



Smart Home Resilien Berbasis Edge Computing untuk Sistem IoT Arus Lemah Menggunakan Protokol MQTT

Juli Aldianto¹, Ahmad Albar², Tata Sutabri³

Universitas Bina Darma ^{1,2,3}

e-mail: julialdianto58@gmail.com

Abstract

Conventional smart home systems are highly dependent on internet connectivity, which often leads to functional failures when network disruptions occur. This study develops a resilient smart home system based on edge computing using the MQTT protocol and low-power IoT devices (ESP32). Data processing is performed locally at the edge node, allowing the system to continue operating even during complete internet outages. The research method employed is experimental testing under three network conditions: stable internet, unstable network, and total internet disconnection. The evaluated parameters include system resilience, communication latency, functional reliability, and power consumption. The experimental results demonstrate that the edge-based system maintains 92–100% operational functionality during internet outages, achieves low latency of 20–40 ms, and consumes a maximum power of only 0.17 W. These findings confirm that the integration of edge computing and MQTT is an effective approach for improving reliability, energy efficiency, and operational stability in low-power smart home systems.

Keywords: Smart Home, Edge Computing, MQTT, IoT, Low-Power, Resilience.

Abstrak

Ketergantungan sistem smart home terhadap layanan berbasis cloud menyebabkan penurunan keandalan ketika koneksi internet mengalami gangguan. Kondisi ini umum terjadi di Indonesia yang memiliki kualitas jaringan yang belum merata. Penelitian ini mengusulkan dan merealisasikan sistem smart home resilien berbasis edge computing dengan memanfaatkan protokol komunikasi MQTT dan perangkat IoT arus lemah berbasis ESP32. Seluruh proses pengolahan data sensor dan pengambilan keputusan dilakukan secara lokal pada edge node, sehingga sistem tetap beroperasi meskipun akses internet terputus. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan skenario pengujian koneksi normal, koneksi tidak stabil, dan kondisi tanpa internet. Parameter yang diuji meliputi tingkat keberhasilan fungsi sistem, latensi komunikasi, serta konsumsi daya perangkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan fungsi operasional sebesar 92–100% pada kondisi tanpa internet, dengan latensi rata-rata 20–40 ms dan konsumsi daya maksimum sebesar 0,17 W. Hasil ini membuktikan bahwa pendekatan edge computing dan MQTT sangat sesuai untuk implementasi smart home arus lemah yang andal, hemat energi, dan layak diterapkan pada lingkungan nyata.

Kata Kunci: Smart Home, Edge Computing, MQTT, IoT, Arus Lemah, Resiliensi.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong penerapan sistem smart home untuk meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi energi pada hunian modern. Sistem smart home memungkinkan berbagai perangkat elektronik saling terhubung dan dikendalikan secara otomatis melalui jaringan internet. Namun, sebagian besar sistem smart home yang ada saat ini masih sangat bergantung pada layanan cloud sebagai pusat pemrosesan data. Ketergantungan terhadap cloud menyebabkan beberapa permasalahan, antara lain latensi yang tinggi, risiko gangguan layanan ketika koneksi internet tidak stabil, serta isu keamanan dan privasi data. Kondisi ini menjadi semakin kritis di wilayah dengan infrastruktur jaringan yang terbatas, seperti banyak daerah di Indonesia. Pada situasi tersebut, sistem smart home berbasis cloud sering kali tidak dapat berfungsi secara optimal.

Edge computing muncul sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan memindahkan proses komputasi dari cloud ke perangkat lokal (edge node). Dengan pendekatan ini, data dapat diproses langsung di dekat sumbernya, sehingga mengurangi latensi, meningkatkan keandalan, dan menjaga privasi data. Selain itu, penggunaan protokol komunikasi ringan seperti MQTT sangat sesuai untuk sistem IoT low-power yang umum dipelajari dalam bidang Teknik Elektro Arus Lemah. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem smart home resilien berbasis edge computing menggunakan MQTT dan ESP32, serta menganalisis kinerjanya dari sisi resiliensi, latensi, dan konsumsi daya.

Smart Home

Smart home adalah sistem otomasi rumah yang mengintegrasikan sensor, aktuator, dan pengendali untuk memonitor serta mengendalikan perangkat elektronik secara otomatis. Sistem ini umumnya digunakan untuk pengaturan pencahayaan, keamanan, dan pemantauan lingkungan.

Internet of Things (IoT)

IoT merupakan konsep di mana objek fisik dilengkapi dengan kemampuan komunikasi sehingga dapat bertukar data melalui jaringan. Mikrokontroler ESP32 banyak digunakan dalam sistem IoT karena memiliki modul WiFi terintegrasi dan konsumsi daya yang rendah.

Edge Computing

Edge computing adalah paradigma komputasi terdistribusi yang memproses data di dekat sumber data. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan terhadap cloud, menurunkan latensi, dan meningkatkan keandalan sistem.

Protokol MQTT

MQTT merupakan protokol komunikasi berbasis publish-subscribe yang ringan dan efisien. MQTT sangat cocok digunakan pada sistem IoT dengan keterbatasan bandwidth dan daya.

IoT Low-Power

Sistem IoT low-power dirancang untuk mengonsumsi daya minimal sehingga dapat beroperasi dalam jangka waktu lama. ESP32 merupakan salah satu perangkat yang mendukung konsep ini dan relevan dengan bidang teknik elektro arus lemah.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan membangun prototipe sistem smart home dan melakukan pengujian kinerja secara langsung.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. ESP32 Devkit V1 (2 unit)
2. Sensor DHT22
3. Sensor PIR
4. Modul relay 5V
5. Router WiFi
6. Laptop sebagai MQTT broker
7. Catu daya 5V

Arsitektur Sistem

Sistem terdiri dari sensor dan aktuator berbasis ESP32 yang terhubung ke MQTT broker lokal sebagai edge node. Dashboard monitoring digunakan untuk mengamati dan mengendalikan sistem.

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, pemrograman ESP32, konfigurasi MQTT broker, pengujian sistem, serta analisis data hasil pengujian.

PEMBAHASAN

Skenario Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja smart home resilien berbasis edge computing dalam kondisi nyata. Pengujian dibagi menjadi tiga skenario utama, yaitu: (1) kondisi jaringan internet stabil, (2) kondisi jaringan tidak stabil (delay dan packet loss), dan (3) kondisi pemutusan internet secara total. Parameter yang diukur meliputi keberhasilan fungsi sistem, latensi

komunikasi MQTT, waktu respon aktuator, keandalan sensor, serta konsumsi daya perangkat.

Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan seluruh modul bekerja sesuai perancangan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1
Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Sensor DHT22	Pembacaan suhu & kelembapan	Berhasil (100%)	Data stabil
Sensor PIR	Deteksi gerakan	Berhasil (100%)	Respon <1 detik
Relay	ON/OFF lampu	Berhasil (100%)	Tanpa error
MQTT Edge	Publish-Subscribe	Berhasil (100%)	QoS 1
Dashboard	Monitoring & kontrol	Berhasil (100%)	Real-time

Sumber: Data primer, 2025

Hasil Pengujian Resiliensi Sistem

Pengujian resiliensi dilakukan dengan membandingkan sistem berbasis edge computing dan sistem berbasis cloud murni. Hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2
Perbandingan Resiliensi Sistem

Kondisi Jaringan	Edge Computing	Cloud Computing
Internet stabil	100% fungsi aktif	100% fungsi aktif
Internet tidak stabil	95% fungsi aktif	55% fungsi aktif
Internet terputus	92% fungsi aktif	20% fungsi aktif

Sumber: Data primer, 2025

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berbasis edge mampu mempertahankan sebagian besar fungsi utama meskipun koneksi internet tidak tersedia.

Hasil Pengujian Latensi Komunikasi

Latensi diukur dari waktu pengiriman perintah hingga aktuator merespon. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali percobaan.

Tabel 3
Hasil Pengujian Latensi MQTT

Sistem	Latensi Minimum (ms)	Latensi Maksimum (ms)	Rata-rata (ms)
Edge Computing	20	40	28
Cloud Computing	150	350	240

Sumber: Data primer, 2025

Pengujian membuktikan bahwa pemrosesan lokal pada edge node mampu menurunkan latensi secara signifikan.

Hasil Pengujian Konsumsi Daya

Konsumsi daya ESP32 diukur menggunakan USB power meter selama sistem beroperasi.

Tabel 4
Konsumsi Daya ESP32

Mode Operasi	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Idle	5.0	0.024	0.12
Publish MQTT	5.0	0.030	0.15
Aktif penuh	5.0	0.034	0.17

Sumber: Data primer, 2025

Hasil ini menunjukkan bahwa ESP32 sangat efisien untuk sistem IoT arus lemah.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan secara menyeluruh, sistem smart home resilien yang mengadopsi pendekatan edge computing terbukti mampu memberikan kinerja yang jauh lebih unggul dibandingkan dengan sistem yang sepenuhnya bergantung pada cloud computing. Keunggulan ini terlihat jelas ketika sistem dihadapkan pada kondisi jaringan yang tidak stabil, seperti latensi tinggi, gangguan konektivitas, atau bahkan pemutusan jaringan sementara. Dalam situasi tersebut, sistem berbasis edge tetap mampu menjalankan fungsi-fungsi utama smart home seperti pengendalian perangkat, pemantauan sensor, dan otomatisasi dengan tingkat keberhasilan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pemrosesan data secara lokal pada sisi edge mampu mengurangi ketergantungan terhadap koneksi internet yang kontinu, sehingga meningkatkan keandalan dan ketahanan sistem secara signifikan.

Penerapan edge computing memungkinkan data dari berbagai sensor dan perangkat IoT diproses langsung di dekat sumber data, tanpa harus selalu dikirimkan ke server cloud yang berjarak jauh. Pendekatan ini tidak hanya meminimalkan potensi kegagalan akibat gangguan jaringan, tetapi juga mempercepat proses pengambilan keputusan sistem. Kecepatan respon merupakan faktor krusial yang sangat memengaruhi kenyamanan dan pengalaman pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa latensi pada sistem berbasis edge jauh lebih rendah dibandingkan sistem cloud murni, terutama saat jaringan berada dalam kondisi buruk. Respon yang lebih cepat ini membuat pengguna dapat merasakan kontrol yang lebih instan terhadap perangkat rumah pintar, seperti lampu, pendingin ruangan, sistem keamanan, dan perangkat otomatis lainnya.

Sistem smart home berbasis edge computing juga menunjukkan efisiensi energi yang lebih baik. Pengolahan data secara lokal mengurangi kebutuhan komunikasi data secara terus-menerus dengan server cloud, yang pada akhirnya menekan konsumsi daya perangkat. Hasil pengukuran konsumsi energi membuktikan bahwa sistem ini dapat beroperasi dengan daya yang

relatif kecil, sehingga sangat cocok diterapkan pada perangkat low-power seperti mikrokontroler ESP32 atau perangkat IoT serupa. Efisiensi energi ini menjadi nilai tambah yang penting, terutama untuk implementasi jangka panjang yang mengandalkan sumber daya terbatas, seperti baterai atau sistem energi terbarukan.

Keunggulan lain yang tidak kalah penting adalah peningkatan aspek resilien atau ketahanan sistem secara keseluruhan. Sistem smart home tetap dapat menjalankan fungsi esensial meskipun koneksi ke cloud terputus sepenuhnya. Misalnya, sistem keamanan rumah tetap dapat mendeteksi pergerakan, mengaktifkan alarm, atau mengunci pintu secara otomatis tanpa menunggu respon dari server eksternal. Kondisi ini memberikan rasa aman yang lebih tinggi bagi pengguna, karena sistem tidak sepenuhnya lumpuh akibat permasalahan jaringan. Edge computing berperan sebagai lapisan kecerdasan lokal yang menjamin kontinuitas layanan.

Integrasi edge computing juga memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam pengembangan dan pemeliharaan smart home. Beban pemrosesan yang sebelumnya terpusat di cloud dapat didistribusikan ke perangkat edge, sehingga mengurangi beban server dan potensi bottleneck. Selain itu, pendekatan ini memungkinkan pengembang untuk merancang sistem yang lebih modular dan skalabel, di mana penambahan perangkat baru tidak secara langsung membebani infrastruktur cloud. Sistem dapat berkembang secara bertahap sesuai kebutuhan pengguna tanpa mengorbankan performa. Hasil pengujian membuktikan bahwa penerapan edge computing pada sistem smart home tidak hanya meningkatkan performa teknis, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap kenyamanan pengguna, efisiensi energi, dan keandalan operasional. Kombinasi latensi rendah, tingkat keberhasilan fungsi yang tinggi pada kondisi jaringan buruk, serta konsumsi daya yang minimal menjadikan sistem smart home resilien berbasis edge computing sebagai solusi yang sangat menjanjikan untuk implementasi masa kini dan masa depan. Sistem ini layak dijadikan fondasi utama dalam pengembangan smart home yang adaptif, hemat energi, dan mampu beroperasi secara andal dalam berbagai kondisi lingkungan dan jaringan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem smart home resilien berbasis edge computing menggunakan protokol MQTT dan perangkat IoT low-power ESP32 yang sesuai dengan karakteristik Teknik Elektro Arus Lemah. Sistem dirancang untuk mengurangi ketergantungan terhadap layanan cloud dengan memindahkan proses pemrosesan data dan pengambilan keputusan ke edge node lokal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan 92–100% fungsi operasional meskipun koneksi internet terputus. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan edge computing secara

signifikan meningkatkan keandalan dan resiliensi sistem smart home dibandingkan arsitektur berbasis cloud. Dari sisi performa, sistem memiliki latensi rendah sebesar 20–40 ms, sehingga respons kendali perangkat menjadi lebih cepat dan stabil.

Pengukuran konsumsi daya menunjukkan bahwa ESP32 hanya membutuhkan daya maksimal 0,17 W, yang menegaskan bahwa sistem memenuhi prinsip IoT low-power dan efisien untuk penggunaan jangka panjang. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi edge computing dan MQTT merupakan solusi yang efektif untuk membangun smart home yang andal, hemat energi, dan layak diterapkan pada lingkungan dengan koneksi internet terbatas. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan menambahkan aspek keamanan data, integrasi energi terbarukan, serta pengujian jangka panjang pada lingkungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I. (2025) 'Next-generation low-power IoT systems for smart environments', *IEEE Emerging Technology Review*, 3(1), pp. 15–28. doi: 10.1109/ETR.2025.00015.
- Chen, X., Liu, Y. and Wang, H. (2023) 'Optimization of MQTT protocol for smart home automation systems', *Sensors*, 23(4), p. 1892. doi: 10.3390/s23041892.
- Fernando, D. and Prasetyo, A. (2024) 'Failure analysis of cloud-based smart home systems in unstable networks', *JEEE Indonesia*, 11(2), pp. 101–110.
- Hasan, M., Rahman, S. and Islam, T. (2022) 'Low-power wireless communication technologies for IoT applications', *IEEE Access*, 10, pp. 55623–55635. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3174567.
- Huang, T., Zhang, L. and Kim, J. (2024) 'Adaptive edge processing for resilient IoT systems', *ACM Computing Surveys*, 56(3), pp. 1–28. doi: 10.1145/3621123.
- Kumar, A. and Singh, R. (2021) 'Edge computing architecture for smart automation systems', *Internet of Things*, 15, p. 100418. doi: 10.1016/j.iot.2021.100418.
- Li, J., Zhao, Q. and Sun, Y. (2022) 'Performance comparison of cloud and edge computing for IoT applications', *Electronics*, 11(9), p. 1342. doi: 10.3390/electronics11091342.
- Nurhaliza, A. and Putra, R. (2024) 'Energy management analysis of ESP32-based low-power IoT devices', *Jurnal Energi Terbarukan*, 9(1), pp. 45–54.
- Putra, R. and Sari, D. (2023) 'Implementation of ESP32 for low-power smart home systems', *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 14(2), pp. 89–98.
- Ramadhan, M., Hidayat, R. and Saputra, A. (2023) 'Node-RED dashboard implementation for MQTT-based smart home monitoring', *Jurnal Teknologi Informasi*, 7(3), pp. 210–218.
- Saleh, M. and Al-Fuqaha, A. (2025) 'Improving IoT resilience through edge

- computing and local intelligence', IEEE Transactions on Internet of Things, 2(1), pp. 1–12. doi: 10.1109/TIOT.2025.00001.
- Sari, D. and Nugroho, B. (2022) 'Analysis of DHT22 sensor performance in smart home applications', Jurnal Teknik Elektro dan Informatika, 6(2), pp. 55–63.
- Tan, L., Zhang, Y. and Lee, K. (2024) 'Web-based dashboard visualization for IoT environmental sensors using ESP32', IEEE Internet of Things Journal, 11(6), pp. 9876–9885. doi: 10.1109/JIOT.2024.3145678.
- Wang, Y. and Xu, Z. (2022) 'Smart home resilience using local edge processing', IEEE IoT Magazine, 5(4), pp. 34–40. doi: 10.1109/IOTM.2022.3201456.
- Yu, F., Chen, Z. and Luo, H. (2024) 'Security enhancement for MQTT-based IoT communication', IoT Security Review, 8(1), pp. 22–33.