

ANALISIS EFISIENSI DAN PERFORMA PROTOKOL MQTT PADA SISTEM INTERNET OF THINGS : STUDI LITERATUR

Muhammad Zakil*

^{1,2,3}Politeknik Negeri Padang, Indonesia

¹muhammadzakizaki144@gmail.com

ABSTRACT

Internet of Things (IoT) has significantly transformed modern digital communication systems by enabling interconnected devices to exchange data in real-time. The increasing number of IoT devices requires lightweight, efficient, and low-latency communication protocols. One of the most widely used protocols in IoT systems is Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), which supports real-time communication with low bandwidth usage and minimal resource consumption. This study aims to analyze the efficiency and performance of the MQTT protocol in IoT systems using a Systematic Literature Review (SLR) approach. The research was conducted by collecting and analyzing international journal articles related to MQTT performance, communication efficiency, Quality of Service (QoS), scalability, reliability, and bandwidth utilization. The results show that MQTT provides lower latency, better bandwidth efficiency, and more flexible communication compared to conventional protocols such as HTTP and AMQP. In addition, MQTT is highly suitable for constrained devices and real-time monitoring systems. However, MQTT performance is influenced by several factors, including broker capacity, QoS configuration, payload size, network conditions, and security mechanisms.

Kata Kunci/ Keywords:

Internet of Things, MQTT, Communication Protocol, Performance Analysis, Efficiency

PENDAHULUAN

Perkembangan Internet of Things telah mendorong transformasi besar dalam sistem komunikasi digital modern. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik, sensor, aktuator, dan sistem komputasi saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data secara real-time. Implementasi IoT saat ini telah diterapkan secara luas pada berbagai sektor seperti smart home, smart agriculture, smart healthcare, smart transportation, dan smart industry karena kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi, otomatisasi, dan monitoring sistem secara berkelanjutan. Seiring dengan meningkatnya jumlah perangkat IoT yang terhubung, kebutuhan terhadap protokol komunikasi data yang ringan, efisien, dan memiliki latency rendah menjadi semakin penting (Saha et al., 2024).

Dalam lingkungan IoT, sebagian besar perangkat memiliki keterbatasan sumber daya seperti kapasitas memori, bandwidth jaringan, konsumsi daya, dan kemampuan pemrosesan data. Oleh karena itu, penggunaan protokol komunikasi konvensional seperti HTTP dinilai kurang optimal untuk perangkat IoT berskala besar karena memiliki overhead komunikasi yang relatif tinggi. Kondisi tersebut mendorong munculnya protokol lightweight communication yang dirancang khusus untuk komunikasi machine-to-machine (M2M) dan IoT, salah satunya adalah MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). MQTT menggunakan mekanisme publish-subscribe berbasis broker yang memungkinkan proses distribusi data menjadi lebih ringan, cepat, dan efisien dibandingkan model request-response tradisional (Murthy et al., 2023).

MQTT menjadi salah satu protokol komunikasi IoT yang paling banyak digunakan karena mendukung komunikasi real-time dengan kebutuhan bandwidth yang rendah. Protokol ini juga menyediakan fitur Quality of Service (QoS) yang memungkinkan pengaturan tingkat keandalan pengiriman data sesuai kebutuhan aplikasi. Selain itu, MQTT mampu bekerja secara optimal pada jaringan yang tidak stabil dan perangkat dengan resource terbatas sehingga banyak diimplementasikan pada sistem monitoring, smart sensor, dan edge computing (Longo & Redondi, 2023).

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas performa MQTT pada berbagai implementasi IoT. Murthy dan Satamraju melakukan evaluasi performa MQTT berdasarkan parameter throughput, packet loss, dan delay, serta menunjukkan bahwa MQTT memiliki efisiensi yang baik pada aplikasi lightweight IoT (Murthy et al., 2023). Penelitian lain oleh Tran et al. membandingkan protokol MQTT, AMQP, dan HTTP pada sistem photovoltaic berbasis IoT dan menunjukkan bahwa MQTT memiliki keunggulan dalam efisiensi komunikasi data serta kecepatan transmisi (Tran et al., 2024). Sementara itu, Saha et al. mengembangkan framework evaluasi performa MQTT client libraries pada sistem IoT industri dengan fokus pada latency, scalability, dan resource utilization. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa performa MQTT dipengaruhi oleh implementasi library dan konfigurasi sistem yang digunakan (Saha et al., 2024). Selain itu, Dizdarevic et al. mengevaluasi berbagai implementasi open-source MQTT broker dan menemukan bahwa ukuran payload, latency jaringan, serta kemampuan perangkat sangat mempengaruhi performa broker MQTT

(Dizdarevic et al., 2023).

Penelitian lain juga menyoroti aspek reliability dan robustness MQTT pada sistem IoT modern. Jesus et al. mengembangkan pendekatan robustness assessment untuk sistem IoT berbasis MQTT dengan metode fault injection dan menemukan bahwa validasi pesan MQTT memiliki pengaruh besar terhadap stabilitas sistem (Jesus et al., 2025). Gavrilidis et al. mengevaluasi performa MQTT yang diintegrasikan dengan TLS 1.3 dan menunjukkan bahwa keamanan tambahan mempengaruhi konsumsi resource dan latency komunikasi (Gavrilidis et al., 2025). Selain itu, Kim et al. menunjukkan bahwa arsitektur parallel MQTT mampu meningkatkan throughput dan menurunkan latency dibandingkan sistem komunikasi konvensional pada lingkungan multi-sensor IoT (Kim & Lee, 2026).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas implementasi dan evaluasi MQTT pada sistem IoT, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengujian eksperimental pada kasus tertentu, seperti smart manufacturing, photovoltaic systems, atau smart monitoring. Belum banyak penelitian yang secara khusus merangkum dan menganalisis hasil-hasil penelitian terkini mengenai efisiensi dan performa MQTT secara komprehensif berdasarkan berbagai parameter komunikasi seperti latency, throughput, bandwidth efficiency, reliability, dan scalability dalam satu kajian literatur terstruktur.

Penelitian ini menyajikan analisis literatur secara sistematis terhadap efisiensi dan performa protokol MQTT pada sistem IoT dengan mengintegrasikan hasil-hasil penelitian terbaru dari berbagai implementasi IoT, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai karakteristik, keunggulan, serta tantangan penggunaan MQTT pada komunikasi data IoT modern.

KAJIAN LITERATUR

Bagian Internet of Things (IoT) merupakan konsep sistem yang menghubungkan berbagai perangkat fisik, sensor, aktuator, dan sistem komputasi melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data secara otomatis. Implementasi IoT saat ini berkembang sangat pesat pada berbagai bidang, seperti smart home, smart agriculture, smart healthcare, smart transportation, dan industrial automation. Dalam implementasinya, sistem IoT membutuhkan protokol komunikasi yang mampu bekerja secara efisien pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya, seperti bandwidth rendah, kapasitas memori terbatas, serta konsumsi daya yang kecil. Oleh karena itu, pemilihan protokol komunikasi menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan performa sistem IoT, terutama pada aplikasi yang membutuhkan komunikasi data secara real-time (Al-Fuqaha et al., 2015).

Salah satu protokol komunikasi yang paling banyak digunakan pada sistem IoT adalah MQTT atau Message Queuing Telemetry Transport. MQTT merupakan protokol komunikasi ringan yang menggunakan model publish-subscribe berbasis broker. Pada model ini, perangkat pengirim data bertindak sebagai publisher, sedangkan perangkat penerima data bertindak sebagai subscriber. Seluruh proses distribusi pesan dilakukan melalui broker sebagai pusat komunikasi data. Mekanisme publish-subscribe tersebut membuat MQTT lebih fleksibel dan efisien dibandingkan protokol berbasis request-response seperti HTTP, khususnya pada perangkat constrained device dengan keterbatasan bandwidth dan resource sistem (Yassein et al., 2017).

Secara teoritis, MQTT memiliki beberapa keunggulan utama, seperti ukuran protokol yang ringan, penggunaan bandwidth yang rendah, serta kemampuan untuk mendukung komunikasi pada perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya. Selain itu, MQTT menyediakan fitur Quality of Service (QoS) yang terdiri dari tiga tingkatan, yaitu QoS 0, QoS 1, dan QoS 2. QoS 0 digunakan untuk pengiriman pesan tanpa jaminan penerimaan, QoS 1 menjamin pesan diterima minimal satu kali, sedangkan QoS 2 menjamin pesan diterima tepat satu kali. Perbedaan tingkat QoS tersebut mempengaruhi reliability, latency, overhead komunikasi, serta penggunaan resource pada sistem IoT (Seoane et al., 2021).

Penelitian empiris mengenai MQTT telah dilakukan oleh berbagai peneliti pada beberapa implementasi IoT. Murthy dan Satamraju (2023) melakukan evaluasi performa MQTT pada sistem IoT dan menunjukkan bahwa MQTT memiliki efisiensi komunikasi yang baik karena mampu menghasilkan latency rendah dan penggunaan bandwidth yang lebih kecil dibandingkan protokol komunikasi konvensional. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa MQTT sangat sesuai digunakan pada komunikasi machine-to-machine dan aplikasi monitoring berbasis sensor (Murthy et al., 2023).

Penelitian lain dilakukan oleh Saha et al. (2024) yang mengembangkan framework evaluasi performa MQTT client libraries pada aplikasi industrial IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan library MQTT dapat mempengaruhi performa komunikasi data, terutama pada aspek latency, scalability, dan penggunaan resource sistem. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa performa MQTT dipengaruhi oleh implementasi perangkat lunak dan konfigurasi sistem yang digunakan (Saha et al., 2024).

Selain itu, Longo et al. (2023) membahas desain dan implementasi advanced MQTT broker system. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa broker memiliki pengaruh besar terhadap performa komunikasi MQTT karena seluruh distribusi pesan dilakukan melalui broker. Faktor seperti jumlah subscriber, ukuran payload, dan kapasitas broker dapat

mempengaruhi throughput, latency, dan scalability pada sistem IoT (Longo & Redondi, 2023).

Tran et al. (2024) melakukan analisis perbandingan protokol komunikasi IoT pada sistem photovoltaic berbasis IoT dengan membandingkan MQTT, HTTP, dan AMQP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MQTT memiliki efisiensi bandwidth yang lebih baik serta latency yang lebih rendah dibandingkan protokol lainnya. Oleh karena itu, MQTT dinilai lebih sesuai untuk aplikasi IoT yang membutuhkan komunikasi real-time dan penggunaan bandwidth yang hemat (Tran et al., 2024).

Aspek keamanan MQTT juga menjadi perhatian dalam implementasi sistem IoT modern. Gentile et al. (2024) melakukan analisis performa protokol keamanan MQTT pada constrained hardware dan menunjukkan bahwa penerapan mekanisme keamanan tambahan dapat mempengaruhi performa jaringan, khususnya pada aspek latency dan konsumsi resource sistem. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa optimasi keamanan tetap diperlukan agar MQTT dapat mempertahankan efisiensi komunikasinya pada lingkungan IoT berskala besar (Gentile et al., 2024).

Berdasarkan teori dan penelitian terdahulu, MQTT memiliki potensi besar sebagai protokol komunikasi utama pada sistem IoT karena mampu menyediakan komunikasi data yang ringan, efisien, dan mendukung komunikasi real-time. Namun demikian, performa MQTT tetap dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konfigurasi QoS, kapasitas broker, jumlah perangkat, ukuran payload, kondisi jaringan, dan mekanisme keamanan yang digunakan. Oleh karena itu, kajian literatur ini diperlukan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efisiensi dan performa MQTT pada berbagai implementasi sistem IoT modern (Jesus et al., 2025).

Karena penelitian ini berbentuk studi literatur, maka tidak dirumuskan hipotesis kuantitatif seperti pada penelitian eksperimen. Namun, berdasarkan konsep teori dan bukti empiris dari penelitian terdahulu, artikel ini diarahkan pada proposisi bahwa MQTT merupakan protokol komunikasi yang efisien dan memiliki performa baik untuk sistem IoT, terutama pada aplikasi yang membutuhkan bandwidth rendah, latency kecil, dan komunikasi data secara real-time (Murthy et al., 2023).

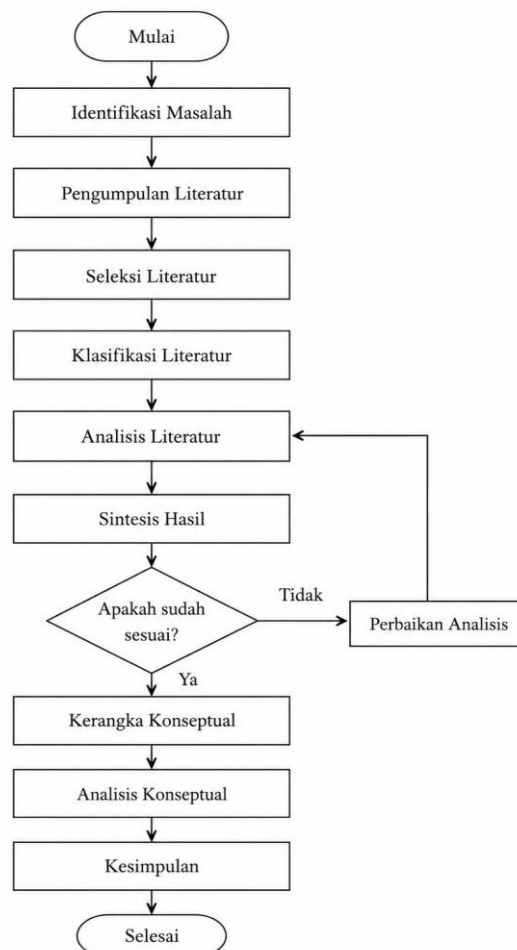
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) untuk menganalisis efisiensi dan performa protokol MQTT pada sistem Internet of Things (IoT). Metode SLR dipilih karena mampu memberikan pendekatan yang sistematis, terstruktur, dan komprehensif dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, serta mensintesis hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan implementasi MQTT pada sistem IoT. Penelitian ini dirancang melalui beberapa tahapan utama, yaitu identifikasi topik penelitian, pengumpulan literatur ilmiah, seleksi artikel berdasarkan kriteria tertentu, ekstraksi data penelitian, analisis komparatif, serta penyusunan sintesis hasil penelitian. Fokus penelitian diarahkan pada analisis performa MQTT berdasarkan parameter komunikasi data seperti latency, throughput, packet loss, bandwidth efficiency, reliability, scalability, Quality of Service (QoS), dan energy consumption.

Ruang lingkup penelitian difokuskan pada kajian literatur mengenai implementasi MQTT pada sistem IoT, khususnya yang membahas efisiensi komunikasi data dan performa protokol MQTT. Objek penelitian berupa artikel ilmiah internasional bereputasi yang dipublikasikan pada rentang tahun 2020–2026. Artikel yang digunakan berasal dari jurnal internasional yang terindeks pada database akademik seperti IEEE Xplore, ScienceDirect, Springer, MDPI, dan Google Scholar. Penelitian ini hanya membahas artikel yang berkaitan dengan implementasi MQTT, analisis performa MQTT, efisiensi komunikasi data, perbandingan MQTT dengan protokol komunikasi lain seperti HTTP, CoAP, dan AMQP, serta pengaruh QoS terhadap performa komunikasi IoT.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa artikel ilmiah internasional yang relevan dengan topik penelitian. Sedangkan alat utama yang digunakan meliputi laptop atau komputer, perangkat lunak pengolah dokumen, browser internet, serta Mendeley Reference Manager yang digunakan untuk pengelolaan referensi dan sitasi artikel ilmiah. Penelitian dilakukan secara mandiri melalui studi literatur berbasis database online sehingga tidak memerlukan lokasi penelitian khusus maupun pengambilan data secara langsung di lapangan atau laboratorium.

Teknik pengumpulan data dilakukan menggunakan metode dokumentasi dan studi pustaka dengan mengumpulkan artikel ilmiah yang sesuai dengan fokus penelitian. Proses pengumpulan data diawali dengan menentukan kata kunci pencarian seperti “MQTT”, “Internet of Things”, “MQTT performance”, “MQTT efficiency”, “IoT communication protocol”, dan “MQTT QoS”. Selanjutnya dilakukan pencarian artikel pada database akademik internasional, kemudian artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi meliputi artikel yang berasal dari jurnal internasional bereputasi, dipublikasikan pada tahun 2020–2026, membahas MQTT pada sistem IoT, memuat analisis performa atau efisiensi MQTT, dan tersedia dalam bahasa Inggris. Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi artikel berupa prosiding konferensi, artikel yang tidak membahas performa MQTT, artikel duplikat, serta artikel tanpa hasil evaluasi atau analisis performa komunikasi.



Gambar 1. Diagram Penelitian

Variabel penelitian yang dianalisis pada kajian literatur ini terdiri dari beberapa parameter performa MQTT, yaitu latency, throughput, packet loss, bandwidth efficiency, reliability, scalability, Quality of Service (QoS), dan energy consumption. Latency digunakan untuk mengukur waktu keterlambatan pengiriman data dari publisher menuju subscriber, throughput digunakan untuk mengukur jumlah data yang berhasil dikirim per satuan waktu, sedangkan packet loss digunakan untuk mengetahui persentase kehilangan paket data selama proses transmisi. Selain itu, bandwidth efficiency digunakan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan bandwidth jaringan, reliability digunakan untuk mengukur tingkat keandalan komunikasi data, scalability digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menangani banyak perangkat IoT, QoS digunakan untuk mengevaluasi tingkat jaminan pengiriman pesan MQTT, dan energy consumption digunakan untuk mengukur konsumsi daya perangkat selama proses komunikasi data berlangsung.

Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif dan komparatif dengan membandingkan hasil penelitian terdahulu yang membahas performa MQTT pada berbagai implementasi IoT, seperti smart home, smart agriculture, industrial IoT, dan smart monitoring system. Analisis dilakukan berdasarkan parameter komunikasi data yang telah ditentukan sebelumnya untuk mengidentifikasi keunggulan MQTT dibandingkan protokol komunikasi lain, mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi performa MQTT, menganalisis pengaruh QoS terhadap reliability dan latency, serta mengevaluasi efisiensi MQTT pada constrained devices. Hasil analisis dari berbagai penelitian kemudian disintesis secara komprehensif untuk memperoleh kesimpulan mengenai efektivitas MQTT sebagai protokol komunikasi pada sistem Internet of Things modern.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, protokol MQTT menunjukkan performa komunikasi yang baik pada sistem Internet of Things, terutama pada perangkat dengan keterbatasan bandwidth dan sumber daya sistem. Analisis dilakukan terhadap beberapa parameter utama, yaitu latency, throughput, bandwidth efficiency, reliability, scalability, dan Quality of Service (QoS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa MQTT memiliki kemampuan

komunikasi data yang lebih ringan dibandingkan beberapa protokol komunikasi lain seperti HTTP dan AMQP.

MQTT memiliki latency yang rendah karena menggunakan mekanisme publish-subscribe dengan ukuran header yang kecil. Mekanisme tersebut memungkinkan proses transmisi data berlangsung lebih cepat dibandingkan protokol berbasis request-response. Selain itu, penggunaan broker sebagai pusat distribusi pesan membuat komunikasi data menjadi lebih efisien dan fleksibel pada lingkungan IoT. Sistem komunikasi berbasis MQTT juga mampu mempertahankan kestabilan komunikasi pada kondisi jaringan dengan bandwidth terbatas sehingga sangat sesuai digunakan pada aplikasi monitoring dan komunikasi data real-time.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa performa MQTT dipengaruhi oleh implementasi client libraries dan konfigurasi sistem yang digunakan. Semakin ringan implementasi library MQTT yang digunakan, maka performa komunikasi data menjadi lebih optimal. MQTT juga memiliki kemampuan yang baik dalam menangani komunikasi data secara real-time pada lingkungan industrial IoT karena mendukung pengiriman pesan secara asynchronous melalui mekanisme broker dan topic-based communication.

Selain itu, performa broker MQTT memiliki pengaruh besar terhadap kualitas komunikasi data. Broker dengan kemampuan pemrosesan tinggi mampu meningkatkan throughput serta mengurangi latency komunikasi pada sistem multi-client. Namun demikian, peningkatan jumlah subscriber dan ukuran payload dapat meningkatkan beban broker sehingga mempengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, kapasitas broker dan manajemen distribusi pesan menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas komunikasi data pada sistem IoT berskala besar.

Pada perbandingan dengan protokol komunikasi lain, MQTT menunjukkan penggunaan bandwidth yang lebih rendah dibandingkan HTTP dan AMQP. MQTT juga memiliki latency yang lebih kecil sehingga lebih sesuai digunakan pada aplikasi monitoring real-time dan constrained devices. Sementara itu, HTTP memiliki overhead komunikasi yang lebih besar karena menggunakan model request-response, sedangkan AMQP memiliki kompleksitas komunikasi yang lebih tinggi dan membutuhkan resource sistem yang lebih besar.

Table 1. Comparison of MQTT Performance in IoT Systems

	MQTT	HTTP	AMQP	Description
Communication Model	Publish-Subscribe	Request-Response	Message Queue	MQTT communication is more flexible for IoT systems
Latency	Low	Medium	Medium	MQTT provides faster data transmission
Throughput	High	Medium	High	Influenced by broker performance and QoS
Bandwidth Usage	Low	High	Medium	MQTT is more bandwidth efficient
Overhead	Low	High	Medium	MQTT uses smaller packet headers
Reliability	High (QoS)	Medium	High	QoS improves delivery reliability
Scalability	Good	Medium	Good	MQTT supports multiple connected devices
Energy Consumption	Low	Medium	High	Suitable for constrained devices
Real-Time Communication	Excellent	Medium	Good	MQTT supports real-time communication
Complexity	Low	Low	High	AMQP requires more complex implementation

Berdasarkan Tabel 1, MQTT memiliki keunggulan utama pada penggunaan bandwidth yang rendah dan latency yang kecil. Hal tersebut membuat MQTT lebih efektif digunakan pada perangkat IoT dengan resource terbatas. Selain itu, fitur QoS pada MQTT memungkinkan pengguna menyesuaikan tingkat reliability komunikasi sesuai kebutuhan sistem.

Dari sisi keamanan, implementasi mekanisme keamanan tambahan pada MQTT dapat mempengaruhi performa komunikasi data. Penggunaan protokol keamanan seperti TLS mampu meningkatkan keamanan transmisi data, namun juga meningkatkan latency dan penggunaan resource sistem. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat trade-off antara keamanan dan performa komunikasi pada implementasi MQTT di lingkungan IoT.

Selain aspek keamanan, scalability juga menjadi faktor penting dalam komunikasi IoT modern. MQTT mampu menangani banyak perangkat secara simultan melalui mekanisme broker dan topic-based communication. Namun demikian, performa sistem tetap dipengaruhi oleh kapasitas broker, kualitas jaringan, dan jumlah client yang terhubung secara bersamaan.

Berdasarkan hasil sintesis penelitian, MQTT dapat dikategorikan sebagai protokol komunikasi yang sangat efektif untuk sistem IoT modern karena memiliki efisiensi bandwidth tinggi, latency rendah, dan kemampuan komunikasi real-time yang baik. MQTT juga lebih fleksibel dibandingkan protokol komunikasi konvensional karena mendukung komunikasi asynchronous melalui mekanisme publish-subscribe.

Namun demikian, performa MQTT tetap dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konfigurasi QoS, kapasitas broker, ukuran payload, jumlah perangkat, dan mekanisme keamanan yang digunakan. Oleh karena itu, optimasi broker, pemilihan QoS yang sesuai, serta pengelolaan komunikasi data yang efisien menjadi faktor penting dalam meningkatkan performa MQTT pada sistem Internet of Things berskala besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, protokol MQTT merupakan protokol komunikasi yang efektif dan efisien untuk sistem Internet of Things karena memiliki penggunaan bandwidth yang rendah, latency kecil, dan mendukung komunikasi data secara real-time. MQTT juga lebih ringan dibandingkan beberapa protokol komunikasi lain seperti HTTP dan AMQP sehingga cocok digunakan pada perangkat IoT dengan keterbatasan resource.

Hasil analisis menunjukkan bahwa performa MQTT dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konfigurasi Quality of Service (QoS), kapasitas broker, ukuran payload, jumlah client, dan kondisi jaringan. Selain itu, penggunaan QoS yang tepat dapat meningkatkan reliability komunikasi data pada sistem IoT.

Penelitian ini menunjukkan bahwa MQTT masih sangat relevan dan memiliki potensi besar sebagai protokol komunikasi utama pada pengembangan sistem IoT modern, khususnya pada aplikasi yang membutuhkan komunikasi ringan, cepat, dan efisien.

REFERENSI

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Dizdarevic, J., Michalke, M., & Jukan, A. (2023). *Engineering and Experimentally Benchmarking Open Source MQTT Broker Implementations*. <http://arxiv.org/abs/2305.13893>
- Gavriilidis, N. O., Halkidis, S. T., & Petridou, S. (2025). Empirical Evaluation of TLS-Enhanced MQTT on IoT Devices for V2X Use Cases. *Applied Sciences*, 15(15), 8398. <https://doi.org/10.3390/app15158398>
- Gentile, A. F., Macrì, D., Carnì, D. L., Greco, E., & Lamonaca, F. (2024). A Network Performance Analysis of MQTT Security Protocols with Constrained Hardware in the Dark Net for DMS. *Applied Sciences*, 14(18), 8501. <https://doi.org/10.3390/app14188501>
- Jesus, B., Lins, F., & Laranjeiro, N. (2025). An approach to assess robustness of MQTT-based IoT systems. *Internet of Things*, 31, 101590. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101590>
- Kim, H. J., & Lee, M. H. (2026). A Comparative Performance Study of Parallel MQTT and RS485 Communication Architectures for High-Frequency IoT Sensing. *Electronics*, 15(4), 760. <https://doi.org/10.3390/electronics15040760>
- Longo, E., & Redondi, A. E. C. (2023). Design and implementation of an advanced MQTT broker for distributed pub/sub scenarios. *Computer Networks*, 224, 109601. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.109601>
- Murthy, M. Y. B., Kumar, G. V. S., Mrudula, K., Shaik, R., & Prasad, S. K. (2023). PERFORMANCE EVALUATION OF MQTT PROTOCOL IN INTERNET OF THINGS. *Telecommunications and Radio Engineering*, 82(8), 51–57. <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.2023045375>
- Saha, N., Paul, P., Ji, K., & Harik, R. (2024). Performance evaluation framework of MQTT client libraries for IoT applications in manufacturing. *Manufacturing Letters*, 41, 1237–1245. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.09.150>
- Seoane, V., Garcia-Rubio, C., Almenares, F., & Campo, C. (2021). Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments. *Computer Networks*, 197, 108338. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108338>
- Tran, K. T. M., Pham, A. X., Nguyen, N. P., & Dang, P. T. (2024). Analysis and Performance Comparison of IoT Message Transfer Protocols Applying in Real Photovoltaic System. *International Journal of Networked and Distributed Computing*, 12(1), 131–143. <https://doi.org/10.1007/s44227-024-00021-4>
- Yassein, M. B., Shatnawi, M. Q., Aljwarneh, S., & Al-Hatmi, R. (2017). Internet of Things: Survey and open issues of MQTT protocol. *2017 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEMIS.2017.8273112>