

Rancang bangun sistem monitoring dan kontrol smart home berbasis iot dengan integrasi artificial intelligence dan antarmuka web real-time

Rafiq Al-Hariri Andriansyah

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
e-mail: *240605110178@student.uin-malang.ac.id

Kata Kunci:

Smart Home; Artificial Intelligence; Arduino Uno; Next.js; Serial Bridge

Keywords:

Smart Home; Artificial Intelligence; Arduino Uno; Next.js; Serial Bridge

ABSTRAK

Sistem Smart Home konvensional seringkali tidak fleksibel dan hanya memiliki logika on/off sederhana. Selain itu, kendala yang dibawa mikrokontroler murah seperti Arduino Uno untuk konektivitas nirkabel membuatnya sulit untuk diintegrasikan dengan antarmuka web kontemporer. Tujuan penelitian ini adalah untuk membangun sistem yang memonitor dan mengontrol perangkat rumah seperti lampu, kipas, dan pintu secara real-time. Ini akan memanfaatkan AI untuk melakukan analisis otomatis dan mengatasi keterbatasan konektivitas melalui jembatan serial komunikasi. API Large Language Model (Llama/Kolosal) sebagai otak

pemrosesan logika cerdas, Arduino Uno sebagai pengendali perangkat keras, Node.js sebagai jembatan komunikasi data serial ke web, dan Next.js sebagai antarmuka dashboard adalah semua teknik yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk menampilkan data sensor secara real-time dengan protokol Socket.io yang memiliki latensi rendah. Saat fitur asisten AI "Jarvis" mendeteksi anomali pada sensor, ia secara akurat merespons perintah suara dan melakukan tindakan perbaikan otomatis. Ketika teknologi web dan AI digabungkan dengan mikrokontroler sederhana, terbukti bahwa ini meningkatkan interaksi pengguna dan efisiensi manajemen energi dalam sistem Smart Home.

ABSTRACT

Traditional smart home systems are frequently inflexible and restricted to basic on/off logic. Additionally, integration with contemporary web interfaces is hampered by the lack of integrated wireless connectivity in low-cost microcontrollers like the Arduino Uno. Through the use of a serial bridge to overcome connectivity issues and the integration of artificial intelligence for automated analysis, this project seeks to develop a real-time monitoring and home device control system (lights, fans, doors). The Large Language Model (Llama/Kolosal) API serves as the intelligent logic processing brain, Next.js serves as the dashboard interface, Node.js serves as the serial data transmission bridge to the web, and Arduino Uno serves as the hardware controller. According to test results, the system can show sensor data in real-time with minimal latency using the Socket.io protocol. When identifying sensor anomalies, the "Jarvis" AI assistant function accurately carried out automated corrective operations (auto-fix) and successfully replied to voice requests. The combination of AI and contemporary web technologies on basic microcontrollers has been shown to improve user interaction and energy management effectiveness in Smart Home systems.

Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, adopsi Internet of Things (IoT) telah meningkat pesat, terutama dalam konsep Smart Home atau rumah pintar. Ekosistem rumah tangga memerlukan perangkat cerdas untuk keamanan dan efisiensi energi. Dalam dunia modern, kelalaian manusia sering kali membuat perangkat elektronik seperti lampu dan



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

kipas angin tidak efisien, sementara sistem keamanan seperti pintu garasi membutuhkan mekanisme pemantauan yang responsif dan real-time. Oleh karena itu, salah satu prioritas utama dalam pengembangan teknologi tepat guna adalah sistem otomasi yang dapat mengelola konsumsi energi sekaligus menjaga akses rumah aman. Meskipun demikian, kendala teknis seringkali muncul saat membangun sistem Smart Home murah. Salah satu kelemahan Arduino Uno, yang merupakan salah satu mikrokontroler yang paling populer dan murah, adalah bahwa tidak ada modul konektivitas nirkabel (WiFi atau Bluetooth) bawaan. Hal ini membuatnya sulit untuk secara langsung mengintegrasikan data sensor ke antarmuka web kontemporer tanpa menggunakan perangkat keras yang mahal. Selain itu, logika deterministik (if-else) yang kaku masih digunakan oleh sebagian besar sistem otomasi modern. Sistem konvensional ini tidak dapat memahami konteks situasi yang lebih kompleks dan hanya menanggapi pemicu sederhana. Akibatnya, interaksi antara sistem dan pengguna terasa pasif dan tidak jelas (Sinha et al., 2024).

Untuk menyelesaikan masalah tersebut, penelitian ini menawarkan solusi arsitektur Local-Hosted IoT Gateway yang menggunakan mekanisme Serial Bridge. Metode ini menggunakan lingkungan runtime Node.js sebagai middleware. Ini menghubungkan antarmuka dashboard web kontemporer berbasis Next.js ke Arduino Uno melalui USB. Metode ini memungkinkan visualisasi data sensor dan kontrol perangkat secara real-time melalui protokol WebSocket tanpa memerlukan modul WiFi tambahan pada mikrokontroler. Solusi ini menawarkan pilihan sistem yang lebih murah tetapi tetap memiliki kemampuan pengawasan yang luar biasa. Fokus utama penelitian ini adalah integrasi kecerdasan buatan generatif (Generative AI) berbasis model bahasa besar (LLM). Sistem ini menanamkan API Llama 4 Maverick via Kolosal AI, yang berfungsi sebagai "Jarvis", asisten virtual pintar. Ini membedakannya dari proyek Arduino biasa. Dengan integrasi ini, sistem dapat melakukan analisis logika adaptif (Auto-Fix) dan menerima perintah suara dalam bahasa alami. AI memiliki lebih banyak kecerdasan daripada otomasi konvensional dengan memahami konteks data sensor, seperti memutuskan untuk menutup pintu garasi secara otomatis jika terdeteksi terbuka tanpa aktivitas (Wadhvani et al., 2018).

Pembahasan

Bagian ini membahas desain sistem, pengembangan perangkat keras, dan perangkat lunak yang membentuk sistem Smart Home berbasis Internet of Things dan kecerdasan buatan (Chandramohan et al., 2017).

Perancangan Sistem (System Design)

Arsitektur Gateway Internet of Things yang dihosting secara lokal memungkinkan integrasi perangkat keras mikrokontroler dengan perangkat lunak berbasis web untuk menyelesaikan desain sistem (Saufa et al., 2025). Untuk menghubungkan data fisik ke antarmuka digital, sistem ini menggunakan komputer host sebagai jembatan atau bridge karena Arduino Uno tidak memiliki modul konektivitas nirkabel bawaan. Sistem ini mengirimkan data secara dua arah (bidirectional) melalui tahapan berikut:

1. Akuisisi Data: Sensor (DHT22, LDR, dan ultrasonic) melacak parameter lingkungan secara real-time.
2. Pemrosesan Lokal: Data mentah diproses oleh Arduino Uno menjadi satuan yang terukur dan dikemas ke dalam string JSON (JavaScript Object Notation).
3. Transmisi Serial: Protokol komunikasi serial digunakan untuk mengirimkan paket data JSON ke komputer host melalui kabel USB.
4. Distribusi Data (Bridge): Server Node.js membaca data dari port serial dan meneruskannya ke antarmuka web Next.js menggunakan protokol WebSocket (Socket.io). Ini memungkinkan pembaruan data di layar pengguna tanpa mengganti halaman.
5. Analisis AI: Ketika fitur analisis diaktifkan, data sensor dikirim ke API Llama via Kolosal. AI memproses konteks data dan mengembalikan instruksi kontrol, seperti "nyalakan lampu", yang dikirim kembali ke Arduino melalui jalur yang sama, sehingga aktuator dapat menjalankannya.

Implementasi Perangkat Keras (Hardware Implementation)

Fokus implementasi perangkat keras adalah pembuatan komponen elektronik yang kuat dan efisien. Ini adalah protokol untuk menghubungkan sensor dan aktuator ke mikrokontroler Arduino Uno menggunakan breadboard.

Tabel 1. Konfigurasi Pin Arduino Uno

Komponen	Tipe	Pin Arduino	Fungsi
Relay Module	Output Digital	Pin 7	Mengontrol Kipas Angin (Active LOW)
Motor Servo	Output PWM	Pin 8	Menggerakkan Pintu Garasi
Sensor DHT22	Input Digital	Pin 11	Membaca Suhu & Kelembapan
Sensor LDR	Input Analog	Pin A0	Membaca Intensitas Cahaya
Ultrasonic Trig	Output Digital	Pin 3	Pemicu Gelombang Suara
Ultrasonic Echo	Input Digital	Pin 2	Penerima Pantulan Suara
LED	Output Digital	Pin 13	Simulasi Lampu Utama

Manajemen Daya (Power Management)

Pemisahan sumber daya adalah komponen penting dalam pelaksanaan ini. Sensor berdaya rendah (DHT22, LDR) dan Arduino Uno mendapatkan daya dari koneksi USB (5V), tetapi beban induktif seperti Motor Servo dan Relay Kipas disuplai oleh baterai

eksternal (7.4V–9V). Ini dilakukan untuk menghindari fenomena brownout, di mana tegangan mikrokontroler turun drastis karena lonjakan arus, juga dikenal sebagai inrush current, saat motor mulai bergerak (Glória et al., 2017). Brownout dapat menyebabkan Arduino melakukan reset otomatis dan menghentikan koneksi serial. Agar sinyal data tetap memiliki referensi tegangan yang sama, skema ini menggabungkan kutub negatif (GND) baterai dengan GND umum Arduino.

Implementasi Perangkat Lunak (Software Implementation)

Pengembangan perangkat lunak dibagi menjadi tiga modul utama yang saling berkomunikasi: Firmware, Backend Bridge, dan Logika AI (Evans & Agoro, 2023).

1. Firmware Arduino

Agar sistem Arduino tetap responsif, kode programnya ditulis dengan pendekatan non-blocking. Firmware memiliki dua fungsi utama:

- a) Fungsi `parseCommand()`: Berfungsi untuk menerima string perintah dari komputer. Fungsi ini memotong karakter sampah (trim) dan menerjemahkan perintah teks, seperti "LED_ON" atau "AUTO", menjadi sinyal digital yang digunakan untuk menggerakkan aktuator.
- b) Fungsi `readSensors`: Membaca data sensor dengan satu klik dan memformatnya menjadi string JSON tunggal. Ini dilakukan karena format JSON ringan dan mudah diparse oleh aplikasi web (Nurhaeni et al., 2024).

2. Backend Server Bridge (Node.js)

Lingkungan runtime Node.js digunakan untuk membangun aplikasi sisi server, dan modul ini berfungsi sebagai penerjemah protokol dengan memanfaatkan dua library utama:

- a) Library `serialport`: Ini digunakan untuk membuka koneksi fisik ke port USB Arduino, seperti COM5, dan membaca aliran data, atau stream, baris demi baris dengan menggunakan delimiter, atau baris baru.
- b) Library `socket.io` memungkinkan Anda membuat saluran komunikasi dengan browser secara real-time. Sebaliknya, server "memancarkan" (emit) data ke frontend saat menerima data Serial. Perintah dari tombol web diterima melalui socket dan ditulis langsung ke port Serial.

3. Integrasi Kecerdasan Buatan (AI)

Fitur cerdas sistem ini menggunakan Large Language Model (LLM) Llama 4 melalui API Kolosal daripada logika if-else konvensional (Computing, 2024). Metode khusus dari Prompt Engineering digunakan untuk menerapkannya:

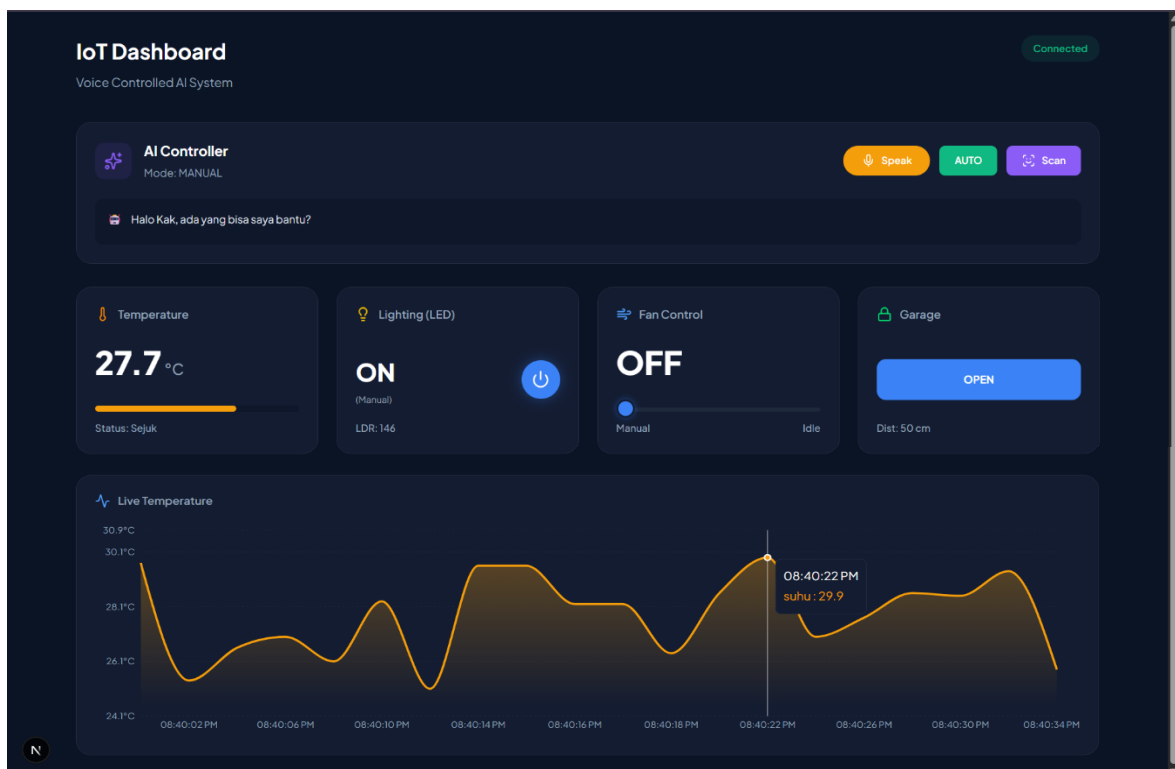
- a) **Person**: System Prompt mengajarkan AI untuk berperan sebagai "Tech Enthusiast" atau asisten yang cerdas, sopan, dan menggunakan gaya bahasa yang santai namun informatif.
- b) **Logika Auto-Fix**: Prompt dibuat untuk memaksa kecerdasan buatan untuk melakukan analisis logis. Instruksi, sebagai contoh, menyatakan, "Jika suhu > 30°C tapi kipas mati, maka nyalakan kipas."

- c) Format Output: Untuk dapat diproses oleh sistem, AI harus memberikan jawaban dalam format JSON terstruktur yang terdiri dari dua elemen: analisis (teks ucapan pengguna) dan action (perintah teknis untuk perangkat keras) (Giudici et al., 2025).

Hasil dan Analisis

Bagian ini menunjukkan evaluasi sistem Smart Home yang telah dikembangkan. Ini termasuk analisis antarmuka pengguna, kecerdasan respons AI terhadap lingkungan, dan performa teknis sistem komunikasi data (Chowdhury, n.d.). **Tampilan Dashboard (Dashboard User Interface)**

Gambar 1. Dashboard Web yang menampilkan grafik suhu dinamis dan panel kontrol aktuator.



Gambar 1 menunjukkan bagaimana data suhu sensor DHT22 divisualisasikan dengan menggunakan grafik area, yang diperbarui setiap detik tanpa mengubah halaman. Panel kontrol memiliki indikator status perangkat (Lampu, Kipas, dan Pintu) yang tersinkronisasi dengan kondisi fisik perangkat keras dan tombol switch untuk mode manual atau otomatis.

Tabel di atas menunjukkan bahwa kecerdasan buatan memiliki kemampuan Natural Language Understanding (NLU) yang baik; AI dapat memahami perintah eksplisit (nomor 1) dan implisit (nomor 2 dan 3) yang berbasis konteks.

Performa Sistem (System Performance)

Analisis performa mengutamakan latensi komunikasi data. Sistem ini menggunakan arsitektur Local Serial Bridge, yang berarti WebSocket digunakan untuk berkomunikasi melalui jalur fisik USB (Universal Serial Bus) dan jaringan lokal (localhost) (Maulana &

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem Smart Home berbasis IoT dan AI ini telah menghasilkan beberapa kesimpulan, termasuk:

1. Keberhasilan Integrasi Serial Bridge

Penelitian ini menunjukkan bahwa menerapkan arsitektur Serial Bridge dapat mengatasi keterbatasan konektivitas pada Arduino Uno (Serepas et al., 2025). Node.js memungkinkan data sensor dikirim ke antarmuka web modern melalui protokol WebSocket secara real-time tanpa memerlukan modul tambahan seperti Ethernet atau perlindungan WiFi.

2. Kecerdasan Logika Adaptif

Menggabungkan AI dengan Large Language Model (LLM) memiliki kemampuan analisis yang lebih baik daripada logika pemrograman konvensional. Sistem telah menunjukkan kemampuan untuk memahami konteks data sensor, seperti memutuskan untuk menutup pintu garasi secara otomatis saat tidak ada aktivitas, dan kemudian membuat keputusan kontrol (auto-fix) yang cerdas dan tepat (Marhoon et al., 2018).

3. Peningkatan Pengalaman Pengguna

Fitur asisten "Jarvis" dan antarmuka berbasis suara meningkatkan pengalaman pengguna (Iliev & Ilieva, 2023). Dengan menggunakan bahasa alami untuk berkomunikasi dua arah, pengendalian perangkat Smart Home menjadi lebih mudah dipahami, interaktif, dan mudah digunakan dibandingkan dengan metode kendali tombol konvensional.

Saran

Demi penyempurnaan sistem dan pengembangan penelitian lebih lanjut, penulis menyampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Migrasi ke Mikrokontroler Nirkabel

Sangat disarankan untuk menggunakan mikrokontroler yang memiliki modul WiFi terintegrasi, seperti ESP32, untuk pengembangan selanjutnya. Ini akan memungkinkan sistem beroperasi secara nirkabel sepenuhnya, menghilangkan ketergantungan pada koneksi fisik kabel USB ke komputer host serta meningkatkan fleksibilitas penempatan perangkat keras (Addas & Tahir, 2025).

2. Integrasi Basis Data (Database)

Karena sistem saat ini berfokus pada pemantauan real-time, disarankan untuk menambahkan fitur penyimpanan data menggunakan basis data (seperti MongoDB atau PostgreSQL) untuk merekam riwayat pembacaan sensor yang bertahan lama (Chandramohan et al., 2017). Hal ini akan memungkinkan pengguna untuk menganalisis pola penggunaan energi atau tren suhu secara historis.

Daftar Pustaka

- Addas, A., & Tahir, M. (2025). *Integrating generative adversarial networks with IoT for adaptive AI-powered personalized elderly care in smart homes*. February, 1–21. <https://doi.org/10.3389/frai.2025.1520592>
- Chandramohan, J., Nagarajan, R., Satheeshkumar, K., Ajithkumar, N., & Gopinath, P. A. (2017). *Intelligent Smart Home Automation and Security System Using Arduino and Wi-fi*. 6(3), 20694–20698. <https://doi.org/10.18535/ijecs/v6i3.53>
- Chowdhury, H. (n.d.). *Identifying and Addressing User-level Security Concerns in Smart Homes Using “Smaller” LLMs*.
- Computing, E. S. (2024). *Real-time Data Visualization for the IOT Application using Tableau Platform*. March.
- Evans, A. H., & Agoro, H. (2023). *Integrating Generative AI with IoT Devices for Enhanced User Experience*. August.
- Giudici, M., Sironi, A., Villa, I., Scherini, S., & Garzotto, F. (2025). *Generating HomeAssistant Automations Using an LLM-based Chatbot*.
- Glória, A., Cercas, F., & Souto, N. (2017). *ScienceDirect Design Design and and implementation implementation of of an an IoT IoT gateway gateway to to create create smart smart environments environments o*. *Procedia Computer Science*, 109, 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.343>
- Hanani, A., & Hariyadi, M. A. (2020). *Smart Home Berbasis IoT Menggunakan Suara Pada Google Assistant*. 14(1), 49–56.
- Iliev, Y., & Ilieva, G. (2023). *A Framework for Smart Home System with Voice Control Using NLP Methods*. 1–13.
- Marhoon, H. M., Mahdi, M. I., Hussein, E. D., & Ibrahim, A. R. (2018). *Designing and Implementing Applications of Smart Home Appliances*. 12(12), 8–17. <https://doi.org/10.5539/mas.v12n12p8>
- Maulana, U. I. N., & Ibrahim, M. (2025). *OPTIMALISASI CHATBOT BERBASIS ARTIFICIAL INTELEGENCE*. 12, 836–850.
- Nurhaeni, H., Delhi, A., Plane, O., Daeli, M., Anjani, S. A., Yusuf, N. A., Info, A., Optimization, E. E., Efficiency, E., & Reduction, C. E. (2024). *Optimizing Electrical Energy Use through AI : An Integrated Approach for Efficiency and Sustainability*. 2(2), 106–113.
- Raj, N. (2024). *AI-Powered Energy Consumption Optimization for Smart Homes Using IoT*. *2024 International Conference on Computational Intelligence and Computing Applications (ICCICA)*, 1, 231–236. <https://doi.org/10.1109/ICCICA60014.2024.10585239>
- Saufa, A. F., Ridwan, M. M., Mardiyanto, V., & Ratulangi, U. S. (2025). *Artificial intelligence in academic libraries: a systematic literature review of applications, challenges, and trends (2019-2025)*. 2020, 221–234.

- Serepas, F., Papias, I., Christakis, K., Dimitropoulos, N., & Marinakis, V. (2025). *Lightweight Embedded IoT Gateway for Smart Homes Based on an ESP32 Microcontroller*. 1–19.
- Sinha, P., Chaubey, S., Singh, V. P., Maurya, S., & Chaurasia, P. (2024). *Transforming Healthcare : Building an Advanced Web Application with the MERN Stack*. 2(1), 34–56.
- Wadhvani, S., Singh, U., Singh, P., & Dwivedi, S. (2018). *Smart Home Automation and Security System using Arduino and IOT*. 1357–1359.