

Evaluasi Protokol Komunikasi berbasis Web dan Non-Web pada IoT: Tinjauan Literatur Sistematis

Web-based and Non-Web-based IoT Communication Protocols: A Systematic Literature Review

Elya Syafa'atun Ni'mah^{*1}, Muhammad Naufal Nashir², Maulana Fathurahman³, Reihan Diaz Pramudya⁴, dan Arief Arfriandi⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Semarang; Jl. Raya Banaran, Sekaran, Kec. Gn. Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah, [\(024\) 86008700](tel:02486008700)

^{1,2,3,4,5}Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Jawa Tengah
e-mail: ¹[*1elyasyafaatunn39@students.unnes.ac.id](mailto:elyasyafaatunn39@students.unnes.ac.id), ²[2mnnashir083@students.unnes.ac.id](mailto:mnnashir083@students.unnes.ac.id),
³[3maulanafathur10@students.unnes.ac.id](mailto:maulanafathur10@students.unnes.ac.id), ⁴[4reihandiaz978@students.unnes.ac.id](mailto:reihandiaz978@students.unnes.ac.id),
⁵[5arfriandi@mail.unnes.ac.id](mailto:arfriandi@mail.unnes.ac.id)

Abstrak

Perkembangan Internet of Things (IoT) menuntut penggunaan protokol komunikasi yang efisien, aman, dan mampu beradaptasi dengan keterbatasan perangkat serta kebutuhan integrasi layanan modern. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan protokol komunikasi berbasis web dan non-web pada ekosistem IoT melalui pendekatan Systematic Literature Review (SLR). Studi ini menganalisis 30 artikel primer yang relevan dan dipublikasikan pada periode 2020–2025. Proses SLR disusun menggunakan kerangka Population, Intervention, Comparison, Outcomes, dan Context (PICOC) untuk merumuskan pertanyaan penelitian, menentukan cakupan kajian, serta mengidentifikasi literatur relevan. Seleksi studi dilakukan melalui penyaringan sistematis, penilaian kualitas, dan ekstraksi data. Analisis dilakukan dengan memetakan dan membandingkan protokol komunikasi IoT berdasarkan empat aspek kunci, yaitu performa, efisiensi energi, skalabilitas, dan keamanan. Hasil kajian menunjukkan bahwa protokol non-web seperti Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) dan Constrained Application Protocol (CoAP) unggul pada efisiensi energi dan latensi rendah, sedangkan protokol berbasis web seperti Hypertext Transfer Protocol/Representational State Transfer (HTTP/REST), WebSocket, Web of Things (WoT), dan Matter lebih mendukung interoperabilitas dan integrasi layanan cloud. Studi ini menyimpulkan bahwa pendekatan arsitektur IoT modern cenderung mengadopsi model hibrida untuk mencapai kinerja dan keandalan sistem yang optimal.

Kata kunci—Tinjauan Literatur Sistematis (SLR), Internet of Things (IoT), Protokol Komunikasi, Protokol Berbasis Web, Protokol Non-Web

Abstract

The development of the Internet of Things (IoT) requires the use of communication protocols that are efficient, secure, and capable of adapting to device limitations and modern service integration

needs. This study aims to evaluate and compare web-based and non-web-based communication protocols in the IoT ecosystem through a Systematic Literature Review (SLR) approach. This study analyzed 30 relevant primary articles published between 2020 and 2025. The SLR process was structured using the Population, Intervention, Comparison, Outcomes, and Context (PICOC) framework to formulate research questions, determine the scope of the study, and identify relevant literature. Study selection was conducted through systematic screening, quality assessment, and data extraction. The analysis was conducted by mapping and comparing IoT communication protocols based on four key aspects, namely performance, energy efficiency, scalability, and security. The results of the study show that non-web protocols such as Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) and Constrained Application Protocol (CoAP) excel in energy efficiency and low latency, while web-based protocols such as Hypertext Transfer Protocol/Representational State Transfer (HTTP/REST), WebSocket, Web of Things (WoT), and Matter better support interoperability and cloud service integration. This study concludes that modern IoT architecture approaches tend to adopt a hybrid model to achieve optimal system performance and reliability.

Keywords—Systematic Literature Review (SLR), Internet of Things (IoT), Communication Protocols, Web-Based Protocols, Non-Web Protocols

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, Internet of Things (IoT) menjadi salah satu paradigma utama dalam revolusi industri keempat yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan sehari-hari [1]. Perluasan transformasi digital dan meningkatnya kebutuhan akan lingkungan yang terhubung dan cerdas mendorong pemanfaatan IoT untuk meningkatkan kualitas, efisiensi, dan skalabilitas layanan. Implementasi IoT mencakup berbagai domain, seperti *smart building*, otomasi rumah, layanan kesehatan jarak jauh (*e-health*), *smart farming*, robotika otonom, serta infrastruktur *smart city* berskala besar [2], [3]. Selain itu, tren terbaru menunjukkan bahwa ekosistem IoT semakin bergerak menuju arsitektur terdistribusi yang menekankan efisiensi, latensi rendah, dan keamanan data, termasuk integrasi teknologi *edge computing* dan *blockchain* sebagai pendukung utama pengolahan data dekat sumber serta perlindungan integritas informasi [4].

Konektivitas dalam ekosistem IoT sangat bergantung pada mekanisme komunikasi yang efisien melalui protokol ringan yang dirancang khusus untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya. Salah satu protokol yang telah menjadi standar *de facto* adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), yang menggunakan model *publish-subscribe* untuk memastikan pengiriman pesan yang andal dengan *overhead* rendah dan konsumsi daya minimal [5]. Protokol ini sangat relevan pada lingkungan dengan konektivitas tidak stabil, sehingga mekanisme seperti *store-and-forward* atau *carry-and-forward* yang diterapkan pada level *broker* menjadi krusial [6]. Selain itu, *Constrained Application Protocol* (CoAP) menawarkan alternatif berbasis model *RESTful request/response* di atas *User Datagram Protocol* (UDP) yang dioptimalkan untuk perangkat dan jaringan terbatas [7].

Meskipun protokol MQTT dan CoAP terbukti efektif untuk komunikasi mesin-ke-mesin (*machine-to-machine/M2M*), keberagaman protokol tersebut menimbulkan sejumlah tantangan, terutama terkait interoperabilitas, skalabilitas, serta integrasi dengan layanan web standar [8]. Tantangan ini semakin relevan pada arsitektur IoT terdistribusi modern, di mana integrasi *edge computing* dan mekanisme keamanan seperti *blockchain* menuntut konsistensi data, efisiensi komunikasi, dan keandalan lintas perangkat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, konsep *Web of Things* (WoT) dikembangkan dengan tujuan mengintegrasikan perangkat IoT ke dalam ekosistem *World Wide Web* melalui pemanfaatan standar web universal seperti HTTP/REST API

dan WebSocket [9], [10]. Perkembangan ini memicu diskusi mengenai efektivitas protokol IoT khusus dibandingkan dengan protokol berbasis web yang lebih generik dan mudah diakses.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa arsitektur hibrida atau berbasis *middleware* mampu menggabungkan keunggulan protokol IoT dan protokol web secara lebih efektif. Sistem semacam ini umumnya menggunakan *gateway* multiprotokol untuk melakukan translasi dan menyatukan komunikasi antar protokol, misalnya memetakan permintaan RESTful CoAP ke MQTT, atau menggabungkan data dari MQTT, HTTP, dan CoAP sebelum dikirim melalui satu koneksi WebSocket [11]. Pendekatan tersebut memungkinkan efisiensi protokol ringan di sisi jaringan (*edge*), sekaligus mempertahankan interoperabilitas dan aksesibilitas universal dari standar web di tingkat aplikasi [12]. Namun demikian, kajian-kajian sebelumnya masih memiliki keterbatasan, antara lain berfokus pada protokol tertentu atau skenario aplikasi yang spesifik, serta belum menyajikan analisis komparatif yang komprehensif antara protokol berbasis web dan non-web dari berbagai aspek evaluasi secara simultan. Oleh karena itu, masih dibutuhkan tinjauan sintesis yang sistematis untuk mengevaluasi implementasi protokol web dan membandingkannya dengan protokol IoT non-web secara menyeluruh.

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini melakukan Systematic Literature Review (SLR) dengan pendekatan Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context (PICOC) [13], untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis bukti empiris dari berbagai studi primer. Penelitian ini dirumuskan untuk menjawab dua pertanyaan penelitian utama sebagai berikut:

RQ1: Protokol komunikasi berbasis web apa yang paling dominan digunakan dalam implementasi sistem IoT?

RQ2: Bagaimana perbandingan protokol berbasis web dan non-web dalam sistem IoT ditinjau dari aspek kinerja (latensi/delay), efisiensi sumber daya (penggunaan CPU dan konsumsi energi), skalabilitas, dan keamanan?

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa pemetaan komprehensif karakteristik protokol komunikasi IoT berbasis web dan non-web, serta menjadi referensi dalam pemilihan protokol yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi dan arsitektur sistem IoT. Hasil kajian ini juga diharapkan dapat mendukung pengembangan sistem IoT yang lebih efisien, interoperabel, dan aman, baik untuk kepentingan akademik maupun implementasi praktis di industri.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Defining the review protocol

Artikel ini merupakan artikel *Systematic Literature Review* (SLR), yang berfokus pada evaluasi dan perbandingan protokol komunikasi berbasis web dan non-web yang digunakan dalam sistem IoT dan WoT. Kajian ini mencakup protokol web seperti HTTP/REST, WebSocket, WoT, dan Matter, serta protokol non-web seperti MQTT, CoAP, AMQP, dan Zigbee, untuk memastikan analisis yang komprehensif sesuai dengan tujuan penelitian.

Dalam tinjauan ini, penulis menerapkan protokol Population, Intervention, Comparison, Outcome, and Context (PICOC) sebagai panduan untuk menjaga ketepatan arah analisis dan konsistensi dalam menyusun hasil kajian. Pendekatan PICOC merupakan pendekatan yang umum digunakan pada penelitian SLR, dimana pendekatan ini berperan penting dalam memastikan proses peninjauan agar lebih terstruktur dan sistematis melalui identifikasi unsur populasi, intervensi, pembanding, hasil yang diharapkan, serta konteks penerapan penelitian [13], [14]. Dengan demikian, penggunaan PICOC membantu memperjelas fokus dan arah analisis, sehingga hasil tinjauan yang diperoleh menjadi lebih valid dan transparan. Tabel I merupakan ringkasan komponen PICOC yang menjadi acuan utama dalam proses penelusuran, seleksi, dan perumusan pertanyaan penelitian.

Tabel 1. Penerapan Metode PICOC

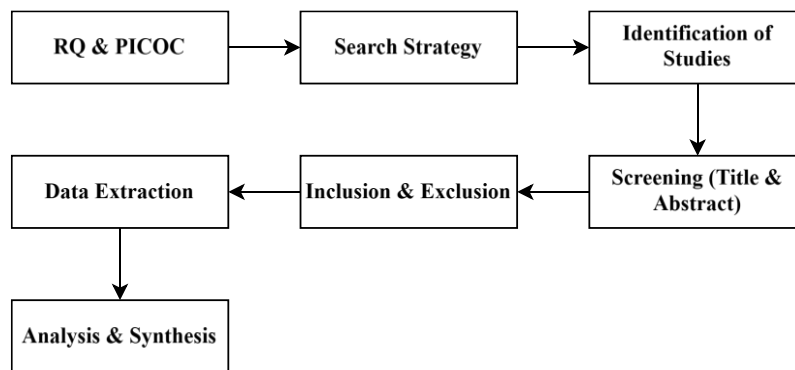
	Deskripsi	Example	Related Term/Alternative
Population	Sistem IoT yang menggunakan standar atau protokol berbasis web maupun non-web untuk komunikasi dan integrasi	REST API, HTTP/2, WebSocket, CoAP, MQTT, AMQP, Zigbee.	Web of Things, IoT System, Connected Devices
Intervention	Pemanfaatan teknologi berbasis web dalam IoT, termasuk REST API, HTTP/2, CoAP, dan WebSocket untuk meningkatkan interoperabilitas, efisiensi, dan keamanan.	REST API untuk monitoring sensor kesehatan, CoAP pada smart grid, WebSocket untuk smart city alert system, HTTP/2 untuk IoT berbasis browser.	IoT web integration, web protocols for IoT, WoT standards
Comparison	Membandingkan protokol berbasis web dengan protokol non-web (misalnya MQTT, AMQP, Zigbee) dari aspek performa, efisiensi, dan skalabilitas untuk melihat kelebihan dan kekurangannya dalam implementasi IoT.	REST API vs MQTT untuk smart farming, HTTP vs CoAP pada smart building, WebSocket vs AMQP di smart factory, Zigbee vs REST API pada smart lighting	Findings, recommendation, best practice, secure IoT communication
Outcome	Pemetaan protokol berbasis web yang paling sesuai untuk IoT, dilihat dari efisiensi, interoperabilitas, skalabilitas, dan keamanan.	REST API fleksibel untuk integrasi, CoAP hemat energi untuk sensor, WebSocket unggul untuk komunikasi real-time, HTTP/2 mendukung IoT skala besar, MQTT untuk efisiensi data.	Result, findings, recommendation, best practice
Context	Studi literatur 2020–2025 yang membahas implementasi Web of Things pada berbagai domain aplikasi.	IEEE, ACM, Scopus, Springer paper.	Web of Things research, IoT standardization, web-based IoT applications

Tabel 2. Kata Kunci dan Kueri yang digunakan

Jurnal Internasional	TITLE-ABS-KEY(("Web of Things" OR "WoT" OR "Internet of Things" OR "IoT") AND ("Web-based Protocol" OR "Web Protocol" OR "REST API" OR "CoAP" OR "WebSocket" OR "Communication Protocol")
----------------------	--

Evaluasi Protokol Komunikasi berbasis Web dan Non-Web pada IoT: Tinjauan Literatur Sistematis

	AND ("MQTT" OR "IoT Protocol" OR "Zigbee") AND ("Performance" OR "Energy Efficiency" OR "Scalability" OR "Security")) AND NOT TITLE-ABS-KEY("review" OR "literature review" OR "systematic review") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"cp")) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2026
Jurnal Nasional	"MQTT" DAN "Websocket" DAN "Komparasi""MQTT" DAN "CoAP" DAN "Analisis Kinerja", "Protokol Komunikasi IoT" DAN "Kualitas Layanan", "Protokol Komunikasi IoT" DAN "HTTP" DAN "MQTT", "Protokol MQTT" DAN "Protokol CoAP" DAN "Delay"



Gambar 1. Alur *Systematic Literature Review* (SLR)

2. 2 Alur Proses *Systematic Literature Review*

Proses SLR dilakukan secara sistematis dan terstruktur untuk memastikan transparansi serta reproduisibilitas kajian. Tahapan awal dimulai dengan perumusan tujuan penelitian dan pertanyaan penelitian (RQ) menggunakan pendekatan PICOC. Selanjutnya, dilakukan penyusunan strategi pencarian literatur dengan menentukan batas ilmiah, kata kunci, serta kueri pencarian yang relevan. Artikel yang diperoleh dari proses pencarian kemudian melalui tahap identifikasi dan penyaringan awal berdasarkan judul dan abstrak. Studi yang lolos akan diseleksi menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi untuk memastikan kesesuaian dengan ruang lingkup penelitian. Artikel yang terpilih kemudian dilakukan ekstraksi data yang berfokus pada jenis protokol komunikasi IoT, kategori protokol (berbasis web dan non-web), serta aspek evaluasi yang meliputi performa, efisiensi energi, skalabilitas, dan keamanan. Tahap akhir dari proses SLR adalah sintesis dan analisis hasil, yang dilakukan secara komparatif untuk menjawab masing-masing pertanyaan penelitian. Alur SLR yang digunakan dalam penelitian ini disajikan secara ringkas dalam bentuk diagram alur yang ada di Gambar 1.

2. 3 *Search Strategi*

Dalam artikel ini, strategi pencarian literatur disusun secara sistematis untuk memastikan studi yang relevan dapat diidentifikasi dan diseleksi. Tahapan utama dalam proses pencarian adalah pemilihan basis data, penyusunan kata kunci pencarian, dan penetapan batasan penelitian.

a. Seleksi Basis Data

Untuk memperoleh sumber literatur yang kredibel dan representatif, pencarian artikel dilakukan pada beberapa digital database, yaitu Scopus, Science Direct, Nature, MDPI, dan Google Scholar.

b. Kata Kunci dan Kueri

Kata kunci pencarian disusun berdasarkan PICOC yang telah dirumuskan dengan menggunakan operator Boolean AND dan OR, seperti pada Tabel 2.

2. 4 Study Selection

Proses pemilihan literatur dilaksanakan melalui beberapa tahap penyaringan, mulai dari judul dan abstrak hingga evaluasi terhadap isi artikel. Hal ini bertujuan agar hanya publikasi yang relevan dapat masuk ke tahap analisis. Untuk menjaga konsistensi proses, kriteria inclusion dan exclusion dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemetaan Studi yang Mengkaji terhadap Protokol Utama

Kategori	Kriteria
Inclusion	Publikasi antara 2020-2025
	Artikel merupakan hasil penelitian, simulasi, atau uji coba dalam bentuk jurnal atau konferensi.
	Relevan dengan penggunaan protocol berbasis web dalam IoT/WoT
Exclusion	Artikel terbit sebelum 2020
	Publikasi dengan menggunakan Bahasa selain Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia.
	Artikel SLR.
	Artikel tidak membahas protocol web untuk IoT/WoT dan tidak dapat menjawab RQ 1 maupun RQ 2.

Tabel 4. Pemetaan Studi yang Mengkaji terhadap Protokol Utama

Protokol IoT	Kategori	Frekuensi	Studi yang Mengkaji
MQTT	Non-Web	22	[1], [3], [5], [6], [9], [11], [12], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30].
CoAP (UDP)	Non-Web	15	[1], [3], [8], [9], [11], [15], [18], [20], [23], [24], [25], [27], [31], [32].
HTTP/REST API	Web-Based	14	[2], [3], [7], [8], [11], [16], [17], [18], [21], [22], [25], [29], [31], [32].
WebSocket	Web-Based	5	[2], [16], [30], [31], [33].
AMQP	Non-Web	3	[15], [23], [31].
WoT	Web-Based	2	[2], [19]
Matter	Web-Based	1	[31]

Tabel 5. Perbandingan Aspek Evaluasi Protokol yang digunakan

Aspek Evaluasi	Protokol Berbasis Web	Protokol Non-Web
Performa	HTTP memiliki latency tinggi [25] dan overhead besar [9]. WebSocket mampu mengurangi overhead 40–60% dibanding HTTP polling [33], dan latensi lebih rendah untuk komunikasi	MQTT sangat rendah latency (2–10 ms) [18], [25]. CoAP memiliki packet loss rendah dan performa baik pada jaringan padat dan unggul pada <i>response time</i> singkat [11], [18].

Evaluasi Protokol Komunikasi berbasis Web dan Non-Web pada IoT: Tinjauan Literatur Sistematis

	dua arah [29]. WoT & Matter stabilitas tetapi tidak secepat protokol ringan [31].	
Efisiensi Energi	HTTP/REST boros energi [9]. WebSocket lebih efisien daripada HTTP polling karena koneksi persisten dengan overhead minimal [33]. WoT membutuhkan energi lebih untuk semantic linking [12].	CoAP memiliki konsumsi daya terendah karena berjalan di atas UDP dan header sangat kecil [18], [23]. MQTT efisien berkat sesi TCP persisten tanpa koneksi berulang [25].
Skalabilitas	HTTP dan WebSocket menghadapi beban server besar ketika jumlah koneksi meningkat [9]. WoT dan Matter meningkatkan skalabilitas melalui <i>microservices</i> dan <i>containerization</i> [12], [31].	MQTT sangat skalabel (broker mendukung ribuan node) [21], [32]. CoAP mendukung multicast untuk sinkronisasi banyak perangkat, namun reliabilitas UDP terbatas [11].
Keamanan	HTTP, WebSocket, WoT, Matter mendukung HTTPS/TLS, OAuth, token authentication, dan WSS sehingga memberikan keamanan tinggi [2]. Matter menggunakan sertifikat perangkat untuk mencegah MITM [31].	MQTT dan CoAP awalnya tidak memiliki keamanan bawaan. CoAP dapat diamankan dengan Group OSCORE untuk enkripsi object-level dan multicast secure communication [24]. ACE Framework berbasis CoAP menyediakan autentikasi dan otorisasi ringan tetapi kuat [32].

2. 5 Metode Analisis untuk Menjawab Pertanyaan Penelitian

Untuk menjawab RQ1 mengenai dominasi protokol komunikasi berbasis web dalam implementasi sistem IoT, dilakukan analisis deskriptif terhadap studi primer terpilih dengan mengidentifikasi jenis protokol komunikasi yang digunakan pada setiap penelitian. Data kemudian dikelompokkan berdasarkan kategori protokol berbasis web dan non-web, serta dianalisis berdasarkan frekuensi kemunculannya dalam studi literatur.

Untuk menjawab RQ2, dilakukan analisis komparatif antara protokol berbasis web dan non-web berdasarkan empat aspek evaluasi utama, yaitu performa, efisiensi energi, skalabilitas, dan keamanan. Informasi terkait aspek-aspek tersebut diekstraksi dari hasil eksperimen, simulasi, maupun evaluasi kualitatif yang dilaporkan pada studi primer. Hasil analisis kemudian dianalisis dan disajikan dalam bentuk uraian dan tabel untuk mengidentifikasi keunggulan, keterbatasan, serta kecenderungan penggunaan masing-masing kategori protokol dalam sistem IoT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Protokol Komunikasi pada Implementasi IoT

Berdasarkan analisis terhadap 30 artikel, protokol komunikasi pada implementasi IoT dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu protokol berbasis web dan protokol non-web. Keduanya memiliki karakteristik berbeda yang mempengaruhi performa sistem, model komunikasi, dan tingkat integrasi dengan layanan berbasis web.

Protokol berbasis web yang banyak dijumpai meliputi HTTP/REST, WebSocket, Web of Things (WoT), dan Matter. Protokol tersebut memanfaatkan infrastruktur web yang telah matang sehingga mudah diintegrasikan dengan antarmuka pengguna, platform cloud, dan layanan berbasis API. Dari seluruh studi, HTTP/REST dan WebSocket merupakan protokol web yang paling dominan digunakan. HTTP/REST banyak digunakan pada sistem monitoring sederhana

karena kemudahan implementasi dan kompatibilitasnya, sedangkan WebSocket digunakan pada aplikasi yang membutuhkan komunikasi dua arah secara real-time, seperti live monitoring dan push notification. WoT dan Matter muncul pada penelitian yang lebih baru, menunjukkan tren menuju interoperabilitas semantik dan standarisasi komunikasi lintas perangkat.

Protokol non-web yang paling banyak digunakan adalah MQTT, CoAP, dan AMQP, yang dirancang untuk efisiensi komunikasi pada perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya. MQTT adalah protokol yang paling sering digunakan, berkat arsitektur publish/subscribe yang ringan dan latensi rendah [5]. CoAP, meskipun berbasis REST seperti HTTP, dioptimalkan untuk perangkat terbatas dan berjalan di atas UDP [7], sehingga dalam penelitian ini diklasifikasikan sebagai protokol non-web karena model operasionalnya lebih dekat dengan lightweight IoT protokol dibanding protokol web antarmuka pengguna. Sementara itu, AMQP digunakan pada penelitian yang memerlukan antrian pesan tingkat lanjut dan reliabilitas tinggi pada sistem berskala besar [15].

Secara keseluruhan, protokol non-web lebih dominan digunakan dalam studi IoT, terutama pada aplikasi yang menuntut efisiensi energi, latensi rendah, dan komunikasi antarperangkat secara langsung. Sebaliknya, protokol berbasis web lebih banyak diimplementasikan pada sistem yang berorientasi pada integrasi layanan, visualisasi data, dan interoperabilitas lintas platform. Temuan ini menegaskan bahwa kedua kelompok protokol tersebut memiliki peran yang saling melengkapi, serta mencerminkan keragaman kebutuhan komunikasi dalam ekosistem IoT modern.

3.2 Perbandingan Efektifitas Protokol Komunikasi Berbasis Web dan Non-Web

Protokol berbasis web dan non-web memiliki peran yang berbeda dalam komunikasi IoT. Seperti pada Tabel 5, protokol non-web seperti MQTT dan CoAP lebih sesuai untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya karena memberikan latensi rendah, konsumsi energi kecil, dan skalabilitas yang baik. Sebaliknya, protokol berbasis web seperti HTTP/REST, WebSocket, WoT, dan Matter lebih unggul dalam interoperabilitas dan integrasi aplikasi berkat kompatibilitasnya dengan layanan web dan cloud.

Dengan demikian, kedua kategori protokol saling melengkapi. Protokol non-web efektif pada perangkat atau edge, sedangkan protokol berbasis web mendukung kebutuhan integrasi aplikasi dan layanan. Banyak implementasi IoT modern menggabungkan keduanya, misalnya MQTT/CoAP pada sensor dan HTTP/WebSocket pada lapisan aplikasi untuk memperoleh kinerja dan fleksibilitas yang optimal.

3.3 Implikasi Temuan dan Tren Pengembangan Protokol Komunikasi IoT

Temuan pada penelitian ini memberikan sejumlah implikasi penting yang dapat menjadi dasar dalam pengembangan arsitektur dan standar komunikasi IoT masa depan. Analisis menunjukkan bahwa tidak ada satu protokol komunikasi yang mampu memenuhi seluruh kebutuhan IoT secara optimal. Penggunaan arsitektur hybrid muncul sebagai kebutuhan teknis yang semakin relevan dalam implementasi sistem IoT berskala besar. Protokol non-web seperti MQTT dan CoAP unggul dalam performa, efisiensi energi, dan latensi rendah, sehingga ideal digunakan pada lapisan edge atau perangkat sensor [5], [6], [7], [18]. Sementara itu, protokol berbasis web seperti HTTP/REST, WebSocket, dan WoT dan Matter lebih sesuai pada lapisan aplikasi dan integrasi cloud karena kompatibilitasnya yang tinggi dengan sistem web modern [2], [16], [31].

Studi lain juga menegaskan bahwa IoT modern membutuhkan interoperabilitas antar protokol melalui gateway atau middleware [8], [11], [29]. Peningkatan adopsi WOT dan Matter [9] menunjukkan bahwa perangkat IoT kini tidak hanya membutuhkan kompatibilitas jaringan, tetapi juga kesesuaian dalam deskripsi layanan, model data, dan mekanisme discovery. Dengan Thing Description (TD) terbukti mengurangi fragmentasi dan menyederhanakan integrasi lintas platform. Dari sisi performa, HTTP/REST, yang memiliki overhead besar dan konsumsi energi

tinggi [26], [28], sementara WebSocket dan HTTP/2 menunjukkan peningkatan efisiensi yang signifikan [10]. Meskipun demikian, MQTT dan CoAP tetap menjadi pilihan terbaik pada lingkungan terbatas karena latensi rendah dan konsumsi energi minimal [5], [7], [15].

Pada aspek keamanan, terdapat pergeseran menuju keamanan berbasis framework. Studi [24], [32] menunjukkan penggunaan TLS/HTTPS, WSS, OSCORE, dan ACE mampu memberikan keamanan end-to-end tanpa bergantung pada protokol tertentu. Tren teknologi baru menunjukkan middleware multi protocol, virtualisasi edge, dan arsitektur microservices untuk mendukung translasi antar protokol seperti REST-MQTT atau CoAP-MQTT [1], [8], [11], [12]. Secara keseluruhan hasil SLR ini menegaskan bahwa pengembangan protokol IoT bergerak menuju model yang hybrid, interoperabel, dan semantik, dengan kombinasi protokol web dan non-web yang mampu memenuhi kebutuhan performa, keamanan, dan skalabilitas pada sistem IoT modern.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan terhadap 30 studi literatur, penelitian ini menegaskan bahwa setiap protokol komunikasi yang digunakan dalam ekosistem Internet of Things (IoT) memiliki karakteristik, keunggulan, serta keterbatasannya masing-masing, sehingga tidak ada satu protokol pun yang mampu memenuhi seluruh kebutuhan sistem secara menyeluruh. Protokol non-web seperti MQTT dan CoAP terbukti unggul dalam skenario perangkat dengan sumber daya terbatas, ditandai dengan latensi sangat rendah, efisiensi energi tinggi, serta skalabilitas yang baik. Karakteristik tersebut menjadikan protokol non-web sangat sesuai diterapkan pada lapisan edge atau node sensor pada arsitektur IoT terdistribusi.

Sebaliknya, protokol berbasis web seperti HTTPS/REST, WebSocket, WoT, dan Matter lebih menonjol pada aspek interoperabilitas, integrasi layanan, dan keamanan. Dukungan terhadap TLS/HTTPS, autentikasi berbasis token, kanal terenkripsi WSS, serta kemampuan komunikasi dua arah yang efisien menjadikan protokol web ideal untuk aplikasi yang membutuhkan integrasi dengan platform web dan cloud. Selain itu, perkembangan WoT dan Matter menunjukkan arah standarisasi semantik yang semakin memperkuat komunikasi lintas perangkat pada ekosistem IoT modern.

Temuan ini juga selaras dengan tren terkini dalam pengembangan IoT yang bergerak menuju arsitektur terdistribusi, efisien, dan aman—ditandai dengan pemanfaatan edge computing serta dukungan mekanisme keamanan tambahan seperti blockchain. Kompleksitas arsitektur tersebut mempertegas kebutuhan protokol komunikasi yang tidak hanya ringan dan efisien, tetapi juga mampu menjaga integritas data dan interoperabilitas pada berbagai tingkat jaringan.

Secara keseluruhan, arsitektur IoT modern menunjukkan kecenderungan kuat menuju pendekatan hibrida, yaitu menggabungkan protokol non-web pada lapisan perangkat untuk performa optimal, dan protokol berbasis web pada lapisan aplikasi untuk interoperabilitas, keamanan, serta integrasi layanan. Peningkatan pemanfaatan middleware multiprotokol, virtualisasi edge, dan standar baru seperti Matter menggambarkan upaya industri dan akademik untuk mengatasi fragmentasi protokol sekaligus meningkatkan keandalan sistem. Dengan demikian, kombinasi protokol web dan non-web menjadi strategi paling efektif dalam mencapai performa tinggi, skalabilitas, keamanan, dan fleksibilitas pada implementasi IoT masa kini maupun masa depan.

5. SARAN

Berdasarkan hasil tinjauan literatur, terdapat beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya. Pertama, diperlukan studi eksperimental yang menguji performa protokol web dan non-web pada skenario IoT terdistribusi yang lebih kompleks, termasuk integrasi edge computing dan middleware multiprotokol. Penelitian mendatang juga dapat menambahkan variabel evaluasi seperti keandalan jangka panjang, ketahanan terhadap gangguan jaringan, serta dampak beban trafik dinamis terhadap performa protokol.

Selain itu, penelitian lanjutan perlu mengevaluasi protokol yang sedang berkembang seperti Matter, Web of Things (WoT), dan mekanisme keamanan berbasis framework seperti OSCORE dan ACE pada lingkungan IoT berskala besar. Perlu juga dilakukan analisis mendalam mengenai interoperabilitas semantik untuk mengurangi fragmentasi antar perangkat dan platform IoT. Dengan demikian, penelitian-penelitian selanjutnya diharapkan dapat mendukung pengembangan arsitektur komunikasi IoT yang semakin efisien, aman, dan interoperabel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih dan menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam proses diskusi, pengumpulan data, dan validasi hasil sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] C. Innamorati, A. E. C. Redondi, and M. Cesana, "Designing a Broker Extension for Seamless CoAP and MQTT Interoperability," in *2024 IEEE 8th Forum on Research and Technologies for Society and Industry Innovation (RTSI)*, IEEE, Sep. 2024, pp. 437–442. doi: 10.1109/RTSI61910.2024.10761826.
- [2] N. Ekren, M. Sensoy, and T. C. Akinci, "Smart Buildings Using Web of Things with .NET Core: A Framework for Inter-Device Connectivity and Secure Data Transfer," *Information*, vol. 16, no. 2, p. 123, Feb. 2025, doi: 10.3390/info16020123.
- [3] Sushilkumar N Holambe, "IoT Frameworks: Comparing Efficiency and Scalability in Smart City Applications," *Advances in Nonlinear Variational Inequalities*, vol. 27, no. 3, pp. 511–523, Aug. 2024, doi: 10.52783/anvi.v27.1416.
- [4] V. Z. Erikasari, T. F. Maharani, and Elkin Rilvani, "Literature Review: Blokchain dan Edge Computing dalam Optimalisasi Sistem Terdistribusi Masa Depan," *SISFOTENIKA*, vol. 15, no. 1, pp. 43–54, Jan. 2025, doi: 10.30700/sisfotenika.v15i1.531.
- [5] U. Ristian, I. Ruslianto, H. Hasfani, and K. Sari, "Perancangan Arsitektur Node Nirkabel dalam Efisiensi Bandwidth Smart Greenhouse Berbasis Protokol MQTT," *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, vol. 9, no. 2, p. 218, Aug. 2023, doi: 10.26418/jp.v9i2.63885.
- [6] Dyah Ayu Ocky Mawardani, Adhitya Bhawiyuga, and Dany Primanita Kartikasari, "Implementasi Mekanisme Carry and Forward Antar Broker MQTT pada Lingkungan dengan Konektivitas Tidak Stabil (Intermittent Connection)," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. Vol. 5, No. 4, pp. 1435–1441, 2021.
- [7] Nilam Andi Safitri and Ardy Seto Priambodo, "MQTT and CoAP Communication Protocol Analysis in Internet of Things System for Strawberry Hydroponic Plants," *Journal of Robotics, Automation, and Electronics Engineering*, vol. 1, no. 1, Aug. 2023, doi: 10.21831/jraee.v1i1.69.
- [8] N. K. Trivedi and Dr. G. V. Chowdhary, "Middleware Architectures for IoT: Enhancing Interoperability and Scalability," *International Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 14, no. 2, pp. 211–218, Jun. 2025, doi: 10.14419/5ndney78.
- [9] S. R. Bader and M. Maleshkova, "SOLIOT—Decentralized Data Control and Interactions for IoT," *Future Internet*, vol. 12, no. 6, p. 105, Jun. 2020, doi: 10.3390/fi12060105.
- [10] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, vol. 5, no. 4, pp. 63–72, Jan. 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [11] N. H. Ahmed, A. M. Sadek, H. Al-Feel, and R. A. AbulSeoud, "Internet of Things Multi-protocol Interoperability with Syntactic Translation Capability," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 9, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120969.
- [12] I. M. Al-Joboury and E. H. Al-Hemiary, "Virtualized Fog Network with Load Balancing for IoT based Fog-to-Cloud," *JOIV : International Journal on Informatics Visualization*, vol. 4, no. 3, pp. 123–126, Sep. 2020, doi: 10.30630/joiv.4.3.374.
- [13] A. H. Dehkordi, E. Mazaheri, H. A. Ibrahim, S. Dalvand, and R. Ghanei Gheshlagh, "How to Write a Systematic Review: A Narrative Review," *Int J Prev Med*, vol. 12, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.4103/ijpvm.IJPVM_60_20.

Evaluasi Protokol Komunikasi berbasis Web dan Non-Web pada IoT: Tinjauan Literatur Sistematis

-
- [14] A. Carrera-Rivera, F. Larrinaga, and G. Lasa, "Context-awareness for the design of Smart-product service systems: Literature review," *Comput Ind*, vol. 142, p. 103730, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.compind.2022.103730.
- [15] A. Rizzardi, S. Sicari, and A. Coen-Porisini, "Analysis on functionalities and security features of Internet of Things related protocols," *Wireless Networks*, vol. 28, no. 7, pp. 2857–2887, Oct. 2022, doi: 10.1007/s11276-022-02999-7.
- [16] J. J. Pérez-Solano and A. Ruiz-Canales, "Data Collection and Remote Control of an IoT Electronic Nose Using Web Services and the MQTT Protocol," *Sensors*, vol. 25, no. 14, p. 4356, Jul. 2025, doi: 10.3390/s25144356.
- [17] S. Tsakalidis, G. Tsoulos, D. Kontaxis, and G. Athanasiadou, "Design and Implementation of a Versatile OpenHAB IoT Testbed with a Variety of Wireless Interfaces and Sensors," *Telecom*, vol. 4, no. 3, pp. 597–610, Aug. 2023, doi: 10.3390/telecom4030026.
- [18] C. Sarkar, A. Das, and R. K. Jain, "Development of CoAP protocol for communication in mobile robotic systems using IoT technique," *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, p. 9269, Mar. 2025, doi: 10.1038/s41598-024-76713-2.
- [19] F. Chiti and G. Gandini, "Distributed Ledger as a Service: A Web 3.0-Oriented Architecture," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 12, no. 4, p. 57, Jul. 2023, doi: 10.3390/jsan12040057.
- [20] Y. Im and M. Lim, "E-MQTT: End-to-End Synchronous and Asynchronous Communication Mechanisms in MQTT Protocol," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 22, p. 12419, Nov. 2023, doi: 10.3390/app132212419.
- [21] C. R. S. Ram *et al.*, "Internet of Green Things with autonomous wireless wheel robots against green houses and farms," *Int J Distrib Sens Netw*, vol. 16, no. 6, p. 155014772092347, Jun. 2020, doi: 10.1177/1550147720923477.
- [22] C. D'Ortona, D. Tarchi, and C. Raffaelli, "Open-Source MQTT-Based End-to-End IoT System for Smart City Scenarios," *Future Internet*, vol. 14, no. 2, p. 57, Feb. 2022, doi: 10.3390/fi14020057.
- [23] M. Gohar, S. Anwar, M. Ali, J.-G. Choi, H. Alquhayz, and S.-J. Koh, "Partial Bicasting with Buffering for Proxy Mobile IPV6 Mobility Management in CoAP-Based IoT Networks," *Electronics (Basel)*, vol. 9, no. 4, p. 598, Mar. 2020, doi: 10.3390/electronics9040598.
- [24] M. Gunnarsson, K. M. Malarski, R. Höglund, and M. Tiloca, "Performance Evaluation of Group OSCORE for Secure Group Communication in the Internet of Things," *ACM Transactions on Internet of Things*, vol. 3, no. 3, pp. 1–31, Aug. 2022, doi: 10.1145/3523064.
- [25] I Kadek Yogi Kurniawan, I Gede Andika, I Gede Made Yudi Antara, I Gusti Made Ngurah Desnanjaya, and Anak Agung Gde Ekayana, "Analisis Quality of Service Protokol MQTT, HTTP, dan CoAP dalam Pengiriman Data ke Thingsboard," *Informatics Journal*, vol. Vol. 9 No. 1 (2024), pp. 49–56, 2024.
- [26] U. Achlison, Khoirur Rozikin, and Fujijama Diapoldo, "Analisis Implementasi Temperature Screening Contactless berbasis Internet Of Things (IOT) Menggunakan Protokol Message Queue Telemetry Transport (MQTT)," *Pixel :Jurnal Ilmiah Komputer Grafis*, vol. 14, no. 2, pp. 315–322, Dec. 2021, doi: 10.51903/pixel.v14i2.617.
- [27] M. S. Umam, Suryo Adi Wibowo, and Yosep Agus Pranoto, "Implementasi Protokol Mqtt Pada Aplikasi Smart Garden Berbasis Iot (Internet of Things)," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 1, pp. 899–906, Feb. 2023.
- [28] H. Sofiumayroh and H. Hasfani, "Pemanfaatan Protokol Http pada Sistem Monitoring Suhu Air Menggunakan Website Berbasis Internet of Things (IoT)," *Coding: Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 12, no. 2, pp. 102–111, Sep. 2024, doi: 10.26418/coding.v12i2.84050.
- [29] B. Hamsen and I. R. Widiyari, "Rancang Bangun Perangkat Lunak IoT Gateway dari Field ke Cloud Berbasis Protokol Komunikasi MQTT," *AITI*, vol. 19, no. 1, pp. 1–15, Jul. 2022, doi: 10.24246/aiti.v19i1.1-15.
- [30] A. Amrullah, M. U. H. Al Rasyid, and I. Winarno, "Implementasi dan Analisis Protokol Komunikasi IoT untuk Crowdsensing pada Bidang Kesehatan," *INOVTEK Polbeng - Seri Informatika*, vol. 7, no. 1, p. 122, Jun. 2022, doi: 10.35314/isi.v7i1.2365.
- [31] D. Belli, P. Barsocchi, and F. Palumbo, "Connectivity Standards Alliance Matter: State of the art and opportunities," *Internet of Things*, vol. 25, p. 101005, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.iot.2023.101005.
-

- [32] M. Rasori, A. Saracino, P. Mori, and M. Tiloca, "Using the ACE framework to enforce access and usage control with notifications of revoked access rights," *Int J Inf Secur*, vol. 23, no. 5, pp. 3109–3133, Oct. 2024, doi: 10.1007/s10207-024-00877-1.
- [33] Lius Alviando, Adhitya Bhawiyuga, and Dany Primanita Kartikasari, "Penerapan Websocket pada Sistem Live Chat berbasis Web (Studi Kasus Website Kwikku.com)," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, vol. 7, no. 2, pp. 854–862, Feb. 2023.