

IMPLEMENTASI ARSITEKTUR IOT BERBIAYA RENDAH UNTUK DETEKSI REAL-TIME KUALITAS UDARA PADA HUNIAN TERDAMPAK EMISI KENDARAAN

Budi Wibowo

Teknik Informatika, Teknologi Industri, Institut Teknologi Budi Utomo
budiwibowo1993@gmail.com

Abstrak

Tingginya emisi gas buang dari kendaraan bermotor di kawasan pemukiman yang berbatasan langsung dengan jalan raya utama telah menciptakan risiko kesehatan yang signifikan bagi masyarakat. Guna merespons permasalahan tersebut, riset ini merancang sebuah arsitektur Internet of Things (IoT) yang ekonomis untuk memantau kualitas udara di dalam ruangan (Indoor Air Quality/IAQ) secara real-time. Kami menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dipadukan dengan sensor gas terjangkau seperti PM2.5 dan CO. Untuk menjaga efisiensi pengiriman data, sistem ini dibekali dengan mekanisme penyaringan data (data filtering) tepat pada edge node. Hasil pengujian melalui simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu menangkap fluktuasi polutan dengan tingkat latensi yang rendah serta akurasi yang cukup baik, terutama saat merespons dinamika emisi pada jam sibuk. Tidak hanya menyajikan data melalui dasbor berbasis cloud dan indikator visual langsung, solusi ini dirancang agar dapat diakses oleh masyarakat luas sebagai langkah preventif untuk memitigasi dampak buruk polusi. Walaupun implementasinya saat ini masih terbatas pada tahap simulasi, riset ini membuka peluang besar untuk pengembangan sistem smart home yang lebih tangguh dan solutif dalam mendukung kesehatan lingkungan di Indonesia.

Kata Kunci: IoT, Indoor Air Quality, Low-Cost, Real-time, Traffic Pollution.

1. PENDAHULUAN

Urbanisasi yang pesat telah memicu peningkatan kepadatan lalu lintas secara signifikan, terutama di kawasan hunian yang terletak tepat di sisi jalan raya utama (Li et al., 2020) (Putri, 2024). Emisi kendaraan bermotor menjadi penyumbang utama polutan berbahaya, seperti Particulate Matter (PM2.5) dan Karbon Monoksida (CO), yang dapat menembus sistem ventilasi bangunan serta menurunkan kualitas udara dalam ruangan (Indoor Air Quality atau IAQ). Mengingat masyarakat menghabiskan sekitar 90% waktunya di dalam ruangan, pemantauan IAQ menjadi krusial untuk mencegah gangguan kesehatan pernapasan jangka panjang (Puig et al., 2025). Dalam beberapa tahun terakhir, State of the Art (SotA) dalam teknologi pemantauan udara telah beralih dari stasiun pemantau statis yang mahal menuju solusi berbasis Internet of Things (IoT). Penelitian terdahulu (Amin et al., 2024) telah mendemonstrasikan keberhasilan penerapan jaringan sensor nirkabel untuk memantau parameter lingkungan di gedung perkantoran dan infrastruktur cerdas (Mh et al., 2024). Mayoritas studi yang ada saat ini berfokus pada integrasi sensor komersial dengan

platform mikrokontroler seperti Arduino atau Raspberry Pi untuk mengirimkan data ke server cloud guna visualisasi data jarak jauh. Meskipun teknologi IoT untuk pemantauan udara terus berkembang, terdapat kesenjangan signifikan dalam literatur dan implementasi saat ini. Pertama, solusi IAQ komersial berpresisi tinggi seringkali memiliki harga yang mahal, sehingga tidak terjangkau bagi rumah tangga berpenghasilan rendah hingga menengah di area padat penduduk (Gunasinghe & Tharmaseelan, 2019). Kedua, penelitian yang ada cenderung bersifat generik dan tidak dirancang secara spesifik untuk menangani dinamika fluktuasi polutan yang cepat di lingkungan pinggir jalan, di mana lonjakan polusi terjadi secara real-time sesuai dengan jam sibuk lalu lintas (Rozaq & Dwi, 2023). Ketiga, arsitektur IoT berbiaya rendah yang ada saat ini seringkali mengalami kendala latensi dan kehilangan data (data loss) ketika melakukan transmisi data berkelanjutan dalam interval pendek (Bonaventura et al., 2025). Penelitian ini memperkenalkan kebaruan (novelty) melalui pengembangan arsitektur IoT yang dioptimalkan secara khusus untuk karakteristik hunian di pinggir jalan dengan

biaya implementasi yang rendah. Berbeda dengan pendekatan sebelumnya, sistem ini mengintegrasikan mekanisme penyaringan data (data filtering) pada edge node untuk meningkatkan efisiensi transmisi, serta kalibrasi berbasis regresi sederhana untuk meningkatkan akurasi sensor berbiaya rendah terhadap pola emisi kendaraan tertentu (Castor et al., 2024). Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan utama dari penelitian ini adalah: Merancang arsitektur sistem IoT berbiaya rendah yang mampu memantau parameter IAQ (PM2.5, CO, suhu, dan kelembapan) secara real-time (Martins et al., 2024). Mengimplementasikan prototipe perangkat keras yang tangguh terhadap gangguan lingkungan yang lazim terjadi di perumahan pinggir jalan. Mengevaluasi performa sistem terkait latensi transmisi data, stabilitas koneksi, dan akurasi pembacaan sensor dibandingkan dengan instrumen standar selama puncak kepadatan lalu lintas (Wibowo, n.d.).

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental teknik yang berfokus pada perancangan, pembuatan prototipe, dan pengujian sistem IoT berbiaya rendah. Metodologi penelitian terbagi ke dalam empat tahapan utama, yakni perancangan arsitektur sistem, pemilihan perangkat keras, implementasi perangkat lunak, serta akuisisi data lapangan di lingkungan hunian tepi jalan raya.

2.1. Sistem Arsitektur

Arsitektur yang diusulkan mengikuti model IoT tiga lapis (three-tier) yang mencakup Perception Layer, Network Layer, dan Application Layer. Perception Layer terdiri dari mikrokontroler yang terintegrasi dengan sensor lingkungan untuk menangkap data mentah polutan (PM2.5, CO), suhu, dan kelembapan. Network Layer menggunakan konektivitas Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) untuk transmisi paket data dari edge node ke server cloud. Terakhir, Application Layer berfungsi sebagai dasbor berbasis cloud untuk pemrosesan dan visualisasi data IAQ secara real-time.

2.2. Perancangan dan Implementasi Perangkat Keras

Pemilihan komponen memprioritaskan ketersediaan dan nilai ekonomis. ESP32 DevKit V1 dipilih sebagai unit pemrosesan utama karena arsitektur dual-core, konektivitas Wi-Fi/Bluetooth terintegrasi, dan konsumsi daya rendah. Untuk deteksi polutan, sensor PMS5003 digunakan untuk mengukur PM2.5 berdasarkan teori hamburan laser, sementara sensor MQ-135 atau MQ-7 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas CO. Selain itu, DHT22 diintegrasikan untuk memantau suhu dan kelembapan ambien. Sistem ini juga dilengkapi dengan LCD 16x2 berbasis I2C sebagai antarmuka visual lokal dan LED sebagai indikator tingkat kualitas udara (Choudhary et al., 2025; Harkai, 2024).



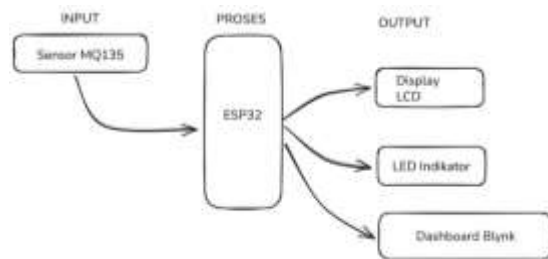
Gambar 1 sensor MQ-135
Sumber: Penelitian mandiri

2.3. Perangkat Lunak dan Protokol Komunikasi

Firmware dikembangkan menggunakan bahasa C++ dalam lingkungan *Arduino IDE*. Protokol *MQTT* (*Message Queuing Telemetry Transport*) dipilih untuk transmisi data karena *header* yang ringan dan penggunaan *bandwidth* yang efisien. Alur data dimulai dengan akuisisi sensor setiap 5 detik. *ESP32* menerapkan filter *moving average* untuk meredam *noise* sebelum data diserialisasi ke format *JSON* dan dipublikasikan ke *MQTT Broker* (Mendoza et al., 2025).

2.4. Diagram Alir

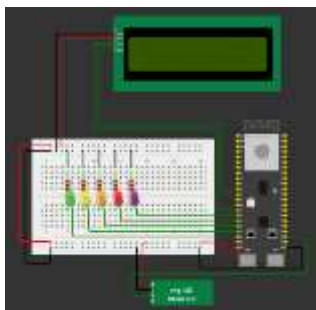
Pada gambar dibawah ini merupakan blok diagram pada penelitian yang memperlihatkan sensor MQ135 yang kemudian di proses oleh ESP32 sehingga dapat menghasilkan keluaran yang di tampilkan pada LCD, LED indikator dan Dashboard pada Blynk.



Gambar 2. Gambar Proses sistem bekerja
Sumber: Penelitian mandiri

2.5. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan melalui dua skenario: Uji Reliabilitas: Mengukur tingkat kehilangan paket (packet loss) dan latensi selama jam sibuk (07.00–09.00 dan 16.00–18.00) dibandingkan dengan jam tidak sibuk. Uji Sensitivitas: Mengkorelasikan pembacaan sensor dengan observasi visual tingkat kemacetan lalu lintas untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam mendeteksi lonjakan polusi akibat kemacetan. Skema rangkaian elektronika dan blok diagram sistem (sebagaimana terlihat pada Gambar 3) menunjukkan integrasi sensor MQ-135 sebagai input, ESP32 sebagai prosesor, serta LCD, LED, dan dasbor Blynk sebagai unit output sistem.



Gambar 3. Skema Rangkaian
Sumber: Penelitian mandiri

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan melalui simulasi pada platform Wokwi untuk memvalidasi alur kerja hardware dan software.

3.1 Pengujian Sensor

Pengujian bertujuan untuk menilai sensitivitas sensor dalam merespons perubahan konsentrasi gas secara real-time. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Pengujian Pembacaan Sensor MQ135

No.	Nilai ADC (Analog)	Estimasi Konsentrasi Gas (ppm)	Kategori Kualitas Udara	Kondisi Simulasi	Keterangan
1	75	10 ppm	Sangat Baik	Startup Sensor	Sensor awal aktif
2	315	77 ppm	Baik	Udara Bersih	Normal, belum ada polusi
3	692	169 ppm	Tidak Sehat	Simulasi Polusi 1	Kendaraan ramai (pagi)
4	463	113 ppm	Sedang	Polusi Menurun	Mulai berkurang, emisi masih ada
5	401	98 ppm	Baik	Stabilisasi	Udara kembali relatif normal
6	635	155 ppm	Tidak Sehat	Simulasi Polusi 2	Jam sibuk sore, simulasi polusi meningkat
7	520	127 ppm	Sedang	Polusi Menurun Lagi	Emisi perlahan turun
8	344	84 ppm	Baik	Udara Bersih Kembali	Udara stabil, malam hari

Sumber: Penelitian mandiri

3.2 Pengujian Antarmuka dan Indikator

Pengujian dilakukan pada LCD 16x2, indikator LED, dan dasbor Blynk. Indikator LED diklasifikasikan berdasarkan rentang konsentrasi gas yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Tingkat Kualitas Udara

Warna LED	Kategori	Rentang ppm
Hijau	Sangat Baik	0 – 50 ppm
Kuning	Baik	51 – 100 ppm
Orange	Sedang	101 – 150 ppm
Merah	Tidak Sehat	151 – 200 ppm
Ungu	Sangat Buruk	> 200 ppm

Sumber: Penelitian mandiri

Selama pengujian, sistem secara otomatis membaca data dari sensor MQ-135, mengonversi nilai analog menjadi estimasi ppm, dan menyalakan satu LED sesuai dengan kategori hasil pembacaan.

3.3 Pengujian Dashboard Blynk

Dashboard Blynk yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna jarak jauh (remote user interface) untuk memantau kualitas udara dalam rumah secara real-time. Aplikasi Blynk dipilih karena mendukung koneksi dengan mikrokontroler ESP32 melalui jaringan Wi-Fi serta menyediakan widget visual yang mudah dikonfigurasi.



Gambar 4 Tampilan Dashboard pada aplikasi Blynk
Sumber: Penelitian mandiri

Hasil pengujian menunjukkan bahwa

- 1) Dashboard Blynk mampu menerima dan menampilkan data dari sensor secara real-time dan konsisten.
- 2) Kategori kualitas udara tampil sesuai logika sistem, identik dengan yang ditampilkan pada LCD fisik.

Dengan demikian, integrasi dashboard Blynk dalam sistem ini berhasil meningkatkan kemudahan akses informasi bagi pengguna, memungkinkan pemantauan kualitas udara dari mana saja hanya melalui smartphone.

3.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sistem IoT yang dirancang menunjukkan kinerja yang konsisten dalam memantau kualitas udara. Sensor MQ-135 mampu merespons perubahan konsentrasi gas dengan linearitas yang cukup baik terhadap nilai ADC yang terbaca oleh ESP32. Integrasi LCD 16x2 melalui komunikasi I2C terbukti efektif dalam menyajikan data real-time tanpa adanya delay yang berarti, yang menunjukkan efisiensi dalam pengiriman data serial. Pada sisi indikator, penggunaan lima buah LED memudahkan pengguna dalam menginterpretasikan tingkat kualitas udara secara visual tanpa harus membaca angka ppm secara mendetail. Pengujian pada dasbor Blynk juga membuktikan bahwa integrasi cloud berjalan dengan baik; data yang tampil pada dasbor smartphone identik dengan apa yang muncul pada LCD fisik, memastikan bahwa sistem memiliki sinkronisasi yang tinggi antara edge node dan application layer. Secara keseluruhan, sistem telah memenuhi tujuan awal penelitian yaitu memberikan sistem peringatan dini bagi penghuni rumah di area pinggir jalan. Meskipun pengujian saat ini masih menggunakan simulasi Wokwi, hasil ini memberikan fondasi teknis yang kuat bahwa arsitektur ESP32 yang dikembangkan mampu menangani beban data untuk

pemantauan lingkungan berkelanjutan. Langkah selanjutnya yang diperlukan adalah kalibrasi langsung dengan sensor standar di lapangan untuk mengompensasi pengaruh suhu dan kelembapan lingkungan nyata terhadap akurasi sensor MQ-135.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dan sensor MQ-135 terbukti efektif dalam memberikan informasi real-time mengenai tingkat polusi udara pada hunian di tepi jalan raya. Sistem ini mampu mengonversi data analog sensor menjadi estimasi ppm dan mengklasifikasikannya ke dalam lima kategori kualitas udara: Sangat Baik, Baik, Sedang, Tidak Sehat, dan Sangat Buruk. Integrasi LCD 16x2, indikator LED, serta dasbor Blynk telah berhasil memfasilitasi pemantauan baik secara lokal maupun jarak jauh melalui perangkat seluler. Hasil simulasi pada platform Wokwi menunjukkan bahwa sistem mampu merespons fluktuasi polusi secara cepat, akurat, dan konsisten, sekaligus meningkatkan kesadaran pengguna terkait kesehatan lingkungan smart home. Pengujian lapangan mendatang akan difokuskan pada optimalisasi kalibrasi sensor dan stabilitas sistem agar solusi ini dapat diimplementasikan secara praktis sebagai perangkat pemantau kualitas udara yang tangguh di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, A., Wang, X., Guoxiang, S., Shi, Y., Ndumiaassan, J. N., & Okasha, M. (2024). Design And Experimentation of a Solar-Powered Robot for Cleaning the Greenhouse Roofs. *Results In Engineering*, 23(July), 102602. <https://doi.org/10.1016/J.Rineng.2024.102602>
- Bonaventura, D., Esposito, S., & Bella, G. (2025). A Case of Smart Devices That Compromise Home Cybersecurity. *Computers And Security*, 151. <https://doi.org/10.1016/J.Cose.2024.104286>
- Castor, P. R. P., Nabua, M. A., Bokingito, P. B., Alce, A. R. B., & Galido, A. P. (2024). Design And Development of A University

- Outdoor Air Quality Monitoring System. *Procedia Computer Science*, 234, 1697–1704.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.175>
- Choudhary, V., Guha, P., Pau, G., & Mishra, S. (2025). An Overview of Smart Agriculture Using Internet of Things (Iot) And Web Services. *Environmental And Sustainability Indicators*, 26(January), 100607.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100607>
- Gunasinghe, A., & Tharmaseelan, J. (2019). Smart Water Dispenser. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 4(4).
<https://www.researchgate.net/publication/348832527>
- Harkai, A. (2024). Managing Cyber-Security Risks Associated with Iot Devices for Conducting Financial Transactions Within the Smart Home Ecosystem. *Procedia Computer Science*, 242, 200–210.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.08.260>
- Hermawan, S., Rahmawati, S., Aditia, Q., Wibowo, B., & Yuswanto, A. (2023). Designing A Water Temperature Control and Monitoring System for Vaname Shrimp Cultivation Based On The Internet Of Things (Iot). *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, 1(1), 14-17.
- Li, Z., Yano, A., & Yoshioka, H. (2020). Feasibility Study of A Blind-Type Photovoltaic Roof-Shade System Designed For Simultaneous Production Of Crops And Electricity In A Greenhouse. *Applied Energy*, 279, 115853.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115853>
- Martins, P., Ramos, A., Pina, E., Vaz, P., Silva, J., & Abbasi, M. (2024). Smart Building Control: An Android Application for Enhanced Monitoring And Management In The Internet Of Things Era. *Procedia Computer Science*, 238(2019), 594–601.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.066>
- Mendoza, A. P., Chávez, J. L. C., & Mendoza, R. T. (2025). Applications And Methodologies of Internet of Things In Warehouses And Inventory Management: A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*, 253, 1236–1245.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.185>
- Mh, M., Jakarta, T., Agustino, R., Saputro, M. I., Gustiawan, H., & Sakaria, M. A. (2024). *Inovasi Pengelolaan Sampah : Tempat Sampah Pintar Berbasis Iot Di Penerapan It Dalam Pengelolaan Sampah . Tempat Sampah Ini Dapat Mendeteksi Tingkat Museum, Tetapi Juga Bagi Pengunjung Dan Lingkungan. Pengunjung Akan Mendapatkan*. 10(1), 309–325.
- Permana, R., Yuswanto, A., & Wibowo, B. (2023). A Nodemcu Internet Of Things-Based Fire Automation Design with Blynk Apps Notifications. *Teknokom*, 6(1), 14-19.
- Puig, F., Garcia-Vila, M., Soriano, M. A., & Rodríguez-Díaz, J. A. (2025). Aquacrop-Iot: A Smart Irrigation Platform Integrating Real-Time Images And Weather Forecasting. *Computers And Electronics In Agriculture*, 235(April), 110372.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110372>
- Putri, N. A. Z. (2024). *Sistem Pendeteksi Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet Of Things (Iot)*. 5(1), 9–17.
- Rozaq, I. A., & Dwi, N. Y. (2023). Pengembangan Tempat Sampah Otomatis Berbasis Internet of Things (Iot) Untuk Pengelolaan Sampah Logam Dan Non-Logam. *Jeecom Journal of Electrical Engineering and Computer*, 5(2), 250–257.
<https://doi.org/10.33650/Jeecom.V5i2.6908>
- Wibowo, B., & Alaydrus, M. (2019, October). Smart Home Security Analysis Using Arduino Based Virtual Private Network. In *2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (Icic)* (Pp. 1-4). Ieee.
- Wibowo, B., & Yuswanto, A. (2023). The Early Detection of Lpg Gas Cylinder Leaks In Households Based on The Internet Of Things With Sms Message Notifications. *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, 1(1), 1-4.