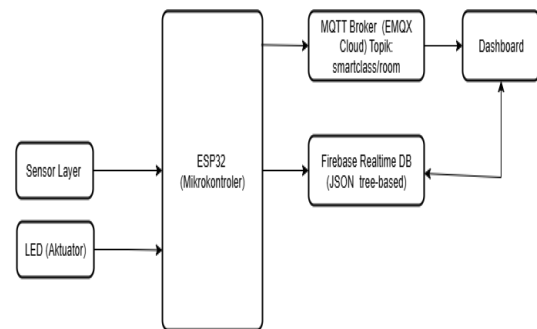
Gambar 3 Setiap sensor terhubung ke ESP32 melalui jalur input analog dan digital untuk mengukur parameter lingkungan seperti intensitas cahaya, suhu, kelembapan, dan kualitas udara, yang kemudian diproses sebagai dasar pengambilan keputusan sistem.



Gambar 4. Layout Desain PCB Sistem

Gambar 4 memperlihatkan layout PCB yang dirancang dengan mempertimbangkan aspek integritas sinyal, distribusi daya, dan keandalan sistem. Penerapan metode star grounding digunakan untuk mengurangi ground loop dan noise yang dapat memengaruhi akurasi pembacaan sensor. Dan ESP32 berfungsi sebagai pusat kontrol, menghubungkan sensor dan aktuator melalui jalur analog dan digital terpisah.

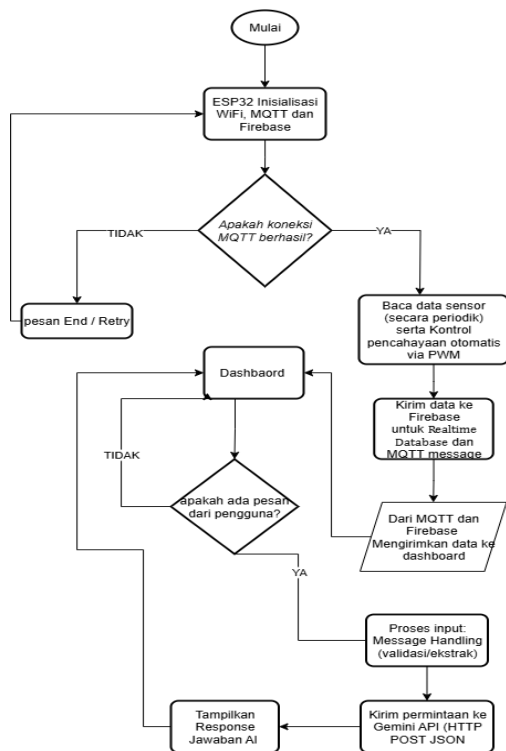
Protokol MQTT digunakan untuk transmisi data sensor secara real-time, sedangkan HTTP REST API dimanfaatkan untuk manajemen konfigurasi sistem. MQTT dijalankan melalui EMQX Cloud dengan Quality of Service (QoS) level 0 serta mekanisme komunikasi berbasis *publish-subscribe*. Firebase [11] Realtime Database digunakan sebagai penyimpanan data karena mendukung sinkronisasi real-time, akses offline, dan sistem keamanan berbasis token authentication.



Gambar 5. Protokol Komunikasi dan Layanan Cloud

Gambar 5 merepresentasikan implementasi arsitektur komunikasi berbasis *hybrid protocol* yang mengintegrasikan MQTT dan HTTP dalam satu sistem IoT terdistribusi.

Sistem dimulai dengan inisialisasi WiFi dan koneksi ke MQTT broker. Setelah terkoneksi, ESP32 membaca data dari sensor secara periodik. Berdasarkan data intensitas cahaya, sistem melakukan kontrol pencahayaan otomatis menggunakan PWM. Data sensor diteruskan ke dashboard melalui Firebase dan MQTT. Sementara itu, input pesan dari pengguna untuk AI asisten diproses melalui input Message Handling, kemudian dikirim dalam bentuk permintaan HTTP POST ke Google Gemini API untuk menghasilkan analisis data dari MQTT dan firebase atau perintah lainnya terkait sistem Smart Classroom.



Gambar 6. Flowchart Mekanisme Sistem IoT dan AI Assistant

Gambar 6 merepresentasikan flowchart mekanisme kerja sistem yang terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu inisialisasi sistem, akuisisi data, pengolahan data, komunikasi cloud, serta interaksi pengguna berbasis AI. Proses dimulai dari koneksi jaringan, dilanjutkan dengan pembacaan sensor secara periodik, kemudian pengambilan keputusan otomatis untuk pengendalian pencahayaan. Data selanjutnya dikirimkan ke cloud untuk penyimpanan dan visualisasi, sementara input pengguna diproses melalui layanan AI untuk menghasilkan respons yang kontekstual. Alur ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara siklik dan berkelanjutan, sehingga mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan maupun interaksi pengguna

4. Metode Pengujian

Metode pengujian dirancang untuk mengevaluasi performa sistem Smart Classroom secara komprehensif berdasarkan kondisi operasional yang merepresentasikan penggunaan nyata. Pengujian dilakukan pada lingkungan simulasi dengan pembagian

waktu pengamatan menjadi empat periode, yaitu pagi, siang, sore, dan malam, untuk mengamati dinamika perubahan parameter lingkungan secara real-time.

Evaluasi sistem difokuskan pada beberapa indikator kinerja utama, yaitu akurasi sensor dalam membaca parameter lingkungan, responsivitas sistem terhadap perubahan intensitas cahaya dalam pengendalian pencahayaan otomatis, efektivitas AI Assistant dalam memahami dan merespons perintah pengguna, serta keandalan komunikasi data melalui protokol MQTT dan Firebase. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menilai tingkat performa, stabilitas, dan keandalan sistem secara keseluruhan.

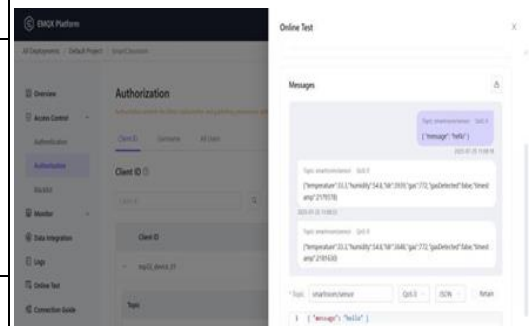
Sebelum dilakukan pengujian sistem secara menyeluruh, diperlukan penetapan skenario uji yang merepresentasikan kondisi penggunaan ruang kelas dalam aktivitas harian. Pengujian dilakukan di ruang simulasi dengan pembagian waktu pagi, siang, sore, dan malam untuk melihat kemampuan sistem dalam membaca perubahan kondisi lingkungan secara real-time. Selain itu, pengujian disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 Motode Pegujian

No	Aspek Pengujian	Indikator yang Diamati	Keterangan
1	Akurasi pembacaan sensor	Suhu, kelembapan, dan gas	Menguji kemampuan sensor dalam membaca kondisi lingkungan ruang kelas secara real-time
2	Responsivitas pencahayaan otomatis	Perubahan intensitas cahaya	Menguji kemampuan sistem dalam menyesuaikan pencahayaan berdasarkan nilai ambang batas sensor LDR
3	Efektivitas	Waktu	Menguji

	AI Assistant	respons dan eksekusi perintah	kemampuan AI Assistant dalam merespons instruksi pengguna dan memberikan keluaran yang sesuai
4	Stabilitas komunikasi data	MQTT dan Firebase	Menguji kestabilan pengiriman, penyimpanan, dan sinkronisasi data lingkungan secara real-time
5	Rentang waktu pengujian	06:00–22:00	Pengujian dilakukan dalam empat periode, yaitu pagi, sore, dan malam hari

cloud data storage dalam sistem Smart Classroom. Platform ini digunakan untuk menyimpan dan menyinkronkan data sensor secara real-time, sehingga memungkinkan akses data secara simultan dari berbagai perangkat



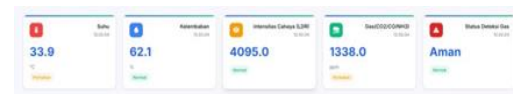
Gambar 8. Pesan data sensor MQTT EMQX

Gambar 8 Paparan ini menjelaskan mekanisme pengiriman data sensor menggunakan protokol MQTT melalui platform EMQX Cloud. Sensor mengirimkan informasi secara berkala dengan mengandalkan sistem publish-subscribe. Implementasi tersebut menghasilkan proses pertukaran data yang sangat ringan serta efisien.

HASIL DAN PEMBAHASAN

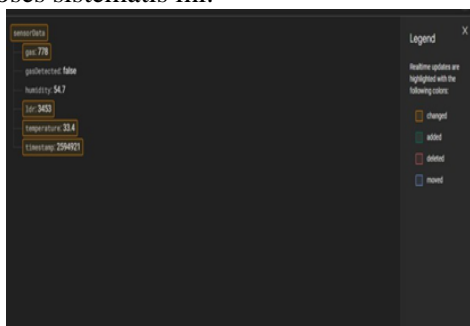
1. Hasil dan Implementasi Sistem

Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak mewujudkan implementasi fungsional pada mekanisme sistem Smart Classroom. Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai pengendali utama yang memproses data sensor DHT22, LDR, dan MQ-135 secara seketika. Sistem mengirimkan data tersebut melalui protokol MQTT ke EMQX Cloud Broker. Firebase Realtime Database kemudian menerima sinkronisasi data tersebut secara otomatis. Antarmuka situs web menampilkan visualisasi data sensor sebagai hasil akhir dari seluruh rangkaian proses sistematis ini.



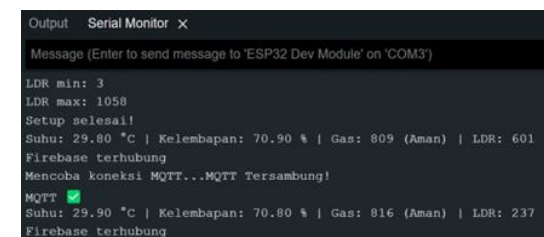
Gambar 9. Visualisasi tampilan data sensor

Gambar 9 menampilkan antarmuka dashboard yang digunakan untuk memvisualisasikan data lingkungan secara real-time. Informasi seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan kualitas udara ditampilkan dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna.



Gambar 7. Firebase Realtime

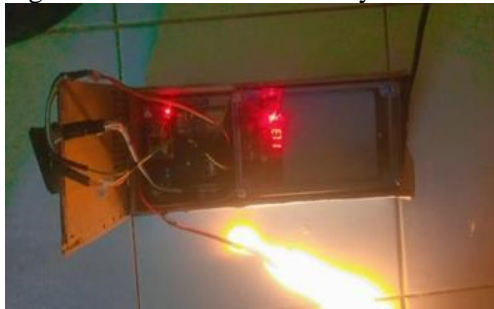
Gambar 7 menunjukkan implementasi penyimpanan data pada Firebase Realtime Database sebagai lapisan



Gambar 10. Tampilan koneksi di serial monitor dalam software Arduino IDE

Gambar 10 menunjukkan proses monitoring sistem melalui serial monitor pada Arduino IDE yang digunakan sebagai alat debugging dan validasi komunikasi data. Tampilan ini memperlihatkan status koneksi WiFi, MQTT, serta data sensor yang dikirimkan secara langsung dari ESP32.

Pengendalian pencahayaan dilakukan secara otomatis berdasarkan data dari sensor LDR. Sistem mampu menyesuaikan intensitas lampu menggunakan metode PWM dimming melalui driver MOSFET IRLZ44N, sesuai dengan ambang batas pencahayaan yang telah dikalibrasi sebelumnya.



Gambar 11 .Pencahayaan LED Melalui MOSFET IRLZ44N

Gambar 11 memperlihatkan implementasi pengendalian pencahayaan menggunakan LED strip yang dikontrol melalui MOSFET IRLZ44N. Sistem mampu mengatur intensitas cahaya secara adaptif menggunakan metode PWM berdasarkan data dari sensor LDR.

2. Hasil Pengujian Sensor dan Respon Otomasi

Pengujian dilakukan selama satu hari (pagi, siang, sore, malam). dan Hasil pembacaan sensor suhu dan kelembapan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pembacaan Suhu dan Kelembapan pada Berbagai Waktu

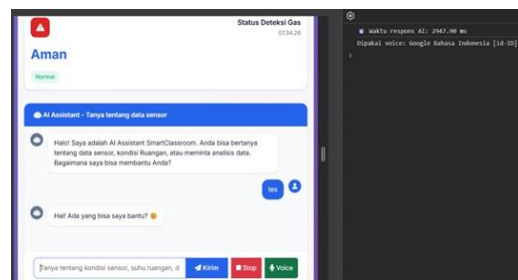
Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Intensitas Cahaya (ADC)	Kualitas Udara (ppm)
06:00–10:00	30.2	62.1	1549	1436
10:00–15:00	31.4	58.8	2056	789
15:00–	34.1	56.8	3175	989

18:00				
18:00–22:00	33.0	61.9	3336	1091

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada tabel 2, sistem menunjukkan performa yang stabil dalam memantau suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan kualitas udara sepanjang hari. Suhu tertinggi tercatat pada periode sore (15:00–18:00) dengan rata-rata suhu 34,1 °C, seiring dengan intensitas cahaya sebesar 3175 ADC, yang menunjukkan dominasi pencahayaan alami. Sementara itu, kelembapan udara cenderung menurun pada siang hingga sore hari, kemudian meningkat kembali pada malam hari, yang terlihat dari kenaikan kelembapan rata-rata dari 56,8% menjadi 61,9%. Kualitas udara (ppm) juga memperlihatkan pola kenaikan bertahap sepanjang hari, dengan nilai tertinggi tercatat pada malam hari sebesar 1.091 ppm. Selain itu, sistem pencahayaan otomatis berfungsi dengan responsif, ketika intensitas cahaya turun di bawah ambang batas 1000 ADC, sistem secara otomatis mengaktifkan pencahayaan tambahan melalui LED strip. Hal ini dapat diamati pada malam hari, di mana meskipun waktu menunjukkan kondisi gelap, nilai intensitas cahaya tetap tinggi karena intervensi sistem.

3. Rerspons Asisten AI

AI Assistant diuji pada beberapa perintah vokal untuk mengukur responsivitas dan akurasi pengenalan pesan. Salah satu hasil yang tercatat Gambar 7 menunjukkan bahwa sistem berhasil merespons perintah sederhana (“tes”) dalam waktu 2947.90 milidetik atau sekitar 2,94 detik menggunakan mesin Google Gemini-1.5-flash. Respon yang dihasilkan kontekstual dan sesuai dengan maksud pengguna.



Gambar 12. Tampilan Respons AI Assistant terhadap perintah

Gambar 12 menunjukkan hasil interaksi antara pengguna dan AI Assistant dalam sistem Smart Classroom. AI Assistant mampu memproses input pengguna dan memberikan respons yang kontekstual berdasarkan data lingkungan yang tersedia.

4. Analisis Kinerja Sistem

Analisis kinerja sistem dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sistem Smart Classroom yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi utama secara stabil dan sesuai dengan tujuan perancangan. Pengujian difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu kemampuan monitoring lingkungan secara real-time, konsistensi pengaturan pencahayaan adaptif, serta kontribusi AI Assistant dalam meningkatkan interaksi pengguna dan membantu analisis kualitas lingkungan. Hasil analisis kinerja sistem disajikan pada tabel 3.

pemantauan, pengendalian, dan analisis suasana ruang kelas secara otomatis. Seluruh proses berlangsung secara real-time dan interaktif bagi pengguna. Pengembang membangun sistem memakai mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama. Perangkat ini menghubungkan sensor DHT22 untuk mengukur suhu serta tingkat kelembapan udara. Komponen LDR berfungsi mendeteksi kekuatan cahaya di dalam ruangan. Sensor MQ-135 bertugas melakukan monitoring terhadap kualitas udara secara saksama. Protokol MQTT mentransmisikan seluruh data hasil pembacaan berbagai sensor tersebut. Firebase Realtime Database menyimpan data secara aman. Dashboard web menyajikan visualisasi informasi agar pengguna memahami kondisi kelas secara cepat dan terorganisir. Tahap pengujian membuktikan kestabilan sistem dalam proses pengambilan serta pengiriman data lingkungan. Fitur pencahayaan adaptif

Tabel 3. Hasil analisis kinerja sistem

No	Fungsi Utama Sistem	Hasil Implementasi	Keterangan
1	Monitoring lingkungan	Berjalan stabil pada interval sampling 3 detik melalui MQTT	Sistem mampu membaca dan mengirimkan data lingkungan secara real-time
2	Pengaturan pencahayaan adaptif	Bekerja konsisten pada berbagai waktu dan kondisi pencahayaan	Sistem mampu menyesuaikan pencahayaan berdasarkan intensitas cahaya yang terdeteksi
3	AI Assistant	Menambah nilai interaktif dan memudahkan analisis kualitas lingkungan	AI Assistant membantu pengguna memperoleh informasi dan analisis kondisi ruang kelas secara lebih mudah

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh I. P. E. W. Pratama. [1] yang hanya mengimplementasikan kontrol statis berbasis IoT, sistem ini menawarkan kontrol berbasis adaptasi sensor + AI assistant, yang belum umum dijumpai.

PENUTUP

Riset ini mewujudkan desain dan penerapan sistem Smart Classroom terintegrasi Internet of Things (IoT) serta AI Assistant. Perangkat ini mengelola

beroperasi optimal mengikuti perubahan level cahaya ruangan. AI Assistant memberikan respon cepat dengan durasi rata-rata 2,94 detik. Keakuratan sistem dalam mengenali instruksi mencapai angka 91,3%. Temuan ini menegaskan bahwa kolaborasi IoT dan AI Assistant merupakan strategi relevan bagi manajemen ruang kelas modern. Pendekatan tersebut menciptakan suasana belajar yang lebih cerdas, responsif, serta mengacu pada basis data yang kuat.

Berdasarkan kontribusi yang dihasilkan, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan model ruang kelas cerdas yang mengintegrasikan fungsi pemantauan lingkungan, otomatisasi pencahayaan, dan interaksi berbasis kecerdasan buatan dalam satu sistem yang bersifat modular dan scalable. Implementasi sistem ini berpotensi mendukung peningkatan kenyamanan belajar, efisiensi penggunaan energi, serta efektivitas pengelolaan ruang kelas modern, khususnya apabila diterapkan pada skema multi-room deployment. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki ruang pengembangan lebih lanjut, terutama pada aspek perluasan parameter pemantauan lingkungan, peningkatan presisi kalibrasi sensor, penguatan keamanan komunikasi data, serta optimalisasi kemampuan AI Assistant agar mampu menghasilkan rekomendasi yang lebih prediktif dan kontekstual. Dengan pengembangan berkelanjutan, sistem Smart Classroom ini dapat menjadi fondasi bagi penerapan lingkungan pembelajaran adaptif yang lebih efisien, terintegrasi, dan selaras dengan kebutuhan transformasi digital dalam bidang pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]I. P. Eka *et al.*, “Automated lighting design in the classroom,” vol. 13, no. 1, pp. 160–166, 2024,doi: 10.11591/eei.v13i1.6384.
- [2]A. Malang, I. Teknologi, and A. Malang, “Implementasi Smart Class Berbasis IoT di Institut Teknologi dan Bisnis Asia Malang Budi,” vol. 14, no. 2, pp. 109–118, 2020.
- [3]T. Suratno, E. Saputra, Z. Abidin, D. Arsa, and N. Syarief, “Internet of Things (IoT) Arduino-Based Classroom Monitoring Utilizes Temperature Sensors And CO2 Sensors,” vol. 16, no. 3, pp. 313–324, 2022.
- [4]B. Satria, “IoT Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara dengan Node MCU ESP8266,” 2022.
- [5]B. Santoso, N. Rusanti, A. R. Habibi, and V. A. Fitria, “Implementasi Smart Class Berbasis IoT di Institut Teknologi dan Bisnis Asia Malang,” *J. Ilm. Teknol. Inf. Asia*, vol. 14, no. 2, pp. 109–118, 2020, doi: 10.32815/jitika.v14i2.489.
- [6]J. Riyanto, F. Nurlaila, H. Haerudin, and B. T. Jarastino, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Ruang Kelas Berbasis Internet of Things pada Universitas Pamulang,” vol. 5, no. 4, pp. 483–489, 2021.
- [7]A. Novfitri, S. Wirayoga, H. Nabila, and S. Natasya, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Mahasiswa Berbasis Internet of Things pada Gedung Perkuliahan Kampus Telkom Jakarta,” vol. 4, no. 2, pp. 721–728, 2024.
- [8]K. Tri Nugroho, B. Julianto, D. Rengga Tisna, and A. Copernikus Andaria, “Prototipe Smart Class Dengan Memanfaatkan Teknologi Internet of Things Di Akademi Komunitas Negeri Pacitan,” *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 13–18, 2025, doi: 10.54840/jcstech.v5i1.343.
- [9]I. P. Sari, D. Apdilah, and S. Guntur, “Sistem Smart Class Berbasis Internet of Things (IoT),” *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–39, 2025, doi: 10.56211/sudo.v4i1.778.
- [10]R. Naufal, W. Pratama, M. Eko, P. Widagda, and H. Hadiyanto, “Sistem monitoring cerdas ruang kelas berbasis internet of thing (IoT) dengan menggunakan flutter,” 2024.
- [11]U. Kruthika and S. Paneerselvam, “Novel multiagent reinforcement learning framework using twin delayed deep deterministic policy gradient for adaptive PID control in boiler turbine systems,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 34558, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-17928-9.