



Kajian Pustaka Komparatif Protokol Komunikasi Internet of Things Berdasarkan Latensi, Efisiensi Energi, dan Skalabilitas

Muhammad Yudis Afriansyah Saputra^{1*}, Yulindon²

¹Sarjana Terapan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*Penulis Korespondensi: yudisjr03@gmail.com

Abstract. *This study presents a comparative literature review of Internet of Things (IoT) communication protocols, focusing on latency, energy efficiency, and scalability. The rapid development of IoT applications requires efficient communication mechanisms capable of handling constrained devices and large-scale networks. This research adopts a Systematic Literature Review (SLR) approach by analyzing relevant studies published between 2021 and 2026 from reputable databases such as Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, and MDPI. The results indicate that no single protocol outperforms others across all performance parameters. CoAP demonstrates superior performance in latency and energy efficiency due to its lightweight UDP-based communication. MQTT provides stable latency and high scalability through its publish-subscribe architecture, making it suitable for large-scale IoT systems. Meanwhile, HTTP/HTTPS offers high interoperability but suffers from higher latency and energy consumption. The findings highlight the importance of selecting communication protocols based on specific application requirements. This study contributes by providing an integrated comparative analysis that considers multiple performance aspects simultaneously, offering a more comprehensive perspective for IoT system design.*

Keywords: *internet of things, communication protocol, mqtt, coap, http*

Abstrak. Penelitian ini menyajikan kajian pustaka komparatif terhadap protokol komunikasi Internet of Things (IoT) dengan fokus pada latensi, efisiensi energi, dan skalabilitas. Perkembangan pesat IoT menuntut mekanisme komunikasi yang efisien, terutama pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya. Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) dengan menganalisis publikasi tahun 2021–2026 dari basis data Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, dan MDPI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat protokol yang unggul secara keseluruhan. CoAP unggul dalam latensi dan efisiensi energi karena berbasis UDP, MQTT memiliki stabilitas komunikasi dan skalabilitas tinggi melalui model publish-subscribe, sedangkan HTTP/HTTPS unggul dalam interoperabilitas namun memiliki kelemahan pada latensi dan konsumsi energi. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan protokol berdasarkan kebutuhan aplikasi. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa analisis komparatif terpadu yang mempertimbangkan beberapa parameter secara simultan dalam perancangan sistem IoT.

Kata kunci: *internet of things, protokol komunikasi, mqtt, coap, http*

LATAR BELAKANG

Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat sebagai paradigma teknologi yang memungkinkan berbagai objek fisik dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan modul komunikasi untuk saling bertukar data secara otomatis melalui jaringan internet. Implementasi IoT kini meluas pada berbagai sektor seperti smart city, industri manufaktur, sistem monitoring lingkungan, pertanian presisi, dan layanan kesehatan. Perkembangan tersebut mendorong kebutuhan akan sistem komunikasi yang mampu menangani pertukaran data secara andal, cepat, dan efisien, terutama karena sebagian

besar perangkat IoT memiliki keterbatasan sumber daya seperti daya, memori, dan kapasitas pemrosesan (Petrescu et al., 2025).

Dalam sistem IoT, protokol komunikasi pada lapisan transport dan aplikasi memegang peranan penting karena menentukan mekanisme pengiriman data, keandalan koneksi, serta kemampuan sistem dalam menangani pertumbuhan jumlah perangkat. Parameter performa seperti latensi, efisiensi energi, dan skalabilitas menjadi indikator utama dalam menilai efektivitas protokol komunikasi IoT, khususnya pada sistem berskala besar dan heterogen. Protokol-protokol populer seperti Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), Constrained Application Protocol (CoAP), dan Hypertext Transfer Protocol (HTTP/HTTPS) menawarkan pendekatan komunikasi yang berbeda dengan karakteristik performa yang beragam dalam berbagai konteks aplikasi IoT (Panagou et al., 2025).

Sejumlah penelitian terkini telah mengevaluasi performa protokol komunikasi IoT dari berbagai sudut pandang. Studi dalam *A Performance Analysis of Internet of Things Networking Protocols: Evaluating MQTT, CoAP, OPC UA* oleh Silva et al. (2021) menganalisis dan membandingkan performa protokol MQTT, CoAP, dan OPC UA dalam lingkungan IoT berdasarkan parameter seperti latency, throughput, dan message overhead melalui pengujian eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa masing-masing protokol memiliki karakteristik performa yang berbeda sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dan skenario implementasi IoT. Evaluasi empiris oleh Khaleefah et al. (2025) memperlihatkan bahwa perbedaan model komunikasi publish-subscribe dan request-response berpengaruh langsung terhadap latensi serta efisiensi energi dalam skenario smart city, menunjukkan bahwa tidak ada satu protokol yang unggul untuk semua aplikasi IoT. Sementara itu, Krawiec et al. (2025) melakukan evaluasi eksperimental terhadap konsumsi energi dan reliability berbagai protokol komunikasi IoT, yaitu MQTT, MQTT-SN, CoAP, AMQP, serta HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3, dalam konteks jaringan sensor jarak jauh, dengan menunjukkan bahwa performa energi dan keandalan sangat dipengaruhi oleh mekanisme transport, model komunikasi, serta kondisi jaringan.

Evaluasi berbasis implementasi nyata oleh Sonklin dan Sonklin (2024) mengungkap bahwa MQTT mampu mempertahankan latensi yang stabil dan tingkat keandalan tinggi pada sistem monitoring berbasis IoT. Dalam konteks efisiensi energi

dan performa komunikasi IoT, pendekatan optimasi lintas-lapisan menunjukkan bahwa pengelolaan overhead protokol dan mekanisme transmisi data secara terpadu dapat menurunkan konsumsi daya sekaligus menjaga kualitas layanan jaringan. Hal ini menegaskan bahwa karakteristik protokol komunikasi pada lapisan aplikasi dan transport berkontribusi langsung terhadap latensi dan efisiensi energi sistem IoT (Mustafa, 2025). Selain aspek latensi dan efisiensi energi, tantangan skalabilitas juga menjadi perhatian utama dalam penelitian IoT modern. Dalam banyak implementasi nyata, peningkatan jumlah node dalam jaringan menimbulkan tantangan signifikan terhadap performa komunikasi dalam protokol standar, terlepas dari pendekatan arsitekturnya (Panagou et al., 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas performa protokol komunikasi IoT, sebagian besar kajian tersebut masih bersifat parsial dengan menitikberatkan pada satu atau dua parameter performa tertentu, seperti efisiensi energi atau latensi, tanpa mengkaji ketiga aspek utama — latensi, efisiensi energi, dan skalabilitas — secara terpadu dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Selain itu, beberapa studi masih terbatas pada skenario aplikasi atau arsitektur jaringan tertentu, sehingga sulit dijadikan acuan umum dalam perancangan sistem IoT yang kompleks dan berskala besar. Kondisi ini menunjukkan perlunya suatu kajian yang mampu merangkum dan membandingkan karakteristik protokol komunikasi IoT secara menyeluruh berdasarkan ketiga parameter performa utama tersebut.

Oleh karena itu, artikel ini menyajikan kajian pustaka komparatif terhadap protokol komunikasi Internet of Things dengan fokus pada analisis latensi, efisiensi energi, dan skalabilitas jaringan secara terintegrasi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih holistik mengenai keunggulan dan keterbatasan masing-masing protokol komunikasi IoT, serta menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi dalam memilih protokol yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi, baik pada sistem IoT berskala kecil maupun besar.

KAJIAN TEORITIS

A. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan yang dirancang untuk mendukung pertukaran data pada jaringan dengan

bandwidth terbatas dan perangkat dengan sumber daya terbatas (Aleesha & Laseena, 2022). MQTT menggunakan model komunikasi *publish–subscribe*, di mana perangkat (*publisher*) mengirimkan data ke *broker*, yang kemudian mendistribusikan data tersebut kepada perangkat lain (*subscriber*) berdasarkan topik tertentu (Sponh, 2022).

Arsitektur ini memungkinkan pemisahan antara pengirim dan penerima data (*decoupling*), sehingga meningkatkan fleksibilitas serta efisiensi komunikasi dalam sistem IoT. Selain itu, MQTT menyediakan beberapa tingkat kualitas layanan (*Quality of Service/QoS*) yang memungkinkan penyesuaian antara keandalan pengiriman dan penggunaan sumber daya (Tripathi & Chauraisa, 2023).

Dalam konteks penelitian terkini, MQTT secara luas diakui memiliki latensi yang relatif rendah dan efisiensi komunikasi yang baik dibandingkan protokol lain, terutama pada skenario IoT berbasis real-time dan event-driven. Namun demikian, ketergantungan terhadap broker sebagai pusat komunikasi dapat menjadi keterbatasan dalam hal skalabilitas serta berpotensi menimbulkan single point of failure pada sistem berskala besar (Enany et al, 2021).

B. Constrained Application Protocol (CoAP)

Constrained Application Protocol (CoAP) merupakan protokol komunikasi berbasis request–response yang dirancang khusus untuk perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya (*constrained devices*). CoAP berjalan di atas protokol UDP, sehingga memiliki overhead komunikasi yang lebih rendah dibandingkan protokol berbasis TCP (Azeez & Abdullah, 2023).

CoAP mengadopsi konsep yang serupa dengan HTTP, seperti penggunaan metode GET, POST, PUT, dan DELETE, namun dalam format yang lebih ringan dan efisien. Selain itu, CoAP mendukung mekanisme *confirmable* dan *non-confirmable message* untuk menyesuaikan tingkat keandalan komunikasi sesuai kebutuhan aplikasi (Zhang, 2022).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa CoAP unggul dalam efisiensi energi karena tidak memerlukan proses *handshaking* yang kompleks seperti TCP, sehingga sangat sesuai untuk jaringan sensor nirkabel dan perangkat berbasis baterai (Silva et al., 2021; Krawiec et al., 2025). Meskipun demikian, penggunaan UDP menyebabkan

CoAP memiliki keterbatasan dalam hal keandalan komunikasi pada kondisi jaringan yang tidak stabil.

C. Hypertext Transfer Protocol (HTTP/HTTPS)

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) merupakan protokol komunikasi berbasis request–response yang digunakan dalam sistem berbasis web. Dalam konteks IoT, HTTP sering dimanfaatkan karena kemudahan integrasi dengan infrastruktur web yang telah ada serta dukungan luas dari berbagai platform dan perangkat (Nugraha et al, 2024).

HTTP berjalan di atas protokol TCP yang menyediakan komunikasi berbasis koneksi (connection-oriented), termasuk mekanisme handshaking, pengendalian aliran, dan deteksi kesalahan. Versi HTTPS menambahkan lapisan keamanan melalui enkripsi TLS/SSL untuk melindungi pertukaran data (Jamal & Zyane, 2025).

Namun demikian, penelitian terkini menunjukkan bahwa HTTP memiliki kelemahan dalam hal latensi dan efisiensi energi akibat overhead komunikasi yang relatif besar serta proses koneksi yang kompleks, sehingga kurang optimal untuk perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya (Krawiec et al., 2025). Oleh karena itu, HTTP lebih sesuai digunakan pada aplikasi IoT yang membutuhkan interoperabilitas tinggi dibandingkan efisiensi performa.

D. Protokol Komunikasi Lain

Selain MQTT, CoAP, dan HTTP, terdapat beberapa protokol komunikasi lain yang digunakan dalam sistem IoT, seperti Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) dan Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA).

AMQP merupakan protokol berbasis message-oriented middleware yang dirancang untuk menyediakan komunikasi yang andal dengan dukungan fitur seperti message queuing, routing, dan keamanan tingkat lanjut. Dalam penelitian terbaru, AMQP menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi, namun memiliki overhead komunikasi yang lebih besar dibandingkan MQTT, sehingga kurang efisien untuk perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya (Krawiec et al., 2025).

Sementara itu, OPC UA banyak digunakan dalam konteks Industrial Internet of Things (IIoT) karena kemampuannya dalam menyediakan komunikasi yang aman, andal, dan terstandarisasi antar perangkat industri. Protokol ini mendukung model data

yang kompleks serta interoperabilitas tinggi, namun membutuhkan sumber daya komputasi yang lebih besar, sehingga lebih cocok untuk lingkungan industri dibandingkan perangkat IoT skala kecil (Silva et al., 2021).

METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dengan tujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik protokol komunikasi pada Internet of Things (IoT). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan pemahaman yang komprehensif dan terstruktur terhadap perkembangan penelitian, khususnya dalam membandingkan performa berbagai protokol komunikasi IoT berdasarkan parameter tertentu.

Metode yang digunakan bersifat kualitatif-komparatif, di mana data yang diperoleh dari berbagai literatur dianalisis dan dibandingkan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu latensi, efisiensi energi, dan skalabilitas jaringan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola, keunggulan, serta keterbatasan masing-masing protokol komunikasi dalam berbagai konteks implementasi IoT.

B. Strategi Pencarian Literatur

Proses pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data ilmiah bereputasi seperti Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, dan MDPI, yang dipilih karena cakupan publikasi yang luas dan relevansi tinggi. Pencarian menggunakan kombinasi kata kunci seperti “IoT communication protocol”, “MQTT”, “CoAP”, “HTTP”, “latency”, “energy efficiency”, dan “scalability” dengan bantuan operator Boolean (AND, OR) untuk memperoleh hasil yang spesifik dan relevan. Rentang publikasi yang digunakan adalah tahun 2021 hingga 2026 guna memastikan literatur mencerminkan perkembangan terbaru dalam bidang protokol komunikasi IoT.

C. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Untuk memastikan kualitas dan relevansi literatur yang digunakan, penelitian ini menetapkan kriteria inklusi dan eksklusi sebagai berikut:

Kriteria inklusi:

- Artikel yang dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi dan *peer-reviewed*.
- Artikel yang membahas protokol komunikasi IoT, khususnya MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS, atau protokol terkait lainnya.
- Artikel yang mengevaluasi minimal satu dari tiga parameter performa, yaitu latensi, efisiensi energi, atau skalabilitas.
- Artikel yang menyajikan analisis konseptual, simulasi, maupun hasil eksperimen terkait performa protokol.

Kriteria eksklusi:

- Artikel yang tidak melalui proses peer-review.
- Studi yang tidak berkaitan langsung dengan sistem IoT.
- Artikel dengan data yang tidak lengkap atau tidak dapat diakses secara penuh.
- Duplikasi publikasi dari penelitian yang sama.

Proses seleksi dilakukan secara bertahap, dimulai dari penyaringan judul dan abstrak, dilanjutkan dengan peninjauan isi penuh (full-text review) untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria yang telah ditetapkan.

D. Parameter Analisis

Analisis dalam penelitian ini difokuskan pada tiga parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi performa protokol komunikasi IoT, yaitu:

1. **Latensi**, mengukur waktu yang dibutuhkan data berpindah dari pengirim ke penerima dan mencerminkan kecepatan respons sistem.
2. **Efisiensi energi**, berkaitan dengan konsumsi daya selama proses komunikasi, yang penting karena keterbatasan sumber daya pada perangkat IoT.
3. **Skalabilitas**, menunjukkan kemampuan protokol dalam menangani peningkatan jumlah perangkat tanpa penurunan performa yang signifikan.

Ketiga parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis komparatif terhadap berbagai protokol komunikasi IoT yang dikaji dalam penelitian ini.

E. Kerangka Analisa

Untuk memastikan bahwa proses evaluasi dilakukan secara sistematis dan konsisten, penelitian ini menggunakan kerangka analisis berbasis parameter performa. Setiap literatur yang terpilih dianalisis dengan mengidentifikasi:

1. Jenis protokol komunikasi yang digunakan.
2. Metode evaluasi yang diterapkan (eksperimen, simulasi, atau analisis konseptual).
3. Parameter performa yang diukur (latensi, efisiensi energi, dan/atau skalabilitas).
4. Hasil utama yang diperoleh terkait performa protokol.

Selanjutnya, hasil dari masing-masing penelitian dibandingkan untuk mengidentifikasi pola umum, perbedaan karakteristik, serta faktor-faktor yang memengaruhi performa protokol. Proses ini memungkinkan penyusunan sintesis literatur yang tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitis dan komparatif.

Dengan menggunakan kerangka analisis ini, penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai keunggulan dan keterbatasan berbagai protokol komunikasi IoT, serta menghasilkan rekomendasi yang relevan untuk pemilihan protokol berdasarkan kebutuhan aplikasi.

1. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintetis Literatur

Berdasarkan hasil penelusuran literatur pada rentang tahun 2021–2026 melalui basis data Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, dan MDPI, diperoleh sejumlah penelitian yang mengevaluasi performa protokol komunikasi Internet of Things (IoT), khususnya MQTT, CoAP, dan HTTP/HTTPS. Studi-studi tersebut umumnya menggunakan pendekatan eksperimental dan simulasi dalam berbagai skenario seperti smart city, wireless sensor networks, dan industrial IoT.

Hasil sintesis menunjukkan bahwa performa protokol komunikasi IoT sangat dipengaruhi oleh model komunikasi, mekanisme transport, serta kondisi jaringan. MQTT yang berbasis publish–subscribe cenderung memberikan performa yang lebih stabil dalam distribusi data, sedangkan CoAP dan HTTP yang berbasis request–response lebih sensitif terhadap kondisi jaringan dan frekuensi komunikasi (Silva et al., 2021).

Selain itu, tidak terdapat satu protokol yang secara konsisten unggul pada seluruh parameter performa. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan protokol harus disesuaikan

dengan kebutuhan aplikasi, sehingga diperlukan analisis komparatif terpadu yang mempertimbangkan beberapa parameter sekaligus.

B. Hasil Kajian Komparatif Berdasarkan Latensi

Latensi merupakan parameter kunci dalam sistem Internet of Things (IoT), khususnya pada aplikasi yang membutuhkan respons waktu nyata seperti monitoring dan kontrol perangkat. Berdasarkan sintesis dari berbagai penelitian, performa latensi protokol komunikasi sangat dipengaruhi oleh model komunikasi serta protokol transport yang digunakan.

Penelitian oleh Silva et al. (2021) menunjukkan bahwa CoAP cenderung menghasilkan waktu respons yang lebih cepat dibandingkan MQTT dan OPC UA pada beberapa skenario pengujian. Hal ini disebabkan oleh penggunaan protokol UDP yang tidak memerlukan proses handshaking, sehingga mengurangi waktu inisialisasi komunikasi. Temuan ini juga sejalan dengan studi oleh Petrescu et al. (2025) yang menyatakan bahwa protokol berbasis UDP umumnya memiliki latensi lebih rendah dibandingkan protokol berbasis TCP dalam kondisi jaringan stabil.

Di sisi lain, MQTT menunjukkan performa latensi yang lebih stabil, terutama dalam jaringan dengan beban komunikasi yang dinamis. Khaleefah et al. (2025) menemukan bahwa MQTT mampu mempertahankan waktu respons yang konsisten dibandingkan HTTP dan CoAP dalam skenario smart city. Stabilitas ini didukung oleh model publish–subscribe yang memungkinkan komunikasi berlangsung secara asinkron tanpa ketergantungan langsung antara pengirim dan penerima.

Sementara itu, HTTP secara konsisten menunjukkan latensi yang lebih tinggi. Krawiec et al. (2025) menjelaskan bahwa penggunaan TCP serta overhead header yang besar menyebabkan peningkatan waktu transmisi. Selain itu, model request–response yang bersifat sinkron meningkatkan waktu tunggu pada setiap transaksi data.

Temuan dari studi implementasi oleh Sonklin dan Sonklin (2024) juga menunjukkan bahwa MQTT mampu mempertahankan performa latensi yang stabil dalam sistem monitoring berbasis IoT, bahkan ketika jumlah perangkat meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa stabilitas latensi menjadi keunggulan utama MQTT dibandingkan protokol lainnya.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa CoAP unggul dalam latensi rendah pada kondisi tertentu, sedangkan MQTT menawarkan stabilitas latensi yang lebih baik dalam jaringan yang kompleks. HTTP, di sisi lain, memiliki keterbatasan signifikan untuk aplikasi real-time.

C. Hasil Kajian Komparatif Berdasarkan Efisiensi Energi

Efisiensi energi merupakan aspek krusial dalam sistem IoT karena sebagian besar perangkat beroperasi menggunakan sumber daya terbatas. Berdasarkan kajian literatur, konsumsi energi sangat dipengaruhi oleh mekanisme komunikasi dan kompleksitas protokol yang digunakan.

Krawiec et al. (2025) menunjukkan bahwa CoAP memiliki konsumsi energi paling rendah dibandingkan MQTT, AMQP, dan HTTP. Hal ini disebabkan oleh penggunaan UDP yang memiliki overhead komunikasi lebih kecil serta tidak memerlukan proses koneksi yang kompleks. Hasil ini diperkuat oleh Silva et al. (2021) yang menyatakan bahwa CoAP lebih efisien dalam penggunaan energi pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya.

MQTT menunjukkan efisiensi energi yang cukup baik, meskipun tidak seoptimal CoAP. Mustafa et al. (2025) menjelaskan bahwa efisiensi energi pada MQTT dipengaruhi oleh mekanisme publish-subscribe yang mampu mengurangi frekuensi transmisi data yang tidak perlu. Selain itu, fitur Quality of Service (QoS) memungkinkan penyesuaian antara keandalan komunikasi dan konsumsi energi.

Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa keberadaan broker pada MQTT dapat meningkatkan konsumsi energi secara keseluruhan, terutama pada sisi server. Meskipun demikian, dalam konteks perangkat IoT, MQTT tetap lebih efisien dibandingkan protokol berbasis HTTP.

HTTP/HTTPS menunjukkan konsumsi energi tertinggi. Hal ini disebabkan oleh overhead komunikasi yang besar serta penggunaan mekanisme keamanan seperti TLS yang meningkatkan beban komputasi. Petrescu et al. (2025) juga menegaskan bahwa protokol berbasis TCP cenderung lebih boros energi dibandingkan protokol berbasis UDP dalam komunikasi IoT.

Dengan demikian, CoAP merupakan protokol yang paling efisien dalam penggunaan energi, diikuti oleh MQTT, sedangkan HTTP memiliki efisiensi energi yang paling rendah

D. Hasil Kajian Komparatif Berdasarkan Skalabilitas

Skalabilitas merupakan faktor penting dalam implementasi IoT berskala besar yang melibatkan banyak perangkat. Berdasarkan hasil kajian, kemampuan skalabilitas sangat dipengaruhi oleh arsitektur komunikasi yang digunakan oleh masing-masing protokol.

MQTT menunjukkan keunggulan dalam hal skalabilitas karena menggunakan model publish–subscribe dengan broker sebagai pusat komunikasi. Khaleefah et al. (2025) menyatakan bahwa pendekatan ini memungkinkan pengelolaan komunikasi yang lebih efisien pada jaringan dengan jumlah node yang besar. Selain itu, Panagou et al. (2025) menjelaskan bahwa arsitektur berbasis broker mendukung pengembangan sistem IoT berskala besar dengan kompleksitas komunikasi yang lebih rendah.

Namun demikian, ketergantungan terhadap broker juga dapat menjadi kelemahan jika tidak dirancang dengan baik, karena berpotensi menjadi bottleneck dalam sistem dengan jumlah perangkat yang sangat besar.

CoAP memiliki skalabilitas yang cukup baik pada jaringan kecil hingga menengah. Namun, Silva et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan model request–response dapat meningkatkan trafik jaringan secara signifikan ketika jumlah perangkat meningkat, sehingga berpotensi menurunkan performa.

HTTP memiliki keterbatasan dalam skalabilitas. Krawiec et al. (2025) menunjukkan bahwa overhead komunikasi yang tinggi serta kebutuhan koneksi berbasis TCP menyebabkan peningkatan beban jaringan secara signifikan ketika jumlah node bertambah. Hal ini menjadikan HTTP kurang optimal untuk sistem IoT berskala besar.

Selain itu, Mustafa et al. (2025) menekankan bahwa skalabilitas tidak hanya dipengaruhi oleh protokol, tetapi juga oleh desain arsitektur jaringan secara keseluruhan, termasuk pendekatan optimasi lintas-lapisan (cross-layer).

Dengan demikian, MQTT merupakan protokol yang paling unggul dalam skalabilitas, diikuti oleh CoAP untuk skenario terbatas, sedangkan HTTP kurang sesuai untuk implementasi IoT berskala besar.

E. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu (Kebaruan Penelitian)

Untuk menegaskan kontribusi penelitian ini, dilakukan perbandingan dengan beberapa penelitian terdahulu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Kebaruan Penelitian

Penelitian	Protokol	Latensi	Efisiensi Energi	Skalabilitas	Pendekatan
Silva et al. (2021)	MQTT, CoAP, OPC UA	✓	✓	✗	Eksperimental
Krawiec et al. (2025)	Multi-protokol	✗	✓	✓	Evaluasi energi & reliability
Khaleefah et al. (2025)	MQTT, CoAP, HTTP	✓	✓	✗	Empiris
Sonklin & Sonklin (2024)	MQTT	✓	✗	✗	Implementasi sistem
Petrescu et al. (2025)	Multi-protokol	✓	✓	✓	Review komprehensif
Kajian ini	MQTT, CoAP, HTTP	✓	✓	✓	Kajian komparatif terpadu

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat protokol komunikasi IoT yang unggul secara menyeluruh dalam semua parameter performa. CoAP memiliki keunggulan pada latensi rendah dan efisiensi energi, MQTT unggul dalam stabilitas komunikasi dan skalabilitas, sedangkan HTTP/HTTPS lebih baik dalam interoperabilitas dan integrasi sistem.

Selain itu, performa protokol juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti arsitektur jaringan dan kondisi komunikasi, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan analisis komparatif terpadu yang dapat menjadi dasar dalam perancangan sistem IoT yang optimal.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pemilihan protokol komunikasi IoT sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. CoAP direkomendasikan untuk sistem dengan keterbatasan energi dan kebutuhan latensi rendah, MQTT untuk sistem berskala besar dengan kebutuhan komunikasi yang stabil, serta HTTP/HTTPS untuk integrasi dengan layanan berbasis web.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi melalui eksperimen atau simulasi guna menguji hasil kajian secara lebih empiris. Selain itu, pengembangan pendekatan hybrid yang mengombinasikan beberapa protokol serta integrasi dengan arsitektur edge computing dapat menjadi solusi untuk meningkatkan performa sistem IoT. Pengembangan model pemilihan protokol adaptif juga menjadi peluang penelitian lanjutan untuk menentukan protokol secara dinamis sesuai kondisi jaringan.

DAFTAR REFERENSI

- Aleesha, M., & Laseena. (2022). MQTT Protocol for Resource Constrained IoT Applications : A Review. Proceedings of the International Conference on Systems, Energy and Environment 2022 (ICSEE 2022). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4299372>
- Azeez, H. H., & Abdullah, M., Z. (2023). Performance analysis of constrained application protocol (CoAP). AIP Conference Proceedings, 2591(1), 030074. <https://doi.org/10.1063/5.0119584>
- Enany, M. O. A., Harb, H. M., & Attiya, G. (2021). A Comparative analysis of MQTT and IoT application protocols. ICEEM. <https://doi.org/10.1109/ICEEM52022.2021.9480384>
- Jamal, E., & Zyane, A. (2025). Comprehensive Analysis, Modeling, and Optimization of QoS in OneM2M for IoT Applications: Integrating HTTP, MQTT, and CoAP Protocols With Automatic Traffic SLA Management. International Journal of Communication Systems, 38(14), e70277. <https://doi.org/10.1002/dac.70227>
- Khaleefah, R. M., Abed, A. A., & Al-Shareeda, M. A. (2025). Empirical evaluation of MQTT, CoAP and HTTP for smart city Internet of Things applications. International Journal of Mechatronics, Robotics, and, Artificial Intelligence, 1(2), 74-81. <https://doi.org/10.33971/ijmrai.1.2.10>

- Krawiec, J., Wybraniak-Kujawa, M., Jacyna-Golda, I., Kotylak, P., Panek, A., Wojtachnik, R., & Siedlecka-Wójcikowska, T. (2025). Energy footprint and reliability of IoT communication protocols for remote sensor networks. *Sensors*, 25(19), 6042. <https://doi.org/10.3390/s25196042>
- Mustafa, R. Sarkar, N. I., Mohaghegh, M., Pervez, S., & Morados, R (2025). A secure and energy-efficient cross-layer network architecture for IoT. *Sensors*, 25(11), 3457. <https://doi.org/10.3390/s25113457>
- Nugraha, I. R., Putra, W. H. N, & Setiawan, E. (2024). A Comparative Study of HTTP and MQTT for IoT Applications in Hydroponics. *Jurnal Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi*, 8(1), 119-126. <https://doi.org/10.29207/resti.v8i1.5561>
- Panagou, I. C., Katsoulis, S., Nannos, E., Zantalis, F., & Koulouras, G. (2025). A comprehensive evaluation of IoT cloud platforms: A feature-driven review with a decision-making tool. *Sensors*, 25(16), 5124. <https://doi.org/10.3390/s25165124>
- Petrescu, I., Niculae, E., Vulturescu, V., Dimitrescu, A., & Ungureanu, L. M. (2025). Transport and application layer protocols for IoT: Comprehensive review. *Technologies*, 13(12), 583. <https://doi.org/10.3390/technologies13120583>
- Silva, D., Carvalho, L. I., Soares, J., & Sofia, R. C. (2021). A performance analysis of Internet of Things networking protocols: Evaluating MQTT, CoAP, OPC UA. *Applied Sciences*, 11(11), 4879. <https://doi.org/10.3390/app11114879>
- Sonklin, K., & Sonklin, C. (2024). A performance evaluation of the Internet of Things–Message Queue Telemetry Transport protocol based water level warning system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 14(6), 7178–7185. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i6.pp7178-7185>
- Sponh, M. A. (2022). On MQTT Scalability in the Internet of Things: Issues, Solutions, and Future Directions. *JEEE*, 1(1), 23-24. <https://doi.org/10.37256/jeee.1120221687>
- Tripathi, S., & Chaurasia, B. K. (2023). Broker Clustering Enabled Lightweight Communication in IoT using MQTT. *ISCON*. <https://doi.org/10.1109/ISCON57294.2023.10112105>
- Zhang, S., You, X., Zhang, P., Huang, M., & Li, S. (2022). A UCB-based dynamic CoAP mode selection algorithm in distribution IoT. *Alexandria Engineering Journal*, 61(1), 719-727. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.101>