

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PROTOKOL MQTT DAN HTTP
UNTUK PENGIRIMAN DATA IOT PADA BERBAGAI
KONDISI JARINGAN NIRKABEL**

SKRIPSI

**Oleh :
FACHRI ALDIAN FALAH
NIM. 19650126**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PROTOKOL MQTT DAN HTTP
UNTUK PENGIRIMAN DATA IOT PADA BERBAGAI KONDISI
JARINGAN NIRKABEL**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
FACHRI ALDIAN FALAH
NIM. 19650126

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PROTOKOL MQTT DAN HTTP UNTUK PENGIRIMAN DATA IOT PADA BERBAGAI KONDISI JARINGAN NIRKABEL

SKRIPSI

Oleh :
FACHRI ALDIAN FALAH
NIM. 19650126

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 12 Juni 2026

Pembimbing I,



Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 19860703 202012 1 003

Pembimbing II,



Tri Mukti Lestari, M. Kom
NIP. 19911108 202012 2 005

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Supriyono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PROTOKOL MQTT DAN HTTP UNTUK PENGIRIMAN DATA IOT PADA BERBAGAI KONDISI JARINGAN NIRKABEL

SKRIPSI

Oleh :
FACHRI ALDIAN FALAH
NIM. 19650126

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 22 Juni 2026

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Johan Ericka Wahyu Prakasa, M. Kom
NIP. 19831213 201903 1 004

Anggota Penguji I : Ajib Hanani, M.T
NIP. 19840731 202321 1 013

Anggota Penguji II : Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 19860703 202012 1 003

Anggota Penguji III : Tri Mukti Lestari, M. Kom
NIP. 19911108 202012 2 005

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Supriyono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fachri Aldian Falah
NIM : 19650126
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Kinerja Protokol MQTT dan HTTP Untuk Pengiriman Data IOT Pada Berbagai Kondisi Jaringan Nirkabel.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 22 Juni 2026
Yang membuat pernyataan,



Fachri Aldian Falah
NIM.19650126

MOTTO

... Terus Berenang, Lanjutlah Mendaki ...
-Perunggu (Lagu: 33x)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji Syukur atas kehadiran Allah subhanahu wa ta'ala, serta shalawat dan salam bagi Rasul-Nya Saya mempersembahkan hasil karya ini Kepada:

Orang tua tersayang dan tercinta, yang tidak pernah berhenti dan menyerah untuk memberikan dukungan, do'a, semangat serta motivasi kepada saya.

Para dosen pembimbing, Bapak Shoffin Nahwa Utama, M. T dan Ibu Tri Mukti Lestari, M.Kom yang senantiasa dengan ketelatenan dan penuh rasa kesabaran dalam memberikan saran. Bimbingan, serta masukan dalam penyusunan karya ini. Seluruh dosen dan jajaran civitas akademi jurusan Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberi ilmu dan memberi kelancaran dalam penyusunan karya ini, tak lupa seluruh guru-guru saya yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman yang sangat berharga kepada saya.

Seluruh pihak-pihak yang tak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah selalu memberikan dukungan, do'a, semangat serta bantuan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah segala puji dan Syukur senantiasa saya panjatkan pada Allah SWT dan berkat rahmat, serta hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyempurnakan skripsi ini dengan lancar. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun umat manusia menuju jalan yang lebih baik.

Saya mengucapkan rasa Terima kasih yang begitu besar kepada seluruh pihak yang memberikan dukungan dan membantu rampungnya skripsi ini. Ucapan Terima kasih ini saya sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Supriyono, M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Shoffin Nahwa Utama, M. T, dan Tri Mukti Lestari, M. Kom, selaku dosen pembimbing I dan II yang telah membimbing dan memberikan arahan kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom dan Ajib Hanani, M.T selaku dosen penguji I dan II yang telah memberikan kritik serta saran kepada saya hingga ujian skripsi dengan penuh kesabaran.
6. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat dan juga do'a kepada saya hingga rampungnya skripsi ini.

7. Teman-teman Angkatan 2019 yang senantiasa selalu memberikan semangat dan dukungan dalam berjuang menyelesaikan skripsi ini.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu saya menerima saran, kritik, dan masukan yang bersifat membangun sehingga dapat menjadi lebih baik kedepannya. Saya berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk kedepannya.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 22 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT	xv
الملخص	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pernyataan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II STUDI PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Jaringan Nirkabel untuk Pengiriman Data pada IoT	9
2.2.1 Wi-Fi.....	9
2.2.2 Jaringan Seluler.....	10
2.3 <i>Internet of Things</i> (IoT)	11
2.4 Protokol Komunikasi MQTT.....	12
2.5 Protokol Komunikasi HTTP	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Desain Penelitian	15
3.2 Teknik Pengumpulan Data	17
3.3 Desain Sistem	25

3.4 Skenario Pengujian	26
3.5 Metode Analisis Data	29
3.5.1 Analisis <i>Latency</i>	29
3.5.2 Analisis <i>Throughput</i>	30
3.5.3 Analisis <i>Reliability</i>	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Tahapan Pengujian.....	32
4.2 Hasil Pengujian	33
4.2.1 Hasil Pengujian pada Jaringan Wi-Fi	34
4.2.2 Hasil Pengujian pada Jaringan Telkomsel 4G	38
4.2.3 Hasil Pengujian pada Jaringan Tri 4G	42
4.2.4 Hasil Pengujian pada Jaringan Smartfren 4G	48
4.2.5 Hasil Pengujian pada Jaringan Telkomsel 2G	53
4.2.6 Hasil Pengujian pada Jaringan Tri 2G	58
4.3 Analisis Perbandingan	63
4.3.1 Analisis <i>Reliability</i>	64
4.3.2 Analisis <i>Latency</i>	65
4.3.3 Analisis <i>Throughput</i>	67
4.3.4 Analisis Pengaruh Kondisi Jaringan.....	70
4.4 Pembahasan	72
4.4.1 Pengaruh Kualitas Sinyal dan Teknologi Jaringan	73
4.4.2 Implikasi Penggunaan HTTP dan MQTT pada Sistem IoT	74
4.5 Integrasi Penelitian dengan Islam	74
BAB V PENUTUP.....	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian	16
Gambar 3.2 Dataset Sensor Kelembapan dan Suhu Tanah	18
Gambar 3.3 Konversi Dataset Sensor Menjadi Payload JSON IoT	19
Gambar 3.4 Aplikasi <i>G-NetTrack Lite</i>	20
Gambar 3.5 Hasil Ekspor Data Pengukuran Kualitas Sinyal	21
Gambar 3.6 Diagram Arsitektur Sistem Pengujian (<i>Client Simulator</i> – VPS)	23
Gambar 3.7 Tampilan Data Mentah di Microsoft Excel.....	24
Gambar 3.8 Sequence diagram pengiriman data pada HTTP dan MQTT	26
Gambar 3.9 Flowchart Proses Pengujian dan Pengumpulan data	27
Gambar 4.1 Kualitas Sinyal Wi-Fi.....	34
Gambar 4.2 Rata-rata <i>Reliability</i> pada Wi-Fi.....	36
Gambar 4.3 Rata-rata <i>Latency</i> pada WiFi.....	36
Gambar 4.4 Rata-rata <i>Throughput</i> pada WiFi.....	37
Gambar 4.5 Rata-rata <i>Reliability</i> Telkomsel 4G	40
Gambar 4.6 Rata-rata <i>Latency</i> Telkomsel 4G	40
Gambar 4.7 Rata-rata <i>Throughput</i> Telkomsel 4G.....	41
Gambar 4.8 Rata-rata <i>Reliability</i> Tri 4G	44
Gambar 4.9 Rata-rata <i>Latency</i> Tri 4G	45
Gambar 4.10 Rata-rata <i>Throughput</i> Tri 4G.....	46
Gambar 4.11 Rata-rata <i>Reliability</i> Smartfren 4G.....	49
Gambar 4.12 Rata-rata <i>Latency</i> Smartfren 4G.....	50
Gambar 4.13 Rata-rata <i>Throughput</i> Smartfren 4G.....	51
Gambar 4.14 Rata-rata <i>Reliability</i> Telkomsel 2G	54
Gambar 4.15 Rata-rata <i>Latency</i> Telkomsel 2G	56
Gambar 4.16 Rata-rata <i>Throughput</i> Telkomsel 2G.....	57
Gambar 4.17 Rata-rata <i>Reliability</i> Tri 2G	59
Gambar 4.18 Rata-rata <i>Latency</i> Tri 2G	61
Gambar 4.19 Rata-rata <i>Throughput</i> Tri 2G.....	62
Gambar 4.20 Perbandingan Hasil <i>Reliability</i>	64
Gambar 4.21 Perbandingan Hasil <i>Latency</i>	66
Gambar 4.22 Perbandingan Hasil <i>Throughput</i>	68

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kategori Kualitas Sinyal pada WiFi	21
Tabel 3.2 Kategori Kualitas Sinyal Berdasarkan RSSI.....	22
Tabel 3.3 Kategori Kualitas Sinyal Berdasarkan RSRP	22
Tabel 3.4 Spesifikasi Lingkungan Pengujian	24
Tabel 3.5 Struktur Data Log Hasil Pengujian	24
Tabel 3.6 Ringkasan Skenario Pengujian.....	28
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Wi-Fi.....	35
Tabel 4.2 Kualitas Sinyal Telkomsel 4G	39
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Telkomsel 4G.....	39
Tabel 4.4 Kualitas Sinyal Tri 4G	43
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Tri 4G.....	43
Tabel 4.6 Kualitas Jaringan Smartfren 4G	48
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Smartfren 4G	49
Tabel 4.8 Kualitas Sinyal Telkomsel 2G	53
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Telkomsel 2G.....	54
Tabel 4.10 Kekuatan Sinyal Tri 2G	58
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Tri 2G.....	59

ABSTRAK

Falah, Fachri Aldian. 2026. **Analisis Perbandingan Kinerja Protokol MQTT dan HTTP untuk Pengiriman Data IOT pada Berbagai Kondisi Jaringan Nirkabel.** Skripsi. Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Shoffin Nahwa Utama, M. T, (II) Tri Mukti Lestari, M. Kom.

Kata Kunci: HTTP, *Internet of Things*, *Latency*, MQTT, *Reliability*, *Throughput*.

Internet of Things (IoT) membutuhkan protokol komunikasi yang mampu mendukung pertukaran data secara efisien antar perangkat. HTTP dan MQTT merupakan dua protokol yang banyak digunakan pada sistem IoT dengan karakteristik yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa HTTP dan MQTT pada berbagai kondisi jaringan berdasarkan parameter *reliability*, *latency*, dan *throughput*. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan mensimulasikan 100 perangkat dan 10.000 pesan pada setiap skenario pengujian. Sistem pengujian dibangun menggunakan *Virtual Private Server* (VPS) yang menjalankan layanan HTTP dan MQTT Broker. Pengujian dilakukan pada jaringan Wi-Fi, Telkomsel 4G, Tri 4G, Smartfren 4G, Telkomsel 2G, dan Tri 2G. Kualitas sinyal jaringan diukur menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MQTT memiliki performa yang lebih baik dibandingkan HTTP pada sebagian besar kondisi jaringan. MQTT mampu mencapai *reliability* hingga 99,99% yang dihasilkan oleh jaringan Tri 4G, *latency* terendah sebesar 33,35 ms yang dihasilkan oleh WiFi, dan *throughput* tertinggi sebesar 85,48 msg/s yang dihasilkan oleh jaringan Tri 4G. Pada jaringan 2G kedua protokol mengalami penurunan performa yang signifikan akibat keterbatasan teknologi jaringan. Teknologi jaringan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap performa komunikasi dibandingkan kekuatan sinyal. MQTT lebih direkomendasikan untuk implementasi sistem IoT *multi-device* dibandingkan HTTP.

ABSTRACT

Falah, Fachri Aldian. 2026. **Comparative Performance Analysis of MQTT and HTTP Protocols for IoT Data Transmission under Various Wireless Network Conditions**. Thesis. Informatics Engineering Department, Faculty Science and Technology. *State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang*. Supervisors: (I) Shoffin Nahwa Utama, M. T, (II) Tri Mukti Lestari, M. Kom.

Keywords: HTTP, Internet of Things, *Latency*, MQTT, *Reliability*, *Throughput*.

The *Internet of Things* (IoT) requires communication protocols capable of supporting efficient data exchange among *devices*. HTTP and MQTT are two widely used protocols in IoT systems with different characteristics. This study aims to compare the performance of HTTP and MQTT under various network conditions based on *reliability*, *Latency*, and *throughput* parameters. The research was conducted using an experimental method by simulating 100 *devices* and 10,000 messages in each testing scenario. The testing system was built on a *Virtual Private Server* (VPS) running HTTP services and an MQTT broker. Tests were carried out on Wi-Fi, Telkomsel 4G, Tri 4G, Smartfren 4G, Telkomsel 2G, and Tri 2G networks. Network *Signal* quality was measured using the *G-NetTrack Lite* application. The results show that MQTT outperformed HTTP under most network conditions. MQTT achieved a *reliability* of up to 99.99% on the Tri 4G network, the lowest *Latency* of 33.35 *ms* on Wi-Fi, and the highest *throughput* of 85.48 *msg/s* on the Tri 4G network. On 2G networks, both protocols experienced significant performance degradation due to the limitations of the network technology. The findings indicate that network technology has a greater impact on communication performance than *Signal* strength. MQTT is more recommended than HTTP for *multi-device* IoT system implementations.

المخلص

فلاح، فخري الديان. ٢٠٢٦. تحليل مقارنة لأداء بروتوكولي MQTT و HTTP لنقل بيانات إنترنت الأشياء في ظل ظروف شبكات لاسلكية متنوعة. رسالة علمية. قسم هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج.

المشرفان: (١) شوفين نغوا أوتاما، الماجستير في التقنية، (٢) تري موكتي ليستاري، الماجستير في الحوسبة.

الكلمات المفتاحية: HTTP، إنترنت الأشياء، الكمون، MQTT، الموثوقية، الإنتاجية.

يتطلب إنترنت الأشياء (IoT) بروتوكولات اتصال قادرة على دعم تبادل البيانات بكفاءة بين الأجهزة. يُعدّ كلٌّ من HTTP و MQTT من أكثر البروتوكولات استخدامًا في أنظمة إنترنت الأشياء، وإن كانا يتمتعان بخصائص مختلفة. تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة أداء بروتوكولي HTTP و MQTT في ظل ظروف شبكية متنوعة، استنادًا إلى معاملات الموثوقية والكمون والإنتاجية. اعتمد البحث على المنهج التجريبي من خلال محاكاة 100 جهاز و 10,000 رسالة في كل سيناريو اختبار. شُيّد نظام الاختبار على خادم افتراضي خاص (VPS) يُشغّل خدمات HTTP وسيط MQTT. أُجريت الاختبارات على شبكات: WiFi، و Telkomsel 4G، و Tri 4G، و Smartfren 4G، و Telkomsel 2G، و Tri 2G. وقد قيست جودة إشارة الشبكة باستخدام تطبيق G-NetTrack Lite. أظهرت النتائج تفوق بروتوكول MQTT على HTTP في معظم ظروف الشبكة؛ إذ حقق MQTT موثوقية تصل إلى 99.99% على شبكة Tri 4G، وأدنى كمون بلغ 33.35 مللي ثانية على شبكة WiFi، وأعلى إنتاجية بلغت 85.48 رسالة/ثانية على شبكة Tri 4G. أما على شبكات الجيل الثاني (2G)، فقد عانى كلا البروتوكولين من تدهور ملحوظ في الأداء بسبب محدودية تقنية الشبكة. تشير النتائج إلى أن تقنية الشبكة تؤثر تأثيرًا أكبر في أداء الاتصالات مقارنةً بقوة الإشارة. ويُوصى باستخدام بروتوكول MQTT بدلًا من HTTP في تطبيقات أنظمة إنترنت الأشياء متعددة الأجهزة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kompleksitas aktivitas manusia yang semakin meningkat menuntut ketersediaan sistem yang mampu bekerja secara cepat, akurat, dan efisien dalam mengelola informasi. Kondisi ini mendorong pemanfaatan teknologi sebagai sarana pendukung untuk membantu manusia dalam memantau, mengolah, dan mengambil keputusan berbasis data secara lebih terstruktur. Seiring perkembangan waktu, teknologi terus mengalami kemajuan dan inovasi yang memengaruhi cara berpikir serta pola hidup masyarakat (Levani *et al.*, 2020). Salah satu wujud perkembangan tersebut adalah kemajuan teknologi informasi dan komunikasi yang memungkinkan pertukaran data berlangsung lebih mudah, cepat, dan tidak terbatas jarak (Syuhada, 2023). Dalam konteks ini, *Internet of Things* (IoT) hadir sebagai konsep yang menghubungkan berbagai perangkat (sensor maupun perangkat komputasi) untuk mengumpulkan dan mengirimkan data secara periodik melalui jaringan, sehingga proses pemantauan dan pengambilan keputusan dapat dilakukan lebih *responsif*.

Dalam konteks pengambilan keputusan berbasis data, prinsip kehati-hatian dan verifikasi menjadi penting. Al-Qur'an mengajarkan agar informasi yang diterima tidak langsung dijadikan dasar tindakan sebelum dilakukan pemeriksaan kebenarannya (tabayyun), sebagaimana pesan QS. *Al-Hujurāt* (49) ayat 6 yang berbunyi,

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِن جَاءَكُمْ فَاسِقٌ بِنَبَأٍ فَتَبَيَّنُوا أَن تُصِيبُوا قَوْمًا بِجَهَالَةٍ فَتُصْحِحُوا عَلَىٰ مَا فَعَلْتُمْ

لُدْمِينَ ﴿٦﴾

“Wahai orang-orang yang beriman, jika seorang fasik datang kepadamu membawa berita penting, maka telitilah kebenarannya agar kamu tidak mencelakakan suatu kaum karena ketidaktahuan(-mu) yang berakibat kamu menyesali perbuatanmu itu.” (QS. Al-Hujurat: 6).

Menurut Tafsir Al-Muyassar, QS. Al-Hujurat ayat 6 mengajarkan pentingnya melakukan tabayyun atau verifikasi terhadap informasi yang diterima sebelum informasi tersebut digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Informasi yang belum dipastikan kebenarannya berpotensi menimbulkan kesalahan, kerugian, maupun penyesalan di kemudian hari. Setiap informasi perlu diperiksa dan divalidasi agar dapat dipercaya dan digunakan secara tepat. Prinsip tabayyun tersebut relevan dengan penelitian ini yang berfokus pada pengiriman data dalam sistem *Internet of Things* (IoT). Data yang dikirimkan oleh perangkat IoT harus dapat diterima secara benar, lengkap, dan tepat waktu agar dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Diperlukannya protokol komunikasi yang mampu menjamin keandalan pengiriman data. Dalam penelitian ini, keandalan tersebut dianalisis melalui parameter *reliability*, *Latency*, dan *throughput* pada protokol MQTT dan HTTP di berbagai kondisi jaringan nirkabel.

Kinerja pada sistem IoT sangat dipengaruhi oleh mekanisme komunikasi data yang digunakan, terutama karena perangkat IoT sering beroperasi pada jaringan nirkabel dengan kualitas yang bervariasi, seperti Wi-Fi maupun jaringan seluler. Variasi kondisi jaringan dapat menyebabkan perubahan *delay*, kehilangan

paket, dan ketidakstabilan koneksi, yang berdampak pada kinerja pengiriman data (Rochman *et al.*, 2017). Oleh karena itu, pemilihan protokol komunikasi yang tepat menjadi aspek penting agar pengiriman data IoT tetap cepat dan andal, khususnya ketika jumlah perangkat meningkat dan melakukan pengiriman secara bersamaan. Dua protokol yang umum digunakan untuk pengiriman data IoT adalah HTTP dan MQTT. Meskipun keduanya sama-sama dapat digunakan, perbedaan karakteristik arsitektur dan overhead komunikasi berpotensi menghasilkan perbedaan kinerja pada kondisi jaringan nirkabel tertentu.

Protokol MQTT dan HTTP dipilih sebagai objek perbandingan karena keduanya merepresentasikan dua pendekatan komunikasi IoT yang paling umum sekaligus memiliki tingkat kematangan dan dukungan implementasi yang tinggi. Survei ACM menyebut MQTT dan RESTful HTTP sebagai dua pilihan yang paling matang dan disukai pengembang karena stabil, telah banyak diimplementasikan secara sukses, serta didukung sumber daya pengembangan yang melimpah sehingga memudahkan replikasi dan validasi hasil penelitian (Dizdarević *et al.*, 2018). Secara teknis, MQTT dirancang untuk lingkungan IoT/M2M yang *resource-constrained* dengan model *Publish/Subscribe* yang ringan (misalnya *overhead* pesan kecil) sehingga sesuai untuk perangkat dalam jumlah besar pada kondisi *bandwidth* dan daya terbatas, sedangkan HTTP unggul untuk integrasi sistem berbasis web melalui arsitektur REST dan operasi standar (POST/GET/PUT/DELETE) serta kompatibel dengan infrastruktur internet yang telah mapan (Sidna *et al.*, 2020). Naik (2017) menegaskan bahwa kebutuhan IoT tidak dapat dilayani oleh satu protokol saja; MQTT lebih cocok untuk pengumpulan

data pada jaringan *constrained*, sementara HTTP relevan untuk aplikasi web di internet, meskipun HTTP cenderung lebih *verbose/heavyweight* sehingga penggunaannya pada lapisan IoT tertentu menjadi terbatas. Selain itu, protokol alternatif seperti AMQP memiliki kebutuhan daya/komputasi/memori yang relatif lebih tinggi, sehingga kurang ideal untuk skenario perangkat IoT terbatas yang menjadi fokus pengujian (Ruchi Patel, 2023).

Perangkat IoT tidak selalu berada pada jaringan Wi-Fi yang stabil. Banyak perangkat ditempatkan pada area dengan konektivitas seluler yang beragam seperti jaringan seluler 2G, 3G, dan 4G/LTE, dan bahkan dapat melibatkan beberapa *provider*. Sistem IoT sering bekerja pada skala banyak perangkat yang mengirimkan data secara bersamaan, sehingga beban jaringan dan *server* meningkat. Penelitian ini melakukan analisis perbandingan protokol MQTT dan HTTP dengan skenario pengujian yang mencakup variasi jaringan Wi-Fi dan seluler dari beberapa *provider*, serta skenario *multi-device* (hingga 100 *device* mengirimkan data secara simultan), dan juga mempertimbangkan kualitas sinyal jaringan sebagai informasi pendukung untuk membantu menjelaskan perbedaan performa yang diperoleh pada setiap skenario pengujian.

1.2 Pernyataan Masalah

Bagaimana perbedaan kinerja protokol komunikasi MQTT dan HTTP untuk pengiriman data IoT pada variasi jaringan (Wi-Fi dan seluler 2G, 3G, dan 4G/LTE dari beberapa *provider*) dengan berbagai kondisi jaringan menggunakan skenario *multi-device* (100 *device* mengirimkan data secara simultan), ditinjau dari parameter *latency*, *throughput*, dan *reliability*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja protokol MQTT dan HTTP dalam pengiriman data pada sistem *Internet of Things* (IoT) *multi-device* pada berbagai kondisi jaringan nirkabel berdasarkan parameter *latency*, *throughput*, dan *reliability* guna menentukan protokol yang lebih sesuai untuk implementasi sistem IoT.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan pada lingkungan *server* berbasis *Virtual Private Server* (VPS) sebagai tujuan pengiriman data, dengan VPS berperan sebagai broker MQTT dan *endpoint* HTTP.
2. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi *Latency*, *throughput*, dan *reliability* pengiriman data.
3. Pengujian jaringan mencakup Wi-Fi dan jaringan seluler (2G, 3G dan 4G/LTE) pada beberapa *provider* sesuai ketersediaan sinyal pada lokasi pengujian.
4. Skenario *multi-device* diuji hingga 100 *device* yang mengirimkan data secara simultan.
5. Kualitas sinyal jaringan menggunakan parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP) untuk jaringan 4G dan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) untuk jaringan 2G sebagai informasi pendukung analisis hasil pengujian.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi referensi bagi peneliti atau pengembang dalam memilih protokol komunikasi yang sesuai pada kondisi jaringan yang bervariasi (Wi-Fi maupun seluler) dan pada skala banyak perangkat.
2. Memberikan kontribusi akademik pada kajian komunikasi data IoT melalui evaluasi parameter *Latency*, *throughput*, dan *reliability* pada *skenario multi-provider* dan *multi-device*.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang diusulkan penulis berjudul "Analisis Perbandingan Kinerja Protokol MQTT dan HTTP untuk Pengiriman Data IoT pada Berbagai Kondisi Jaringan Nirkabel" merupakan penelitian yang didasarkan pada beberapa panel studi terdahulu yang relevan dengan topik kinerja protokol komunikasi pada sistem IoT. Salah satu referensi penting adalah penelitian yang dilakukan oleh Nugraha *et al.*, (2024) yang berjudul "*A Comparative Study of HTTP and MQTT for IoT Applications in Hydroponics*". Dalam penelitian tersebut, dilakukan perbandingan kinerja antara protokol HTTP dan MQTT menggunakan metode pengujian beban (*load testing*) dengan alat bantu *Autocannon* dan *MQTT Stresser* pada lingkungan *Virtual Machine* (VM). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa MQTT memiliki performa yang lebih efisien dalam hal penggunaan sumber daya (CPU) dan waktu transfer data dibandingkan HTTP. Namun, penelitian tersebut juga menemukan bahwa MQTT memiliki tingkat kehilangan paket (*packet loss*) yang lebih tinggi dibandingkan HTTP, sehingga memiliki kelemahan pada aspek *reliability*. Temuan ini memberikan landasan kuat bahwa pemilihan protokol harus mempertimbangkan pertukaran antara kecepatan dan keandalan data.

Penelitian lain yang menjadi acuan adalah kajian yang dilakukan oleh Aziz Fikhri *et al.*, (2025) yang berfokus pada perbandingan kinerja protokol MQTT dan HTTP dalam komunikasi data *Internet of Things*. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini juga mengandalkan alat pengujian beban seperti *Autocannon*

dan MQTT *Stresser* untuk mengevaluasi performa berdasarkan penggunaan CPU dan waktu transfer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MQTT memiliki keunggulan yang signifikan dalam hal kecepatan transfer data, namun penggunaan CPU-nya meningkat secara drastis seiring bertambahnya jumlah pesan yang dikirim. HTTP menunjukkan stabilitas yang lebih baik dalam penggunaan sumber daya namun memiliki keterbatasan pada kecepatan transmisi. Penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa kedua protokol memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing yang harus dianalisis secara kontekstual terhadap kebutuhan sistem IoT.

Penelitian oleh Naik (2017), menjelaskan bahwa MQTT dirancang khusus untuk lingkungan *constrained network* dan perangkat dengan sumber daya terbatas. Karakteristik tersebut terlihat pada hasil penelitian ini, di mana MQTT tetap mampu mempertahankan *Latency* rendah dan *throughput* tinggi pada jaringan dengan kualitas yang bervariasi. Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya terletak pada pendekatan pengujian yang dilakukan. Sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan lingkungan simulasi berbasis *virtual machine* atau *local network* dengan kondisi jaringan yang relatif stabil. Sementara itu, penelitian ini menggunakan jaringan internet publik dan jaringan seluler nyata dari beberapa provider, sehingga hasil pengujian lebih merepresentasikan kondisi implementasi lapangan.

Pada penelitian ini menggunakan skenario *multi-device* dengan simulasi hingga 100 *device* yang mengirimkan data secara paralel. Pendekatan tersebut memberikan gambaran mengenai performa protokol pada kondisi komunikasi IoT

berskala lebih besar dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan jumlah *device* lebih sedikit. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat hasil penelitian sebelumnya mengenai keunggulan MQTT pada sistem IoT, tetapi juga memberikan gambaran tambahan mengenai performa kedua protokol pada kondisi jaringan nyata dan komunikasi *multi-device*.

2.2 Jaringan Nirkabel untuk Pengiriman Data pada IoT

Jaringan nirkabel merupakan media komunikasi yang paling sering digunakan dalam implementasi *Internet of Things* (IoT) karena fleksibel, mudah diterapkan, dan mendukung mobilitas perangkat. Pada praktiknya, kualitas jaringan nirkabel dapat berubah-ubah karena dipengaruhi oleh faktor lingkungan, jarak, interferensi, kepadatan pengguna, serta karakteristik teknologi akses yang digunakan. Variasi kualitas jaringan ini berdampak langsung terhadap performa pengiriman data IoT, terutama pada metrik *Latency*, *throughput*, dan *reliability*.

2.2.1 Wi-Fi

Wi-Fi adalah teknologi jaringan nirkabel berbasis IEEE 802.11 yang banyak digunakan pada lingkungan rumah, kampus, maupun perkantoran. Wi-Fi umumnya menawarkan *bandwidth* yang relatif tinggi, tetapi performanya sangat dipengaruhi oleh kondisi radio dan mekanisme akses media bersama (*shared medium*). Menurut Gupta *et al.*, (2007), ketika terjadi *contention* (perebutan kanal) atau interferensi, Wi-Fi dapat mengalami packet loss dan peningkatan retransmisi, sehingga *bit rate* dan jumlah retry dapat berfluktuasi selama transmisi data.

Fluktuasi dapat memicu peningkatan *delay* dan ketidakstabilan *throughput*, terutama pada kondisi lingkungan padat pengguna. Kualitas Wi-Fi sangat

dipengaruhi jarak dan hambatan fisik. Studi evaluasi performa Wi-Fi pada lingkungan indoor menunjukkan bahwa kondisi LOS (*line-of-sight*) dan NLOS (*non-line-of-sight*) serta keberadaan *obstacle* dan jarak memengaruhi metrik seperti *Latency/delay* dan *packet loss*. Dengan kata lain, walaupun Wi-Fi sering dijadikan baseline karena mudah diakses dan konfigurasinya sederhana, performanya tidak selalu stabil pada kondisi nyata.

2.2.2 Jaringan Seluler

Jaringan seluler merupakan teknologi akses nirkabel dengan cakupan luas dan mendukung mobilitas, sehingga banyak digunakan ketika Wi-Fi tidak tersedia. Berbeda dengan Wi-Fi yang sangat bergantung pada access point lokal, performa seluler sangat dipengaruhi kualitas sinyal radio, kepadatan pengguna pada sel, mobilitas, dan proses manajemen jaringan. Jaringan seluler sering menunjukkan variabilitas *delay* dan rate yang lebih dinamis dibanding jaringan kabel, yang pada akhirnya memengaruhi performa aplikasi berbasis TCP/HTTP maupun MQTT (yang umumnya berjalan di atas TCP).

Jaringan seluler mengalami peningkatan performa dari 2G menuju 4G/LTE. Jaringan 2G cenderung memiliki *bandwidth* rendah dan *delay* lebih tinggi sehingga kurang ideal untuk komunikasi data berfrekuensi tinggi. Jaringan 3G menawarkan peningkatan *throughput* dibanding 2G, tetapi masih dapat mengalami *delay* yang relatif lebih besar dibanding 4G/LTE. Sejalan dengan itu, studi pengukuran dan analisis pada sistem seluler menunjukkan bahwa LTE memiliki RTT yang lebih rendah dan *delay* promosi *state* yang lebih singkat dibanding jaringan 3G, yang berdampak pada *responsivitas* koneksi data (Fajri Fitrianto & Santoso, 2014).

Menurut Arifwidodo, (2015), performa seluler juga dipengaruhi variasi antar operator/*provider* dan skenario lokasi. Studi pengukuran layanan *mobile broadband* pada jaringan 3G/4G di area urban dengan beberapa operator menunjukkan adanya variasi performa (termasuk end-to-end *Latency*) antar kondisi dan penyedia layanan. Temuan semacam ini menguatkan alasan bahwa pengujian protokol IoT pada beberapa *provider* diperlukan agar hasil lebih representatif terhadap kondisi nyata.

2.3 *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) dapat didefinisikan kemampuan berbagai *device* yang bisa saling terhubung dan saling bertukar data melalui jaringan internet. IoT merupakan sebuah teknologi yang memungkinkan adanya sebuah pengendalian, komunikasi, kerja sama dengan berbagai perangkat keras, dan data melalui jaringan internet. Sehingga bisa dikatakan bahwa *Internet of Things (IoT)* penyambung sesuatu yang tidak bisa dioperasikan oleh manusia disambungkan oleh internet (Prayudha *et al.*, 2020).

Internet of Things (IoT) merupakan revolusi baru dari internet, IoT membuat suatu benda menjadi dapat dibaca, dikenali, ditemukan, dialamatkan melalui perangkat informasi serta dapat dikendalikan melalui Internet (Alfalouji *et al.*, 2022). Menurut Al Husaini M, Zulianto A, dan Sasongko D (2021) perkembangan *Internet of Things (IoT)* telah banyak digunakan terutama pada zaman sekarang ini, salah satu dimanfaatkannya teknologi IoT ini adalah pengendalian peralatan elektronik melalui jaringan internet global yang dikendalikan melalui *smartphone* yang dapat dioperasikan dari jarak jauh.

2.4 Protokol Komunikasi MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi berbasis *Publish-Subscribe* yang ringan dan efisien, dikembangkan pertama kali oleh Andy Stanford-Clark (IBM) dan Arlen Nipper (Arcom) pada tahun 1999. MQTT dirancang khusus untuk kebutuhan komunikasi perangkat IoT dengan keterbatasan daya, *bandwidth*, maupun kemampuan pemrosesan data yang rendah (Kusuma *et al.*, 2024). Protokol ini bekerja menggunakan arsitektur *broker-Client*, di mana *Client* dapat berperan sebagai *Publisher* (pengirim data) atau *Subscriber* (penerima data). Broker bertugas menjadi perantara yang mengatur distribusi pesan dari *Publisher* ke *Subscriber* berdasarkan topic tertentu.

Keunggulan utama dari MQTT terletak pada efisiensi dan keandalannya dalam mentransmisikan data pada jaringan dengan *bandwidth* rendah atau koneksi yang tidak stabil. MQTT menggunakan mekanisme *Quality of Service* (QoS) yang memungkinkan pengguna menentukan tingkat jaminan pengiriman pesan, yaitu *at most once* (QoS 0), *at least once* (QoS 1), dan *exactly once* (QoS 2) (Jara Ochoa *et al.*, 2023).

Menurut penelitian Nugraha *et al.*, 2024, penggunaan MQTT dalam sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT mampu menghemat konsumsi *bandwidth* dibandingkan dengan protokol HTTP. Hal ini disebabkan oleh penggunaan format pesan yang sederhana dan ringan. Selain itu, MQTT menggunakan koneksi *persistent* berbasis TCP yang menjaga komunikasi tetap aktif selama koneksi tersedia, sehingga proses pengiriman data menjadi lebih cepat dan *responsif*.

MQTT mendukung implementasi *real-time* monitoring dengan konsumsi daya yang rendah. Menurut Bagas Bhaskoro *et al.*, (2022), MQTT dapat mempertahankan latensi rata-rata di bawah 100 *ms* pada kondisi jaringan Wi-Fi rumah tangga, menjadikannya protokol ideal untuk aplikasi *smart agriculture* dan *home automation*. Efisiensi ini membuat MQTT lebih unggul dibandingkan protokol lain seperti HTTP dalam hal *throughput* dan *responsiveness*.

2.5 Protokol Komunikasi HTTP

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) salah satu protokol komunikasi yang umum digunakan dalam pertukaran data antara *Client* dan *server* melalui jaringan internet. HTTP beroperasi pada model *request-response*, di mana *Client* mengirimkan permintaan (*request*) kepada *server* dan *server* memberikan tanggapan (*response*) sesuai dengan permintaan tersebut. Protokol ini berjalan pada lapisan aplikasi dari model TCP/IP dan umumnya digunakan untuk mengakses halaman web, transfer data, serta komunikasi antarperangkat berbasis web (Bagus Pratama *et al.*, 2018).

HTTP sering digunakan karena sifatnya yang sederhana, mudah diimplementasikan, dan kompatibel dengan banyak platform serta perangkat. Banyak sistem IoT menggunakan HTTP sebagai media komunikasi antara sensor, mikrokontroler, dan *server*. Namun, HTTP memiliki karakteristik *stateless*, artinya setiap permintaan dari *Client* dianggap sebagai transaksi terpisah yang tidak memiliki hubungan dengan transaksi sebelumnya. Kondisi ini menyebabkan penggunaan sumber daya jaringan dan energi yang lebih besar, terutama pada perangkat dengan keterbatasan daya dan memori (Mirza & Khairuni, 2025).

HTTP menggunakan mekanisme koneksi berbasis TCP yang membutuhkan proses *handshaking* tiga arah untuk setiap sesi komunikasi. Hal ini menyebabkan waktu tunda (*Latency*) yang lebih tinggi dan konsumsi *bandwidth* yang lebih besar. Menurut penelitian oleh Bagas Bhaskoro *et al.* 2022, penggunaan HTTP dalam sistem IoT menyebabkan penurunan efisiensi hingga 30% pada perangkat dengan koneksi nirkabel tidak stabil, dibandingkan dengan MQTT yang memiliki *overhead* data lebih kecil.

Protokol HTTP memiliki keunggulan dari sisi kompatibilitas dan skalabilitas. Protokol ini didukung luas oleh berbagai bahasa pemrograman dan *framework*, serta memungkinkan integrasi mudah dengan layanan web *modern* seperti REST API dan *cloud computing*. Dalam sistem IoT, HTTP digunakan untuk mengirim data ke *server* dan menerima instruksi kontrol melalui *endpoint* tertentu. Namun, performanya menjadi kurang efisien ketika sistem membutuhkan *real-time monitoring* dan komunikasi dua arah yang cepat antara perangkat dan *server* (Permatasari & Dhika, 2018).

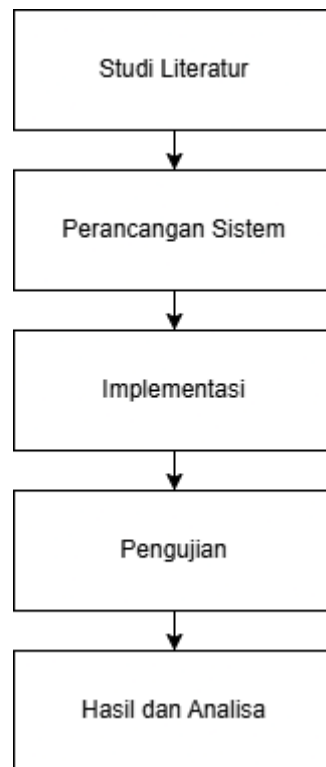
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen berbasis simulasi sistem untuk menghasilkan data numerik yang objektif guna membandingkan kinerja dua protokol komunikasi, yaitu *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) dan *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). Tahapan penelitian dimulai dari studi Literatur untuk memahami standar performa jaringan. Hal ini dilakukan untuk mengisolasi variabel fisik yang tidak terkontrol (*noise*), sehingga fokus pengamatan murni tertuju pada performa protokol komunikasi tanpa adanya gangguan kesalahan perangkat keras. Penggunaan skrip *Python* bertujuan untuk menghasilkan pencatatan waktu (*timestamping*) yang jauh lebih presisi dan akurat dibandingkan mikrokontroler standar dalam pengukuran interval milidetik.

Variabel bebas yang menjadi dasar perbandingan adalah jenis protokol komunikasi, yaitu MQTT (QoS 1) dan HTTP, perbedaan kinerja yang diamati dapat dikaitkan langsung dengan karakteristik protokol. Variabel terikat yang diukur sebagai parameter kinerja meliputi *Latency (ms)* sebagai waktu tunda pengiriman data, *throughput* sebagai laju pengiriman data yang dinyatakan dalam pesan per detik (*msg/s*), serta *reliability* sebagai persentase keberhasilan pengiriman data yang dihitung dari perbandingan jumlah pesan berstatus sukses terhadap total pesan yang dikirim.



Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan secara sistematis yang diawali dengan studi literatur untuk mengkaji konsep *Internet of Things* (IoT), karakteristik protokol MQTT dan HTTP, serta parameter performa jaringan yang meliputi *reliability*, *latency*, dan *throughput*. Tahap selanjutnya adalah perancangan lingkungan pengujian yang mencakup penentuan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak, konfigurasi jaringan, serta penyiapan *Virtual Private Server* (VPS) sebagai server tujuan pengiriman data. VPS dikonfigurasi untuk menjalankan broker MQTT menggunakan *Eclipse Mosquitto* dan layanan HTTP berbasis REST API yang dibangun menggunakan *framework* Flask API serta dijalankan melalui Gunicorn sebagai *application server*. Layanan tersebut berfungsi sebagai endpoint penerima data selama proses pengujian.

Simulasi dikembangkan menggunakan skrip bahasa pemrograman *Python* untuk mensimulasikan *multi-device*(100 *device*) yang mengirim data berukuran kurang lebih 1 KB secara periodik, sekaligus melakukan pencatatan waktu secara otomatis. Tahap eksekusi pengujian dilakukan dengan menjalankan skenario yaitu 100 *device* mengirim 100 pesan per *device* (total 10.000 pesan) untuk setiap protokol pada beberapa kondisi jaringan (Wi-Fi dan seluler beberapa *provider*). Sistem merekam *timestamp* pengiriman, *timestamp* penerimaan/konfirmasi, serta status keberhasilan transmisi ke dalam berkas CSV. Analisis statistik terhadap data untuk menghitung parameter *Latency*, *Throughput*, dan *Reliability*. Memberikan Kesimpulan serta saran berdasarkan hasil dari penelitian.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan dataset sensor sebagai payload pengujian untuk mensimulasikan komunikasi data pada sistem *Internet of Things* (IoT). Penggunaan dataset bertujuan agar proses pengiriman data lebih mendekati implementasi sistem IoT pada kondisi nyata dibandingkan penggunaan data dummy. Data tersebut dikirim dalam format JSON pada proses komunikasi HTTP dan MQTT selama simulasi *multi-device* berlangsung.

Dataset yang digunakan dalam simulasi ini bersumber dari *Cook Agronomy Farm* (CAF) *Sensor Network*, sebuah jaringan sensor lapangan yang dikelola oleh Washington State University. Dataset dipublikasikan secara terbuka melalui *Ag Data Commons United States Department of Agriculture* (USDA) dengan judul “*Data from: A field-scale sensor network data set for monitoring and modeling the spatial and temporal variation of soil moisture in a dryland agricultural field*” yang

dipublikasikan oleh Gasch & Brown, (2017). Data terdiri dari pembacaan sensor kelembapan tanah dan suhu tanah pada interval per jam dari 42 titik pengukuran di lahan pertanian dryland di Pullman, Washington, selama periode April 2007 hingga Juni 2016.

Location	Date	Time	VW_30cm (m ³ /m ³)	T_30cm (°C)
CAF003	05/21/2009	16:00	0,242	14,5
CAF003	05/21/2009	17:00	0,243	14,7
CAF003	05/21/2009	18:00	0,244	14,6
CAF003	05/21/2009	19:00	0,244	14,6
CAF003	05/21/2009	20:00	0,244	14,6
CAF003	05/21/2009	21:00	0,244	14,6
CAF003	05/21/2009	22:00	0,244	14,6
CAF003	05/21/2009	23:00	0,244	14,5
CAF003	05/22/2009	00:00	0,244	14,4
CAF003	05/22/2009	01:00	0,244	14,2

Gambar 3.2 Dataset Sensor Kelembapan dan Suhu Tanah

Pada gambar 3.2 hanya menampilkan kolom VW_30cm dan T_30cm yang digunakan dalam simulasi. Dataset asli memiliki 13 kolom mencakup 5 kedalaman pengukuran.. Data kelembapan tanah (VW_30cm) pada dataset asli dalam satuan m³/m³ dikonversi menjadi persentase dengan mengalikan nilai 100. Sedangkan data suhu tanah (T_30cm) digunakan langsung dalam satuan derajat Celcius. Setiap pesan payload IoT berukuran target ± 1 KB, berisi field kelembapan_tanah, suhu_tanah, sensor_id, seq, timestamp, dan padding karakter untuk mencapai ukuran target.

Data Asli	Konversi	Variabel di Payload	Contoh Nilai
VW_30cm = 0,242 m ³ /m ³	× 100	kelembapan_tanah (%)	24,20%
T_30cm = 14,5 °C	Langsung	suhu_tanah (°C)	14,5 °C

Gambar 3.3 Konversi Dataset Sensor Menjadi Payload JSON IoT

Dataset tersebut selanjutnya akan di simulasikan menggunakan skrip berbasis *Python* yang telah dirancang pada perangkat klien. Skrip ini berjalan secara interaktif dan bertugas sebagai aktor utama yang mengirimkan paket data ke *server* tujuan sekaligus merekam seluruh aktivitas transmisi jaringan yang terjadi. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa tidak ada kesalahan manusia (*human error*) dalam proses pencatatan waktu, serta memastikan setiap paket yang dikirim memiliki jejak data (*data trail*) yang lengkap untuk keperluan analisis.

Pengukuran kualitas sinyal dilakukan sebagai variabel pendukung untuk menggambarkan kondisi jaringan saat pengujian berlangsung. Pada jaringan 4G digunakan parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP), sedangkan pada jaringan 2G digunakan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Pengukuran dilakukan menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite* pada perangkat Android. Untuk mengurangi pengaruh fluktuasi sesaat pada kualitas sinyal, pengukuran diambil lima data pada pengukuran jaringan sebelum pengujian dimulai dan digunakan nilai rata-ratanya sebagai representasi kondisi jaringan pada skenario tersebut.

G-NetTrack Lite v19.6

Operator: Smartfren

MCC: 510 MNC: 11 TAC: 55610 Type: 4G

eNB: 770192 CID: 5 PCI: 353 TA:

ARFCN: 1325 BAND: L3 BW: 20

F DL: 1817.5 MHz F UL: 1722.5 MHz

RSRP: -87 RSRQ: -10 SNR: 3.7 CQI: 0 RSSI: -

Longitude: 112.60012 Latitude: -7.952761

Speed: 0 km/h Hdg: 0° N NW Acc: 19m

Height: 540m Altitude: 540m Ground: 0m

UL: 5 kbps DL: 0 kbps

Data: Smartfren-4G DATA

Serving time: 3s

TIME	EVENT	AC	CELL	CI	ARFCN	LEVEL	QUAL	TYPE	SERV
09:01	HD4G	55611	77019	335	325	-110	-15	4G	9
09:01	HD4G	55611	77019	335	1325	-101	-13	4G	5
09:01	HD4G	55611	77019	335	325	-109	-15	4G	5
09:01	HD4G	55611	77019	335	1325	-102	-14	4G	5
09:01	HD4G	55611	77019	285	2450	-95	-13	4G	26
09:02	HD4G	55611	77019	335	1325	-101	-13	4G	4
09:02	HD4G	55611	77019	335	325	-109	-14	4G	3
09:02	HD4G	55611	77019	335	1325	-101	-13	4G	67
09:03	HD4G	55611	77019	285	2450	-96	-15	4G	46
09:04	HD4G	55611	77019	335	325	-109	-13	4G	7
09:04	HD4G	55611	77019	335	1325	-101	-12	4G	7
09:04	HD4G	55611	77019	285	2450	-95	-14	4G	5
09:04	HD4G	55611	77019	335	1325	-103	-14	4G	55
09:05	HD4G	55611	77019	285	2450	-95	-13	4G	6
09:05	HD4G	55611	77019	335	1325	-102	-13	4G	3
09:05	HD4G	55611	77019	285	2450	-95	-14	4G	6
09:05	HD4G	55611	77019	335	325	-110	-15	4G	29
09:06	HD4G	55611	77019	335	1325	-103	-15	4G	32
09:06	HD4G	55610	77019	353	1325	-89	-10	4G	11
09:06	HD4G	55611	77019	335	1325	-91	-11	4G	1
09:06	HD4G	55611	77019	335	325	-102	-12	4G	4
09:06	HD4G	55611	77019	335	1325	-91	-13	4G	3

Gyokov Solutions MENU

CELL NEI MAP INFO DRIVE

Gambar 3.4 Aplikasi *G-NetTrack Lite*

Gambar 3.4 menunjukkan proses pengukuran kualitas sinyal jaringan seluler menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite* pada perangkat Android. Parameter yang digunakan pada jaringan 4G adalah *Reference Signal Received Power* (RSRP), dan pada jaringan 2G menggunakan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) yang dinyatakan dalam satuan dBm. Nilai RSRP dan RSSI digunakan sebagai informasi pendukung untuk menggambarkan kondisi pada jaringan 4G dan 2G saat pengujian MQTT dan HTTP dilakukan. Aplikasi *G-NetTrack Lite* menyediakan fitur ekspor data hasil pengukuran jaringan ke dalam format berkas teks (*.txt). Fitur ini digunakan pada penelitian untuk mendokumentasikan hasil pengukuran kualitas sinyal secara otomatis sehingga data dapat diolah dan dianalisis lebih lanjut. Data yang diekspor memuat informasi

seperti waktu pengukuran (*timestamp*), koordinat lokasi, operator seluler, teknologi jaringan yang digunakan, serta nilai kekuatan sinyal yang diterima perangkat.

Timestamp	Longitude	Latitude	Operatorname	NetworkTech	Level	Speed	Altitude	Filemark
2026.06.12_08.17.07	112.60012	-7.952841	Telkomsel	2G	-65	0	1115	
2026.06.12_08.17.08	112.59975	-7.952586	Telkomsel	2G	-61	0	1115	
2026.06.12_08.17.09	112.59988	-7.952635	Telkomsel	2G	-61	0	1115	
2026.06.12_08.17.11	112.59996	-7.952706	Telkomsel	2G	-59	0	1115	
2026.06.12_08.17.12	112.60038	-7.952141	Telkomsel	2G	-59	0	1061	
2026.06.12_08.17.19	112.60031	-7.952223	Telkomsel	2G	-59	0	850	
2026.06.12_08.17.22	112.60029	-7.952325	Telkomsel	2G	-59	0	787	
2026.06.12_08.17.23	112.60023	-7.952533	Telkomsel	2G	-59	0	671	
2026.06.12_08.17.25	112.60020	-7.952646	Telkomsel	2G	-59	0	607	
2026.06.12_08.18.07	112.60013	-7.952731	Telkomsel	2G	-59	0	532	
2026.06.12_08.19.10	112.60004	-7.952751	Telkomsel	2G	-59	0	534	

Gambar 3.5 Hasil Ekspor Data Pengukuran Kualitas Sinyal

Data hasil ekspor dari *G-NetTrack Lite* digunakan sebagai sumber data untuk menentukan kualitas sinyal pada setiap jaringan yang diuji. Selanjutnya, nilai kekuatan sinyal yang diperoleh dari beberapa kali pengukuran dirata-ratakan dan digunakan sebagai representasi kondisi jaringan selama proses pengujian protokol HTTP dan MQTT berlangsung. Berdasarkan hasil ekspor data, informasi yang diperoleh meliputi waktu pengukuran, lokasi pengukuran, kode operator, teknologi jaringan (2G atau 4G), serta nilai kekuatan sinyal yang diterima perangkat. Kualitas sinyal jaringan 4G dievaluasi menggunakan parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP) yang diperoleh melalui aplikasi *G-NetTrack Lite*. Klasifikasi kualitas sinyal mengacu pada standar KPI Telkomsel, yaitu kategori Sangat Bagus (> -80 dBm), Bagus (-90 hingga -80 dBm), Sedang (-100 hingga -90 dBm), Buruk (-110 hingga -100 dBm), dan Sangat Buruk (< -110 dBm)(Yadnya *et al.*, 2022).

Tabel 3.1 Kategori Kualitas Sinyal pada WiFi

No	<i>Signal Strength</i> (%)	Kategori
1	80-100	Sangat Baik
2	60-79	Baik
3	40-59	Sedang
4	<40	Buruk

Tabel 3.2 Kategori Kualitas Sinyal Berdasarkan RSSI

No	RSSI (dBm)	Kategori
1	>-70	Sangat Baik
2	-70 sampai -85	Baik
3	-86 sampai -100	Sedang
4	<-100	Buruk

Tabel 3.3 Kategori Kualitas Sinyal Berdasarkan RSRP

No	RSRP (dBm)	Kategori
1	>-80	Sangat Baik
2	-80 sampai -90	Baik
3	-91 sampai -100	Sedang
5	<-100	Buruk

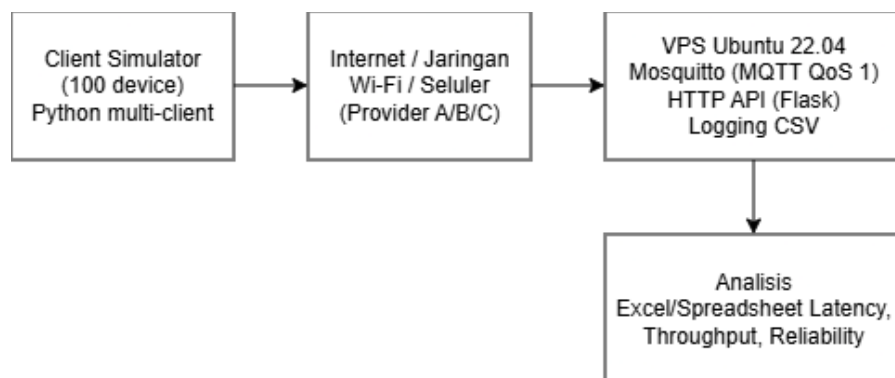
Tabel 3.1 menunjukkan kategori kualitas sinyal pada WiFi berdasarkan persentase *Signal*. Semakin mendekati nilai 100 maka kualitas sinyal dari WiFi semakin membaik. Pada Tabel 3.2 jaringan 2G berdasarkan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Semakin mendekati nilai 0 dBm, maka kualitas sinyal yang diterima perangkat semakin baik. Kategori pada tabel digunakan sebagai acuan dalam menginterpretasikan kondisi jaringan 2G selama proses pengujian protokol MQTT dan HTTP. Pada Tabel 3.2 menunjukkan kategori kualitas sinyal jaringan 4G berdasarkan nilai *Reference Signal Received Power* (RSRP). Nilai RSRP digunakan untuk menggambarkan kekuatan sinyal LTE yang diterima perangkat.

Pada Simulasi pengiriman data payload akan ada Pencatatan data (*logging*) yang dilakukan dengan menggunakan teknik *timestamping* yang presisi pada setiap siklus pengiriman. Skrip mencatat waktu sistem saat paket data dikirim dari klien (*send_time*) dan mencatat ulang waktu saat balasan *respons* dari *server* diterima kembali oleh klien (*receive_time*). Selisih antara kedua waktu inilah yang menjadi bahan baku perhitungan parameter *latency*. Skrip mendeteksi status keberhasilan

transmisi apakah pengiriman sukses atau gagal (*timeout/error*) untuk menghasilkan data mentah yang lengkap mencakup aspek kecepatan dan aspek keandalan koneksi.

Seluruh hasil pencatatan waktu tersebut disimpan secara persisten dalam format file CSV (*Comma Separated Values*). File ini dibuat secara otomatis oleh skrip setelah seluruh proses pengujian selesai untuk setiap protokol. Struktur data di dalam file CSV ini dibagi ke dalam beberapa kolom, yaitu nomor identifikasi paket, jenis protokol yang digunakan, waktu pengiriman, waktu penerimaan, serta status sukses atau gagal. Data mentah yang tersimpan dalam format ini dapat dengan mudah dianalisis seperti Microsoft Excel untuk divalidasi kelengkapannya dan kemudian diolah menjadi nilai rata-rata *Latency*, *Throughput*, dan *Reliability*.

Contoh hasil data mentah di Microsoft Excel ada di Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Diagram Arsitektur Sistem Pengujian (*Client Simulator – VPS*)

Tabel 3.4 Spesifikasi Lingkungan Pengujian

No	Komponen	Spesifikasi/Perangkat Lunak
1	<i>Client Simulator</i>	Laptop/PC Windows 10/11, <i>Python</i> 3.14.3, library <i>paho-mqtt</i> dan <i>requests</i>
2	Pengukur Kualitas Sinyal	<i>G-NetTrack Lite</i> pada perangkat Android
3	<i>Server</i> (VPS)	Ubuntu 22.04 64-bit, 1 vCPU, 1 GB RAM, lokasi DCI Bekasi
4	MQTT broker	<i>Eclipse Mosquitto</i> (port 1883), QoS 1
5	HTTP API	Flask (Gunicorn) (port 8000), metode POST JSON
6	Output data	CSV: <i>device_id</i> , <i>seq</i> , <i>protocol</i> , <i>send time</i> , <i>receive time</i> , <i>status</i>

Tabel 3.5 Struktur Data Log Hasil Pengujian

No	KOLOM (HEADER CSV)	KETERANGAN
1	<i>Device_ID</i>	Identitas perangkat/klien (contoh: NODE 1)
2	<i>Seq</i>	Nomor urut pesan pada tiap <i>device</i>
3	Protokol	Tanda pengenal protokol (MQTT atau HTTP)
4	<i>Send time</i>	Waktu pengiriman paket dari klien (detik)
5	<i>Receive_time</i>	Waktu penerimaan <i>respons</i> dari <i>server</i> (detik)
6	Status	Status transmisi (Sukses / Gagal)

	A	B	C	D	E	F	G
1	Device_ID	Seq	Protocol	Send_Time	Receive_Time	Latency_ms	Status
2	NODE_001	1	HTTP	1772524670	1772524670	56.59294128	Sukses
3	NODE_002	1	HTTP	1772524670	1772524670	77.02231407	Sukses
4	NODE_003	1	HTTP	1772524670	1772524670	53.72738838	Sukses
5	NODE_004	1	HTTP	1772524670	1772524670	51.1906147	Sukses
6	NODE_006	1	HTTP	1772524670	1772524670	62.33429909	Sukses
7	NODE_005	1	HTTP	1772524670	1772524670	51.78332329	Sukses
8	NODE_009	1	HTTP	1772524670	1772524670	54.00896072	Sukses
9	NODE_008	1	HTTP	1772524670	1772524670	54.88324165	Sukses
10	NODE_007	1	HTTP	1772524670	1772524670	65.52743912	Sukses
11	NODE_012	1	HTTP	1772524670	1772524670	48.56228828	Sukses
12	NODE_010	1	HTTP	1772524670	1772524670	62.68000603	Sukses
13	NODE_011	1	HTTP	1772524670	1772524670	48.35104942	Sukses
14	NODE_015	1	HTTP	1772524670	1772524671	70.9297657	Sukses
15	NODE_016	1	HTTP	1772524670	1772524671	68.0346489	Sukses
16	NODE_013	1	HTTP	1772524671	1772524671	72.31235504	Sukses
17	NODE_017	1	HTTP	1772524671	1772524671	68.51410866	Sukses
18	NODE_014	1	HTTP	1772524671	1772524671	57.25121498	Sukses
19	NODE_019	1	HTTP	1772524671	1772524671	72.18956947	Sukses
20	NODE_020	1	HTTP	1772524671	1772524671	71.85316086	Sukses

Gambar 3.7 Tampilan Data Mentah di Microsoft Excel

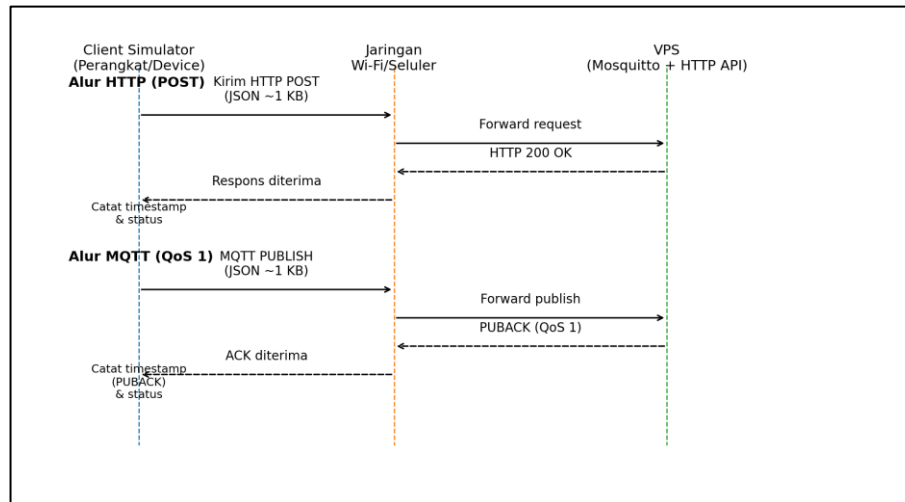
3.3 Desain Sistem

Desain sistem pengujian dirancang untuk mereplikasi proses komunikasi antara node IoT dan *server* melalui jaringan internet. Sistem ini bekerja berbasis skema *Request-Response* untuk HTTP dan *Publish-Subscribe* untuk MQTT, dimana perangkat klien berfungsi sebagai pengirim data ke *server* tujuan. Kondisi jaringan yang digunakan dalam penelitian ini berupa koneksi internet nirkabel (Wi-Fi dan jaringan provider 2G, 4G/LTE). Pengujian kualitas sinyal akan dilakukan sebelum pengujian pada pengiriman protokol dilakukan. Penggunaan jaringan nirkabel bertujuan untuk merepresentasikan kondisi jaringan yang ada di lingkungan pengujian.

Perangkat lunak penggerak sistem berupa skrip simulasi yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python. Skrip ini berfungsi mengirimkan data secara otomatis sesuai interval waktu yang telah ditentukan ke *server*. Penelitian ini menggunakan *server* yang dikendalikan peneliti berupa *Virtual Private Server* (VPS) sebagai penerima data, VPS berbasis Ubuntu yang menjalankan dua layanan: broker MQTT dan layanan HTTP. Pendekatan ini dipilih untuk mengurangi bias akibat pembatasan layanan pihak ketiga (*rate limiting*) dan memastikan hasil pengujian lebih konsisten pada setiap skenario jaringan.

Format data yang dikirimkan ke *server* berupa *payload* JSON yang dihasilkan dari dataset sensor pertanian. *Payload* pengujian dihasilkan dari dataset sensor pertanian milik WSU *Cook Agronomy Farm*. Konfigurasi perangkat lunak pada VPS meliputi *eclipse Mosquitto* sebagai broker MQTT, serta layanan HTTP

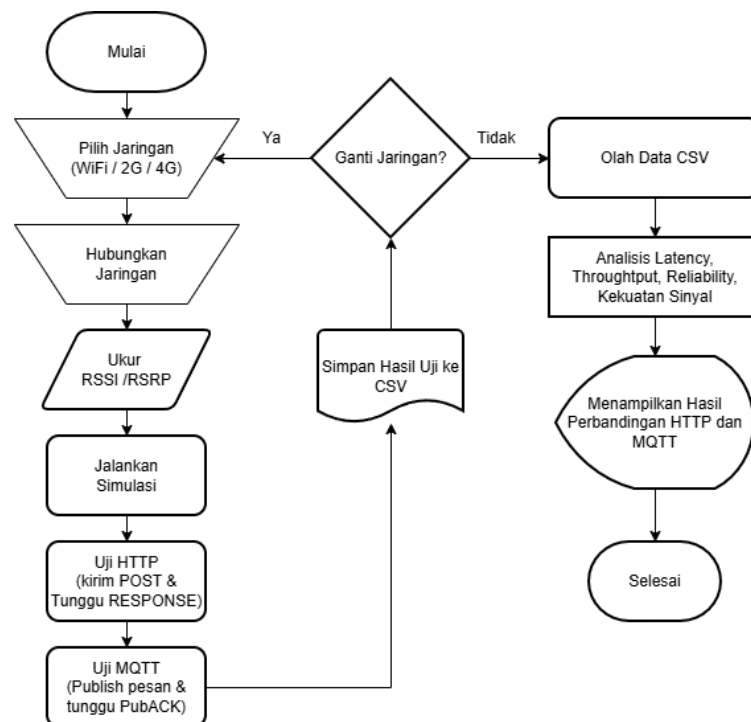
sederhana yang menerima data melalui metode POST. Seluruh permintaan/*Publish* dicatat ke dalam berkas CSV untuk dianalisis lebih lanjut.



Gambar 3.8 Sequence diagram pengiriman data pada HTTP dan MQTT

3.4 Skenario Pengujian

Skenario pengujian digunakan untuk merepresentasikan kondisi operasional mengirim data secara periodik. Pengujian dilakukan dengan mengukur kualitas sinyal dari jaringan lalu mengirimkan paket data simulasi ke *server* tujuan secara berulang dan terus-menerus. Hal ini dilakukan untuk mensimulasikan trafik jaringan yang nyata serta melihat seberapa handal protokol dalam menangani aliran data yang kontinu. Setiap skenario pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan (10 *run*) untuk meningkatkan validitas hasil pengukuran dan mengurangi pengaruh fluktuasi jaringan sesaat. Skenario ini digunakan agar dapat memberikan data yang cukup banyak dan representatif untuk statistik.



Gambar 3.9 Flowchart Proses Pengujian dan Pengumpulan data

Beban pengujian pada skenario ditetapkan dengan mensimulasikan 100 *device*, dimana setiap *device* mengirimkan 100 pesan (total 10.000 pesan) untuk setiap jenis protokol. Pengiriman dilakukan secara periodik dengan interval 1 detik per *device*. Untuk menghindari lonjakan (*burst*) koneksi dan menjaga kestabilan *server*, proses inialisasi koneksi dapat dilakukan bertahap antar *device*. Dengan konfigurasi interval 1 detik, durasi efektif pengiriman pada satu protokol berada pada kisaran sekitar 100 detik, di luar waktu inialisasi koneksi dan jeda antar sesi. Pelaksanaan pengujian dilakukan secara bergantian antara protokol MQTT dan HTTP pada kondisi jaringan yang sama. Sistem menjalankan pengujian untuk satu protokol hingga seluruh pesan pada skenario terkirim, kemudian dilanjutkan dengan protokol berikutnya setelah jeda singkat.

Urutan pengujian bergantian ini dilakukan untuk meminimalisir perbedaan kondisi jaringan antar protokol akibat perbedaan waktu pengujian. Keberhasilan pengiriman data ditentukan berdasarkan *respons* yang diterima dari *server* tujuan. Untuk HTTP, pesan dianggap sukses jika *server* membalas dengan kode status 200 OK. Untuk MQTT (QoS 1), pesan dianggap sukses jika klien menerima konfirmasi penerimaan dari broker (PUBACK). Jika *respons*/konfirmasi tidak diterima dalam batas waktu tertentu (*timeout*), maka pesan dicatat sebagai gagal dan dihitung pada pengukuran parameter *Reliability*.

Tabel 3.6 Ringkasan Skenario Pengujian

No	Parameter	Nilai
1	Jumlah <i>Device</i>	100
2	Pesan per <i>Device</i>	100
3	Total Pesan per Protokol	10.000
4	Ukuran <i>Payload</i>	1 KB (JSON)
5	Interval Pengiriman	1 detik per <i>device</i>
6	Format Data	JSON (Text-based)
7	Urutan Eksekusi	Bergantian (MQTT lalu HTTP, atau sebaliknya)
8	Kriteria Sukses (HTTP)	<i>Server Response</i> = 200 OK
9	Kriteria Sukses (MQTT)	Menerima PUBACK dari broker
10	Variasi Jaringan	Wi-Fi dan data seluler (2G, 3G, 4G/LTE)

Pada tahap perencanaan penelitian, jaringan 3G dipertimbangkan sebagai salah satu skenario pengujian. Namun pada saat penelitian dilaksanakan, layanan 3G telah dihentikan secara bertahap oleh operator seluler di Indonesia sebagai bagian dari proses migrasi jaringan menuju teknologi 4G dan 5G. Oleh karena itu, pengujian hanya dilakukan pada jaringan yang masih tersedia dan dapat digunakan secara aktual, yaitu WiFi, 2G, dan 4G. Setiap skenario pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan (10 *run*) untuk memperoleh hasil yang lebih

konsisten dan meminimalkan pengaruh kondisi jaringan sesaat terhadap hasil pengukuran. Untuk menjaga keadilan perbandingan, jumlah *device*, jumlah pesan, ukuran *payload*, interval pengiriman, serta *server* tujuan dijaga tetap pada seluruh skenario.

3.5 Metode Analisis Data

Data mentah yang terkumpul dalam file CSV selanjutnya diolah untuk menghasilkan metrik kinerja yang dapat dianalisis secara statistik. Hal ini dilakukan untuk mentransformasi data *timestamp* menjadi informasi performa yang bermakna, sehingga perbandingan antar protokol dapat dilakukan secara objektif. Proses analisis ini berfokus pada tiga parameter utama kinerja komunikasi data, yaitu *Latency*, *Throughput*, dan *Reliability*.

3.5.1 Analisis *Latency*

Latency merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur waktu tunda dalam proses komunikasi data. *Latency* didefinisikan sebagai selisih waktu antara saat data dikirim oleh *Client* dan saat *Client* menerima *respons* atau konfirmasi dari *server*. Nilai *Latency* dihitung untuk setiap paket data yang berhasil dikirim selama proses pengujian. Perhitungan *Latency* dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Latency = T_{terima} - T_{kirim}$$

Dimana T_{kirim} Adalah waktu pengiriman data dari node IoT dan T_{terima} Adalah waktu penerimaan data pada *server*.

Nilai *Latency* yang diperoleh kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk masing-masing protocol komunikasi. Nilai rata-rata *Latency* digunakan sebagai *Indicator* kecepatan komunikasi data, di mana nilai *Latency* yang lebih kecil menunjukkan waktu tunda yang lebih rendah. Dengan demikian, protokol yang memiliki nilai *Latency* rata-rata lebih kecil dapat dikatakan memiliki performa komunikasi yang lebih baik dari sisi kecepatan pengiriman data.

3.5.2 Analisis *Throughput*

Throughput digunakan untuk mengukur kemampuan protocol komunikasi dalam mentransmisikan data dalam rentang waktu tertentu. Dalam penelitian ini, *throughput* didefinisikan sebagai jumlah data yang berhasil diterima oleh *server* dibagi dengan total waktu pengiriman data. Perhitungan *throughput* dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Throughput = \frac{Total\ Paket\ Sukses}{Total\ Waktu\ Pengiriman}$$

Throughput pada penelitian ini dinyatakan dalam *message per second* (*msg/s*), yaitu jumlah pesan yang berhasil dikirim dalam satu detik. Nilai *throughput* dihitung untuk masing-masing protocol berdasarkan data hasil pengujian yang telah dikumpulkan. Protokol dengan nilai *throughput* yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan pengiriman data yang lebih besar dalam satuan waktu tertentu.

3.5.3 Analisis *Reliability*

Reliability digunakan untuk mengukur Tingkat keandalan protocol komunikasi dalam mengirimkan data tanpa kehilangan paket. Dalam penelitian ini, *reliability* didefinisikan sebagai persentase keberhasilan pengiriman data dari node IoT ke *server*. Perhitungan *reliability* dilakukan dengan membandingkan jumlah data yang berhasil diterima dengan jumlah data yang dikirim, menggunakan persamaan berikut:

$$Reliability(\%) = \frac{Jumlah\ Paket\ Sukses}{Jumlah\ Paket\ Total} \times 100\%$$

Nilai *reliability* yang tinggi menunjukkan bahwa protocol komunikasi memiliki keandalan yang baik dalam proses pengiriman data. Parameter ini penting dalam sistem IoT karena kehilangan data dapat memengaruhi akurasi informasi yang diterima oleh sistem. Dengan menganalisis nilai *reliability*, dapat diketahui protocol mana yang lebih stabil dan dapat diandalkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahapan Pengujian

Pengujian pada penelitian ini dilakukan untuk membandingkan performa protokol HTTP dan MQTT pada sistem komunikasi *Internet of Things* (IoT) *multi-device* menggunakan beberapa kondisi jaringan nirkabel. Pengujian dilakukan menggunakan simulasi *Client* IoT berbasis *Python* yang dijalankan pada perangkat laptop dan terhubung ke *server* VPS melalui jaringan internet. Proses pengujian dilakukan dengan mengukur kekuatan sinyal dari jaringan yang akan digunakan lalu mensimulasikan sebanyak 100 *device* IoT yang mengirimkan data sensor secara paralel menuju *server* menggunakan protokol HTTP dan MQTT. Setiap *device* mengirimkan sebanyak 100 pesan sehingga total pesan yang dikirim pada setiap skenario pengujian mencapai 10.000 pesan.

Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi jaringan yang berbeda, yaitu jaringan Wi-Fi, Telkomsel, Tri, dan Smartfren. Pada setiap provider akan diuji dengan jaringan 2G dan 4G. Variasi jaringan digunakan untuk mengetahui pengaruh kondisi jaringan terhadap performa komunikasi kedua protokol pada implementasi IoT *multi-device*. Kondisi dari jaringan juga dapat diketahui melalui kekuatan sinyal pada jaringan, pengukuran kualitas sinyal dilakukan sebagai variabel pendukung untuk menggambarkan kondisi jaringan saat pengujian berlangsung. Pada jaringan 2G digunakan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), pada jaringan 4G digunakan parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP) yang dinyatakan dalam satuan dBm. Nilai RSRP dan RSSI

digunakan sebagai informasi pendukung untuk menggambarkan kondisi pada jaringan 4G dan 2G saat pengujian MQTT dan HTTP dilakukan. *Payload* pengujian menggunakan data sensor berbasis dataset pertanian yang dikirim dalam format JSON. *Payload* memuat beberapa informasi seperti *device_id*, *sequence number*, *timestamp*, serta nilai sensor dengan ukuran rata-rata sekitar ± 1 KB. Penggunaan dataset nyata bertujuan agar proses komunikasi data lebih mendekati implementasi sistem IoT pada kondisi sebenarnya.

Pada MQTT pengujian menggunakan QoS level 1 untuk memastikan setiap pesan memperoleh konfirmasi penerimaan dari broker MQTT. Pada protokol HTTP digunakan metode komunikasi *request-response* melalui *endpoint* API berbasis FastAPI. Setiap skenario pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan (10 *run*) untuk memperoleh hasil yang lebih konsisten dan mengurangi pengaruh fluktuasi jaringan selama proses pengambilan data. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini meliputi *reliability*, *latency*, dan *throughput*. Data hasil pengujian dicatat secara otomatis ke dalam file CSV untuk mempermudah proses analisis dan pengolahan data pada tahap selanjutnya.

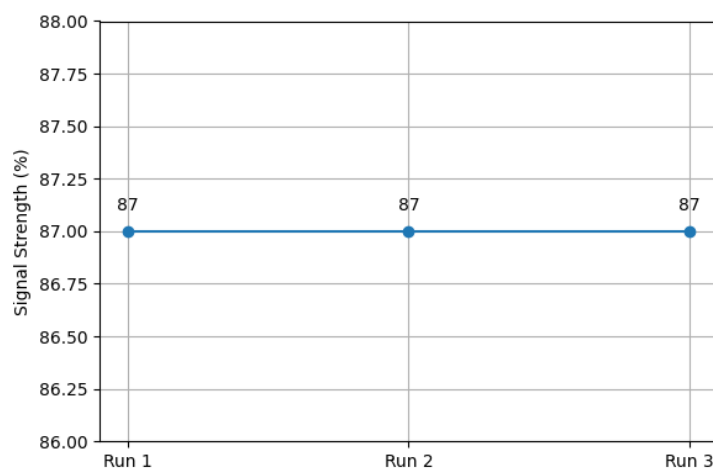
4.2 Hasil Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian performa protokol komunikasi HTTP dan MQTT menggunakan jaringan Wi-Fi serta jaringan seluler 2G dan 4G dari beberapa provider yang tersedia. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik performa kedua protokol dalam proses pengiriman data IoT pada kondisi jaringan yang berbeda. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi *reliability*, *Latency*, dan *throughput*. Setiap skenario pengujian dilakukan

menggunakan konfigurasi yang sama, yaitu simulasi 100 perangkat *virtual* dengan masing-masing perangkat mengirimkan 100 pesan sehingga total pesan yang dikirim sebanyak 10.000 pesan untuk setiap protokol. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap skenario untuk memperoleh hasil yang lebih representatif.

4.2.1 Hasil Pengujian pada Jaringan Wi-Fi

Pengujian pada jaringan Wi-Fi dilakukan untuk mengetahui performa protokol HTTP dan MQTT pada kondisi jaringan dengan *bandwidth* relatif tinggi dan *Latency* yang cenderung lebih rendah dibanding jaringan seluler. Pengujian dilakukan menggunakan jaringan Wi-Fi dengan kondisi jaringan yang relatif stabil dan terkontrol. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali pengulangan (10 *run*) guna memperoleh hasil yang lebih konsisten dan mengurangi pengaruh fluktuasi jaringan sesaat. Hasil pengukuran kualitas sinyal jaringan WiFi ditunjukkan pada gambar 4.1.

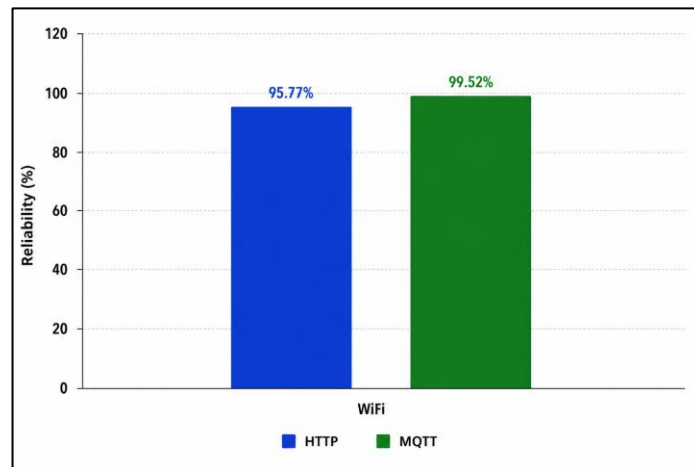


Gambar 4.1 Kualitas Sinyal Wi-Fi

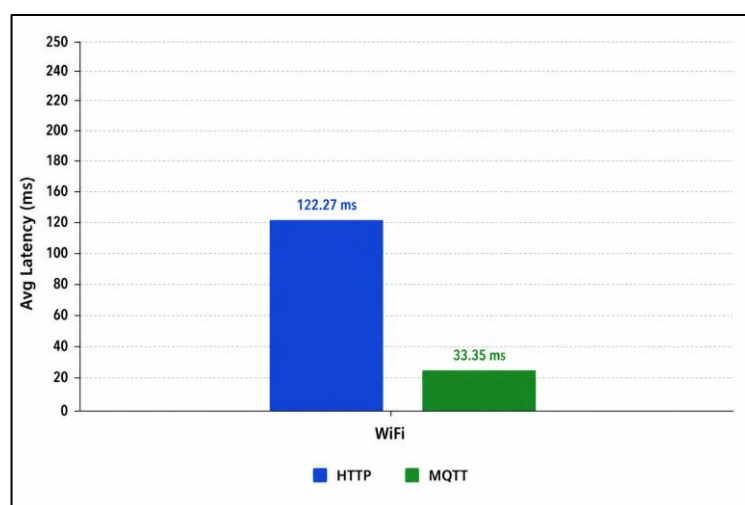
Pada gambar 4.1 menunjukkan hasil pengukuran kualitas sinyal jaringan Wi-Fi yang dilakukan sebelum proses pengujian. Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh nilai rata-rata kekuatan sinyal sebesar 87%. Nilai tersebut termasuk dalam kategori sangat baik sehingga menunjukkan bahwa jaringan Wi-Fi yang digunakan memiliki kualitas sinyal yang stabil selama proses pengujian berlangsung.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Wi-Fi

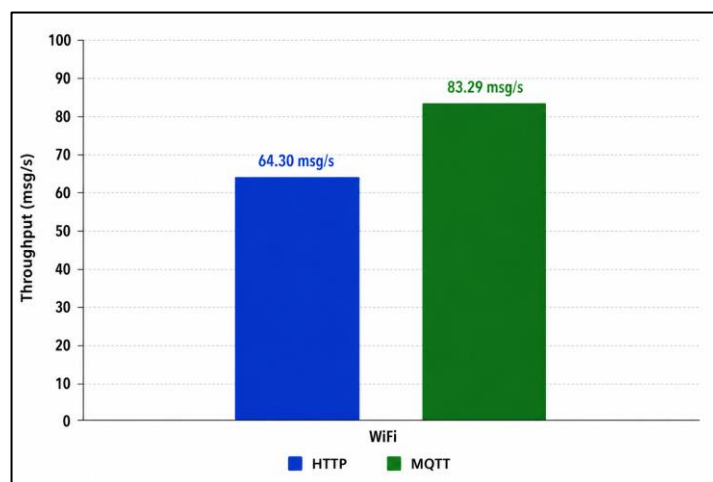
<i>Run</i>	<i>Protokol</i>	<i>Reliability (%)</i>	<i>Avg Latency (ms)</i>	<i>Throughput (msg/s)</i>
1	HTTP	97,97	290,98	60,53
1	MQTT	96,26	147,04	41,90
2	HTTP	97,97	90,59	71,38
2	MQTT	100	18,96	87,08
3	HTTP	96,75	77,78	69,25
3	MQTT	100	22,42	88,51
4	HTTP	95,49	95,60	65,11
4	MQTT	100	21,34	88,37
5	HTTP	95,20	101,54	63,82
5	MQTT	100	19,68	87,94
6	HTTP	94,83	112,72	61,54
6	MQTT	100	20,73	88,01
7	HTTP	95,01	118,11	60,98
7	MQTT	100	21,18	87,66
8	HTTP	94,72	122,35	59,83
8	MQTT	100	23,55	86,94
9	HTTP	94,58	134,67	58,20
9	MQTT	99,45	24,84	85,72
10	HTTP	94,41	165,01	56,42
10	MQTT	100	21,01	86,31

Gambar 4.2 Rata-rata *Reliability* pada Wi-Fi

Berdasarkan diagram *reliability* pada jaringan Wi-Fi, MQTT memperoleh nilai *reliability* sebesar 99,52%, sedangkan HTTP memperoleh nilai *reliability* sebesar 95,69%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua protokol memiliki tingkat keberhasilan pengiriman data yang tinggi pada kondisi jaringan Wi-Fi dengan kualitas sinyal rata-rata sebesar 87%. Namun demikian, MQTT mampu mempertahankan tingkat keberhasilan pengiriman data yang lebih tinggi dibandingkan HTTP selama proses pengujian.

Gambar 4.3 Rata-rata *Latency* pada Wi-Fi

Berdasarkan diagram *Latency* pada jaringan Wi-Fi, MQTT menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 33,35 ms, sedangkan HTTP menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 122,7 ms. Hasil tersebut menunjukkan bahwa MQTT mampu mengirimkan data dengan waktu tunda yang lebih rendah dibandingkan HTTP pada kondisi jaringan Wi-Fi dengan kualitas sinyal rata-rata sebesar 87%. Perbedaan nilai *Latency* dapat dipengaruhi oleh mekanisme komunikasi yang digunakan oleh masing-masing protokol. MQTT menggunakan koneksi persisten sehingga proses pertukaran data dapat dilakukan tanpa membangun koneksi baru pada setiap pengiriman pesan. Sebaliknya, HTTP menggunakan model *request-response* yang memerlukan proses pertukaran *request* dan *response* untuk setiap komunikasi data. Kondisi tersebut menyebabkan MQTT memiliki waktu pengiriman data yang lebih rendah dibandingkan HTTP selama pengujian berlangsung.



Gambar 4.4 Rata-rata *Throughput* pada WiFi

Berdasarkan diagram *throughput* pada jaringan Wi-Fi, MQTT menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 83,29 msg/s, sedangkan HTTP menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 64,30 msg/s. Hasil tersebut

menunjukkan bahwa MQTT mampu mengirimkan lebih banyak pesan dalam satuan waktu yang sama dibandingkan HTTP pada kondisi jaringan Wi-Fi dengan kualitas sinyal rata-rata sebesar 87%. Nilai *throughput* yang lebih tinggi pada MQTT menunjukkan bahwa protokol tersebut mampu memanfaatkan sumber daya jaringan secara lebih efektif selama proses pengujian. Penggunaan mekanisme *Publish-Subscribe* dan koneksi persisten memungkinkan MQTT mengurangi overhead komunikasi sehingga jumlah pesan yang berhasil dikirim dalam satu detik menjadi lebih tinggi dibandingkan HTTP yang menggunakan mekanisme *request-response*.

Hasil pengujian pada jaringan Wi-Fi menunjukkan bahwa MQTT memiliki performa yang lebih baik dibandingkan HTTP pada ketiga parameter yang diuji, yaitu *reliability*, *Latency*, dan *throughput*. Dengan kualitas sinyal jaringan Wi-Fi yang berada pada kategori sangat baik dengan rata-rata kekuatan sinyal sebesar 87%, MQTT mampu mencapai tingkat keberhasilan pengiriman data yang lebih tinggi, *Latency* yang lebih rendah, serta *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan HTTP.

4.2.2 Hasil Pengujian pada Jaringan Telkomsel 4G

Pengujian pada jaringan Telkomsel 4G dilakukan untuk mengetahui performa protokol HTTP dan MQTT pada jaringan seluler generasi keempat (4G LTE). Sebelum pengujian dilakukan, kualitas sinyal jaringan diukur menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite* dengan parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP).

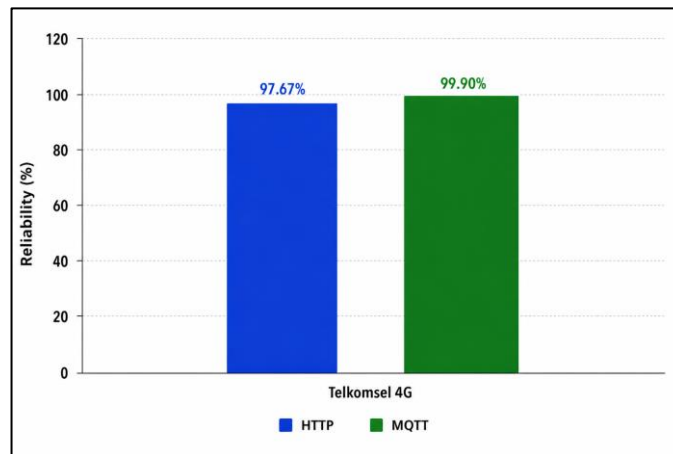
Tabel 4.2 Kualitas Sinyal Telkomsel 4G

No	Pengukuran	RSRP (dBm)
1	1	-81
2	2	-88
3	3	-92
4	4	-89
5	5	-87
6	Rata-rata	-87,4

Diambil lima data pengukuran kualitas jaringan dan diperoleh nilai RSRP sebesar -81 dBm, -88 dBm, -92 dBm, -89 dBm, dan -87 dBm dengan nilai rata-rata sebesar -87,4 dBm. Berdasarkan kategori kualitas sinyal yang telah ditetapkan pada Bab III, nilai rata-rata RSRP sebesar -87,4 dBm termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menunjukkan bahwa jaringan Telkomsel 4G memiliki kualitas sinyal yang baik dan relatif stabil selama proses pengujian berlangsung.

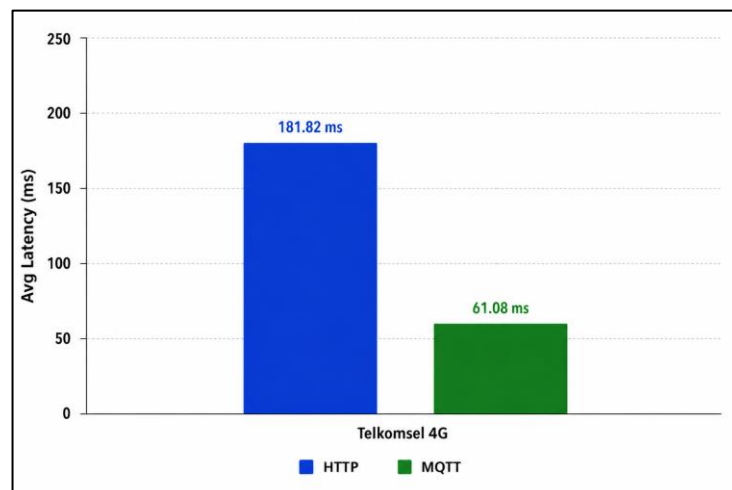
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Telkomsel 4G

Run	Protokol	Reliability (%)	Latency (ms)	Throughput (msg/s)
1	HTTP	97,73	230,49	64,81
1	MQTT	100	69,25	85,23
2	HTTP	98,09	196,02	68,35
2	MQTT	100	66,66	85,17
3	HTTP	97,57	183,33	67,14
3	MQTT	100	58,08	86,03
4	HTTP	97,48	177,24	67,22
4	MQTT	100	60,11	85,94
5	HTTP	97,36	181,90	66,84
5	MQTT	99,87	61,04	85,46
6	HTTP	97,58	172,11	67,88
6	MQTT	100	59,93	85,83
7	HTTP	97,44	175,33	67,12
7	MQTT	100	60,88	85,51
8	HTTP	97,65	180,42	66,90
8	MQTT	99,91	61,35	85,14
9	HTTP	97,82	160,91	68,04
9	MQTT	100	57,72	86,10
10	HTTP	97,95	160,41	66,41
10	MQTT	99,22	56,01	84,43



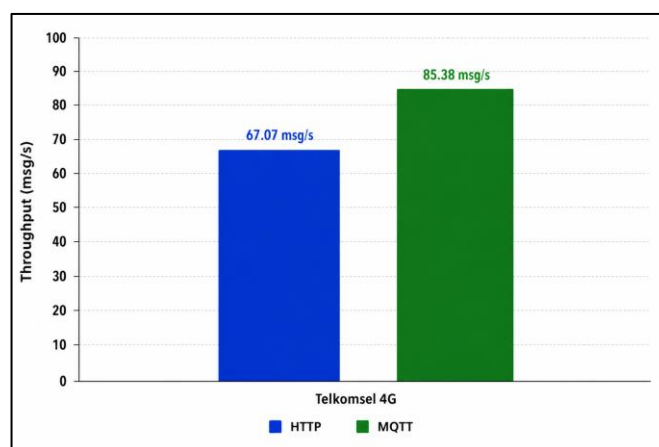
Gambar 4.5 Rata-rata *Reliability* Telkomsel 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Telkomsel 4G, MQTT memperoleh nilai *reliability* sebesar 99,90%, sedangkan HTTP memperoleh nilai *reliability* sebesar 97,67%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua protokol memiliki tingkat keberhasilan pengiriman data yang tinggi pada kondisi jaringan 4G dengan kualitas sinyal yang sangat baik. MQTT menunjukkan tingkat keberhasilan pengiriman data yang sedikit lebih tinggi dibandingkan HTTP selama proses pengujian berlangsung.



Gambar 4.6 Rata-rata *Latency* Telkomsel 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Telkomsel 4G, MQTT menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 61,08 ms, sedangkan HTTP menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 181,82 ms. Hasil tersebut menunjukkan bahwa MQTT mampu mengirimkan data dengan waktu tunda yang lebih rendah dibandingkan HTTP pada kondisi jaringan Telkomsel 4G dengan nilai RSRP rata-rata sebesar -87,4 dBm. Perbedaan nilai *Latency* ini dapat dipengaruhi oleh mekanisme komunikasi yang digunakan oleh masing-masing protokol. MQTT menggunakan koneksi persisten sehingga proses pertukaran data dapat dilakukan tanpa membangun koneksi baru pada setiap pengiriman pesan. Sebaliknya, HTTP menggunakan model *request-response* yang memerlukan proses pertukaran request dan *response* untuk setiap komunikasi data.



Gambar 4.7 Rata-rata *Throughput* Telkomsel 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Telkomsel 4G, MQTT menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 85,38 msg/s, sedangkan HTTP menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 67,07 msg/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa MQTT mampu mengirimkan lebih banyak pesan dalam satuan waktu yang sama dibandingkan HTTP pada kondisi jaringan Telkomsel 4G. Nilai

throughput yang lebih tinggi pada MQTT menunjukkan bahwa protokol tersebut mampu memanfaatkan sumber daya jaringan secara lebih efektif selama proses pengujian. Penggunaan mekanisme *Publish-Subscribe* dan koneksi persisten memungkinkan MQTT mengurangi overhead komunikasi sehingga jumlah pesan yang berhasil dikirim dalam satu detik menjadi lebih tinggi dibandingkan HTTP.

Hasil pengujian pada jaringan Telkomsel 4G menunjukkan bahwa MQTT memiliki performa yang lebih baik dibandingkan HTTP pada parameter *reliability*, *Latency*, dan *throughput*. Dengan kualitas sinyal yang sangat baik yang ditunjukkan oleh nilai RSRP rata-rata sebesar -87,4 dBm, MQTT mampu mencapai tingkat keberhasilan pengiriman data yang lebih tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme *Publish-Subscribe* dan koneksi persisten pada MQTT mampu memberikan performa komunikasi yang lebih stabil dibandingkan HTTP yang menggunakan model *request-response*. Perbedaan tersebut terlihat jelas pada parameter *Latency*, di mana MQTT menghasilkan waktu komunikasi yang jauh lebih rendah dibandingkan HTTP. Hasil pengujian pada jaringan Telkomsel 4G menunjukkan bahwa MQTT lebih optimal digunakan untuk komunikasi data IoT *multi-device* dibandingkan HTTP.

4.2.3 Hasil Pengujian pada Jaringan Tri 4G

Pengujian pada jaringan Tri 4G dilakukan untuk mengetahui performa protokol HTTP dan MQTT pada jaringan seluler generasi keempat (4G LTE). Sebelum pengujian dilakukan, kualitas sinyal jaringan diukur menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite* dengan parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP).

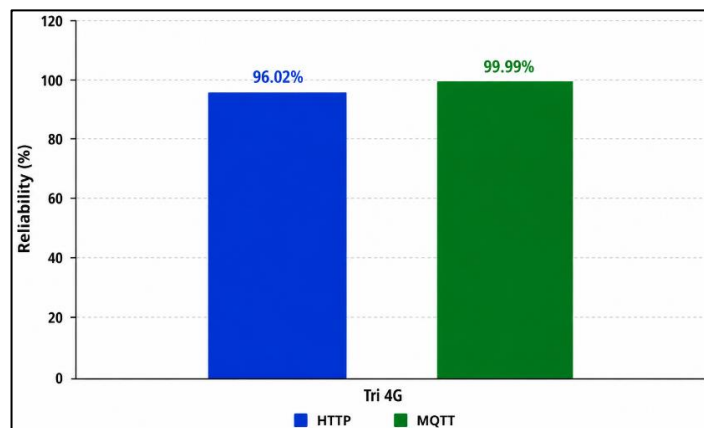
Tabel 4.4 Kualitas Sinyal Tri 4G

No	Pengukuran	RSRP (dBm)
1	1	-97
2	2	-88
3	3	-85
4	4	-94
5	5	-99
6	Rata-rata	-92,6

Berdasarkan kategori kualitas sinyal yang telah ditetapkan pada Bab III, nilai rata-rata RSRP sebesar -92,6 dBm termasuk dalam kategori sedang. Meskipun kualitas sinyal yang diperoleh lebih rendah dibandingkan Telkomsel 4G, jaringan Tri 4G tetap mampu menghasilkan performa komunikasi yang baik selama proses pengujian berlangsung.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tri 4G

Run	Protokol	Reliability (%)	Latency (ms)	Throughput (msg/s)
1	HTTP	96,23	535,13	47,83
1	MQTT	100	63,62	86,02
2	HTTP	96,28	537,07	47,54
2	MQTT	100	67,33	85,15
3	HTTP	96,39	523,59	48,62
3	MQTT	100	81,40	83,71
4	HTTP	95,94	551,12	45,88
4	MQTT	100	64,82	85,84
5	HTTP	95,52	563,88	44,93
5	MQTT	100	63,77	85,91
6	HTTP	95,30	548,14	46,11
6	MQTT	100	66,09	85,23
7	HTTP	95,08	556,77	45,21
7	MQTT	100	64,55	85,54
8	HTTP	94,95	559,02	44,76
8	MQTT	100	65,88	85,18
9	HTTP	94,72	541,63	44,55
9	MQTT	99,93	63,21	85,97
10	HTTP	94,11	537,29	45,92
10	MQTT	100	59,19	85,06

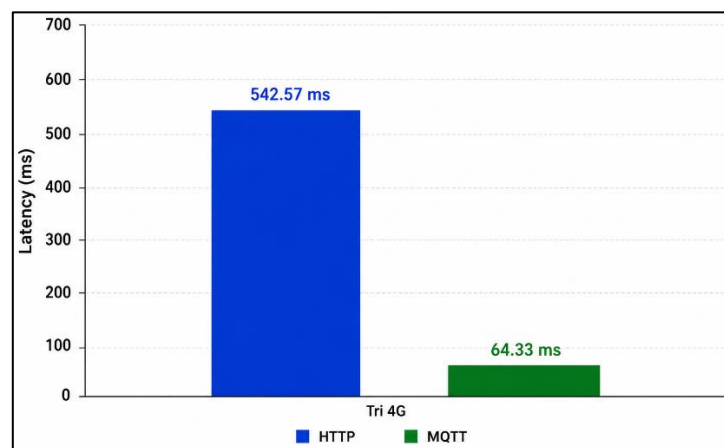


Gambar 4.8 Rata-rata *Reliability* Tri 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Tri 4G, protokol MQTT menunjukkan nilai *reliability* sebesar 99,99%, sedangkan protokol HTTP memperoleh nilai *reliability* sebesar 95,45%. *Reliability* dalam konteks ini merepresentasikan persentase keberhasilan paket data yang berhasil dikirim dan diterima tanpa mengalami kehilangan (packet loss) selama periode pengujian. Perbedaan nilai tersebut mengindikasikan bahwa MQTT memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjaga konsistensi dan keberhasilan transmisi data dibandingkan HTTP pada lingkungan jaringan Tri 4G.

Meskipun kualitas sinyal jaringan Tri 4G selama pengujian hanya berada pada kategori sedang, yang ditunjukkan oleh nilai rata-rata *Reference Signal Received Power* (RSRP) sebesar -92,6 dBm, MQTT tetap mampu mempertahankan tingkat keberhasilan pengiriman data yang sangat tinggi. Kinerja ini dapat dikaitkan dengan karakteristik MQTT yang menggunakan mekanisme komunikasi ringan (lightweight protocol) serta dukungan *Quality of Service* (QoS) yang memungkinkan proses pengiriman pesan berlangsung lebih andal pada kondisi jaringan yang kurang optimal. Sebaliknya, HTTP menunjukkan penurunan

reliability yang lebih signifikan, yang mengindikasikan bahwa protokol tersebut lebih rentan terhadap fluktuasi kualitas jaringan selama proses transmisi data. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa MQTT lebih efektif dibandingkan HTTP dalam mempertahankan keandalan komunikasi data pada jaringan Tri 4G dengan kondisi sinyal kategori sedang.

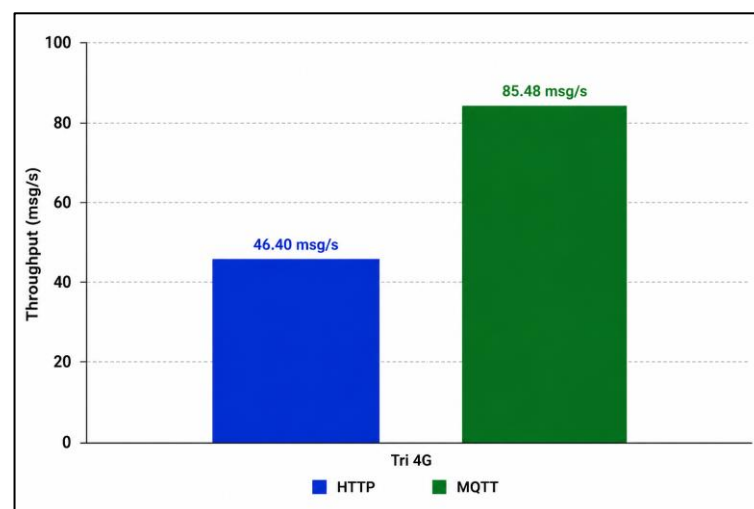


Gambar 4.9 Rata-rata *Latency* Tri 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan seluler Tri 4G, protokol MQTT memperoleh nilai rata-rata *Latency* sebesar 64,33 *ms*, sedangkan protokol HTTP mencatat nilai rata-rata *Latency* sebesar 542,57 *ms*. Secara kuantitatif, nilai *Latency* HTTP sekitar 8,26 kali lebih tinggi dibandingkan MQTT. Temuan ini menunjukkan bahwa MQTT memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendukung komunikasi data dengan kebutuhan waktu *respons* rendah (*low-Latency communication*), sehingga lebih sesuai untuk implementasi sistem *Internet of Things* (IoT) yang memerlukan pengiriman data secara *real-time* atau mendekati *real-time*. Perbedaan performa tersebut dapat dijelaskan oleh karakteristik arsitektur kedua protokol. MQTT menggunakan mekanisme komunikasi berbasis *Publish-Subscribe* dengan overhead paket yang relatif kecil serta memanfaatkan

koneksi persisten antara klien dan broker. Kondisi ini memungkinkan proses pertukaran data berlangsung tanpa perlu melakukan pembentukan koneksi berulang kali. Sebaliknya, HTTP menerapkan model *request-response* yang menghasilkan overhead komunikasi lebih besar karena setiap transaksi data memerlukan proses permintaan dan *respons* secara eksplisit. Akibatnya, ketika kualitas sinyal menurun atau terjadi fluktuasi kondisi jaringan, HTTP cenderung mengalami peningkatan *Latency* yang lebih signifikan dibandingkan MQTT.

Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa degradasi kualitas sinyal dan variasi kondisi jaringan pada layanan Tri 4G memberikan dampak yang lebih besar terhadap performa HTTP daripada MQTT. Meskipun kualitas sinyal berada pada kategori sedang, MQTT tetap mampu mempertahankan nilai *Latency* yang relatif rendah dan stabil berkat efisiensi mekanisme komunikasinya. Oleh karena itu, dari perspektif performa jaringan, MQTT dapat dianggap lebih efektif dan lebih adaptif dibandingkan HTTP untuk aplikasi IoT yang membutuhkan pertukaran data secara cepat, kontinu, dan efisien pada lingkungan jaringan seluler 4G.



Gambar 4.10 Rata-rata *Throughput* Tri 4G

Pada pengujian *throughput* protokol MQTT memperoleh nilai *throughput* rata-rata sebesar 85,48 pesan per detik (*msg/s*), sedangkan protokol HTTP hanya mencapai *throughput* rata-rata sebesar 46,40 *msg/s*. Secara kuantitatif, *throughput* MQTT lebih tinggi sekitar 85,03% dibandingkan HTTP. Temuan ini menunjukkan bahwa MQTT memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memanfaatkan sumber daya jaringan untuk proses transmisi data, sehingga mampu mengirimkan jumlah pesan yang lebih besar dalam interval waktu yang sama.

Penurunan *throughput* pada HTTP terlihat cukup signifikan apabila dibandingkan dengan hasil pengujian pada jaringan Wi-Fi maupun Telkomsel 4G. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kinerja HTTP lebih sensitif terhadap perubahan kualitas jaringan, terutama pada lingkungan dengan tingkat kestabilan sinyal yang lebih rendah. Sebaliknya, MQTT tetap mampu mempertahankan nilai *throughput* yang relatif tinggi meskipun pengujian dilakukan pada jaringan Tri 4G yang memiliki kualitas sinyal pada kategori sedang. Karakteristik MQTT yang menggunakan mekanisme komunikasi ringan (*lightweight protocol*), ukuran header yang lebih kecil, serta model komunikasi *Publish-Subscribe* berkontribusi terhadap efisiensi transmisi data dan memungkinkan protokol ini mempertahankan performa yang lebih stabil pada kondisi jaringan yang kurang optimal.

. Hasil pengujian pada jaringan Tri 4G menunjukkan bahwa MQTT memiliki performa yang lebih baik dibandingkan HTTP pada seluruh parameter yang diuji, yaitu *reliability*, *Latency*, dan *throughput*. Meskipun kualitas sinyal jaringan Tri 4G hanya berada pada kategori sedang dengan nilai RSRP rata-rata sebesar -92,6 dBm, MQTT tetap mampu mempertahankan tingkat keberhasilan

pengiriman data yang tinggi, *Latency* yang rendah, dan *throughput* yang lebih besar dibandingkan HTTP. Hasil ini menunjukkan bahwa MQTT memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap variasi kualitas jaringan dibandingkan HTTP pada skenario komunikasi data IoT *multi-device*.

4.2.4 Hasil Pengujian pada Jaringan Smartfren 4G

Pengujian pada jaringan Smartfren 4G dilakukan untuk membandingkan performa protokol HTTP dan MQTT pada *provider* seluler yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui konsistensi performa kedua protokol pada variasi kualitas jaringan 4G. Sebelum pengujian dilakukan, kualitas sinyal jaringan diukur menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite* dengan parameter *Reference Signal Received Power* (RSRP).

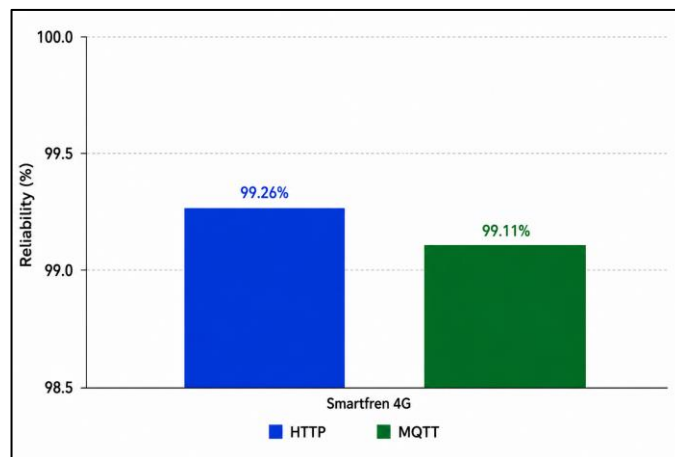
Tabel 4.6 Kualitas Jaringan Smartfren 4G

NO	Pengukuran	RSRP (dBm)
1	1	-102
2	2	-102
3	3	-95
4	4	-104
5	5	-95
6	Rata-rata	-99,6

Berdasarkan kategori kualitas sinyal yang telah ditetapkan pada Bab III, nilai rata-rata RSRP sebesar -99,6 dBm termasuk dalam kategori sedang. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kualitas sinyal Smartfren 4G lebih rendah dibandingkan Telkomsel 4G maupun Tri 4G yang digunakan pada penelitian ini. Kondisi tersebut dapat menjadi salah satu faktor yang memengaruhi performa komunikasi data selama proses pengujian berlangsung.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Smartfren 4G

No	Protokol	Reliability (%)	Latency (ms)	Throughput (msg/s)
1	HTTP	99,54	281,26	65,60
1	MQTT	100	53,05	86,48
2	HTTP	99,42	273,81	66,02
2	MQTT	100	56,21	85,94
3	HTTP	99,36	268,54	66,34
3	MQTT	99,92	61,35	84,73
4	HTTP	99,29	272,91	65,87
4	MQTT	98,44	118,66	77,42
5	HTTP	99,33	279,11	65,74
5	MQTT	97,81	157,90	71,35
6	HTTP	99,28	281,04	65,55
6	MQTT	96,54	224,18	62,04
7	HTTP	99,18	285,76	65,11
7	MQTT	95,77	231,63	58,77
8	HTTP	99,11	287,45	64,93
8	MQTT	94,63	248,02	54,28
9	HTTP	99,07	291,88	64,55
9	MQTT	93,22	261,47	51,34
10	HTTP	99,06	297,56	64,12
10	MQTT	91,78	271,74	49,32

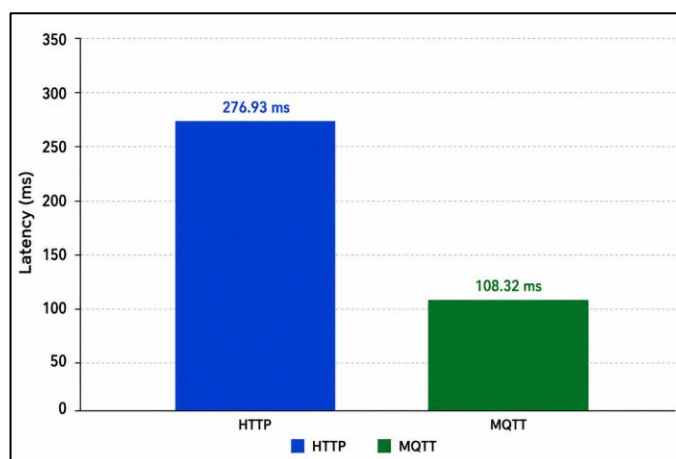


Gambar 4.11 Rata-rata Reliability Smartfren 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Smartfren 4G, protokol HTTP memperoleh nilai *reliability* rata-rata sebesar 99,26%, yang berarti dari seluruh paket data yang dikirim, sekitar 99,26% berhasil diterima tanpa kegagalan. Sementara itu, protokol MQTT memperoleh nilai *reliability* rata-rata sebesar

96,81%, sehingga terdapat selisih sebesar 2,45% dibandingkan HTTP. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua protokol memiliki tingkat keberhasilan pengiriman data yang tinggi, namun HTTP memberikan performa yang lebih baik dalam menjaga keberhasilan pengiriman data pada jaringan Smartfren 4G.

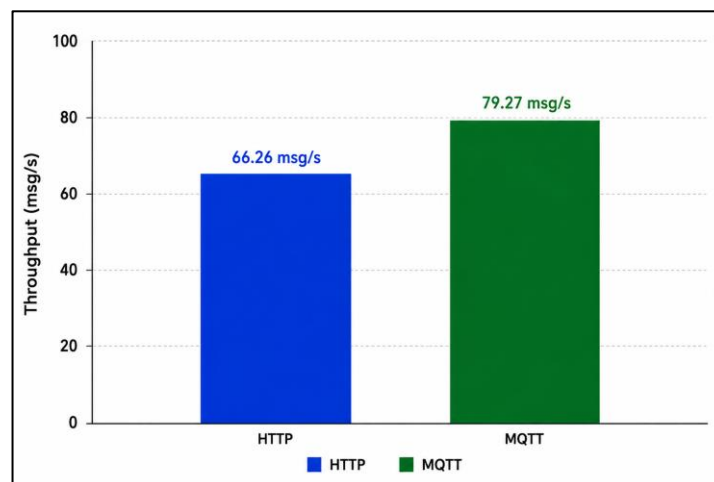
Reliability pada HTTP cenderung konsisten dan selalu berada di atas 99% pada seluruh skenario pengujian. Kondisi ini menunjukkan bahwa HTTP mampu mempertahankan kestabilan pengiriman data meskipun terjadi perubahan kondisi jaringan selama pengujian. Di sisi lain, MQTT menunjukkan variasi nilai *reliability* yang lebih besar. Pada beberapa run terakhir, nilai *reliability* MQTT mengalami penurunan dibandingkan run sebelumnya, yang mengindikasikan adanya paket data yang gagal terkirim atau tidak diterima dengan sempurna. Penurunan tersebut kemungkinan disebabkan oleh fluktuasi kualitas sinyal, perubahan tingkat latensi, atau terjadinya packet loss pada jaringan Smartfren 4G selama proses pengujian berlangsung. Dengan demikian, dari aspek *reliability*, HTTP dapat dianggap lebih stabil dan lebih andal dibandingkan MQTT pada kondisi jaringan yang diuji.



Gambar 4.12 Rata-rata *Latency* Smartfren 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Smartfren 4G, protokol MQTT menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 108,32 ms, sedangkan protokol HTTP menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 276,93 ms. Selisih *Latency* sebesar 113,11 ms menunjukkan bahwa MQTT mampu mengirimkan data lebih cepat dibandingkan HTTP pada kondisi jaringan yang sama. Hasil ini mengindikasikan bahwa mekanisme komunikasi ringan yang digunakan MQTT lebih efisien dalam proses pertukaran data dibandingkan metode *request-response* pada HTTP.

Meskipun MQTT tetap memberikan performa yang lebih baik dibandingkan HTTP, nilai *Latency* MQTT pada jaringan Smartfren 4G tercatat lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian MQTT pada jaringan Wi-Fi, Telkomsel 4G, dan Tri 4G. Perbedaan ini menunjukkan bahwa faktor kualitas sinyal, tingkat kepadatan trafik jaringan, kestabilan koneksi, serta kondisi infrastruktur operator berpengaruh terhadap waktu pengiriman data. Semakin rendah kualitas dan stabilitas jaringan yang digunakan, semakin besar pula kemungkinan terjadinya peningkatan *Latency* pada komunikasi MQTT.



Gambar 4.13 Rata-rata *Throughput* Smartfren 4G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Smartfren 4G, protokol MQTT menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 79,27 pesan per detik (*msg/s*), sedangkan protokol HTTP menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 65,26 pesan per detik (*msg/s*). Dengan demikian, MQTT memiliki *throughput* sekitar 3,13 *msg/s* lebih tinggi dibandingkan HTTP. Meskipun MQTT tetap menunjukkan performa yang lebih baik dalam jumlah pesan yang berhasil diproses per detik, selisih *throughput* tersebut relatif kecil dibandingkan hasil pengujian pada jaringan lain yang menunjukkan perbedaan lebih signifikan. Perbedaan *throughput* yang tidak terlalu besar ini mengindikasikan bahwa karakteristik jaringan Smartfren 4G memengaruhi kinerja kedua protokol secara hampir merata. Pada beberapa run pengujian, *throughput* MQTT mengalami penurunan yang berkorelasi dengan peningkatan nilai *Latency* serta penurunan *reliability*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ketika kualitas jaringan menurun, kemampuan MQTT dalam mempertahankan laju pengiriman pesan juga ikut terdampak. Meskipun demikian, MQTT tetap mampu mempertahankan *throughput* tertinggi dibandingkan HTTP pada rata-rata keseluruhan pengujian, sehingga masih lebih efisien untuk komunikasi data yang membutuhkan pengiriman pesan secara cepat dan berkelanjutan pada jaringan Smartfren 4G.

Hasil pengujian pada jaringan Smartfren 4G menunjukkan bahwa MQTT masih unggul pada parameter *Latency* dan *throughput*, sedangkan HTTP memperoleh nilai *reliability* yang lebih tinggi. Dengan kualitas sinyal rata-rata sebesar -99,6 dBm yang termasuk kategori sedang, kedua protokol masih mampu mempertahankan performa komunikasi yang baik. Namun, MQTT menunjukkan

penurunan performa yang lebih terlihat dibandingkan hasil pengujian pada jaringan Wi-Fi, Telkomsel 4G, dan Tri 4G, yang mengindikasikan adanya pengaruh kualitas jaringan terhadap performa komunikasi data IoT.

4.2.5 Hasil Pengujian pada Jaringan Telkomsel 2G

Pengujian pada jaringan Telkomsel 2G dilakukan untuk mengetahui performa protokol HTTP dan MQTT pada jaringan seluler generasi kedua (2G/EDGE). Sebelum pengujian dilakukan, kualitas sinyal jaringan diukur menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite* dengan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI).

Tabel 4.8 Kualitas Sinyal Telkomsel 2G

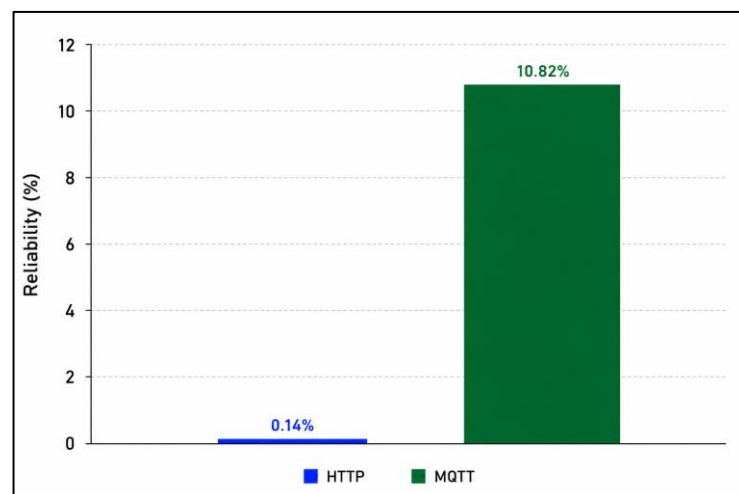
No	Pengukuran	RSSI (dBm)
1	1	-65
2	2	-61
3	3	-61
4	4	-59
5	5	-59
6	Rata-rata	-61

Berdasarkan kategori kualitas sinyal yang telah ditetapkan pada Bab III, nilai rata-rata RSSI sebesar -61 dBm termasuk dalam kategori sangat baik. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal jaringan Telkomsel 2G pada lokasi pengujian berada dalam kondisi yang sangat baik selama proses pengujian berlangsung. Meskipun kualitas sinyal tergolong sangat baik, hasil pengujian menunjukkan bahwa performa komunikasi data masih sangat rendah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa keterbatasan performa tidak disebabkan oleh lemahnya kekuatan sinyal, melainkan oleh keterbatasan teknologi jaringan 2G (EDGE) yang

memiliki kapasitas transmisi data dan *bandwidth* yang jauh lebih rendah dibandingkan jaringan 4G maupun Wi-Fi.

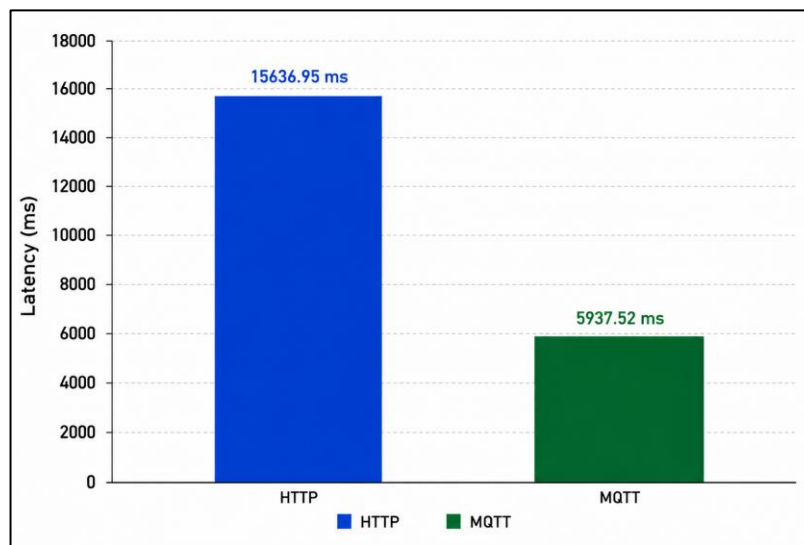
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Telkomsel 2G

Run	Protokol	Reliability (%)	Latency (ms)	Throughput (msg/s)
1	HTTP	0,76	21214.67	0.03
1	MQTT	0,00	-	0.00
2	HTTP	0,00	-	0.00
2	MQTT	41,18	7422.17	4.24
3	HTTP	0,00	-	0.00
3	MQTT	0,00	-	0.00
4	HTTP	0,00	-	0.00
4	MQTT	10,13	2048.76	1.86
5	HTTP	0,00	-	0,00
5	MQTT	39,82	6530.70	4,58
6	HTTP	0,13	5669.55	0,05
6	MQTT	15,85	5339.05	1,18
7	HTTP	0,26	17107.78	0,03
7	MQTT	1,22	8346.94	0,11
8	HTTP	0,23	17189.00	0,03
8	MQTT	0,00	-	0,00
9	HTTP	0,06	17003.77	0,31
9	MQTT	0,00	-	0,00
10	HTTP	0,00	-	0,00
10	MQTT	0,00	-	0,00



Gambar 4.14 Rata-rata *Reliability* Telkomsel 2G

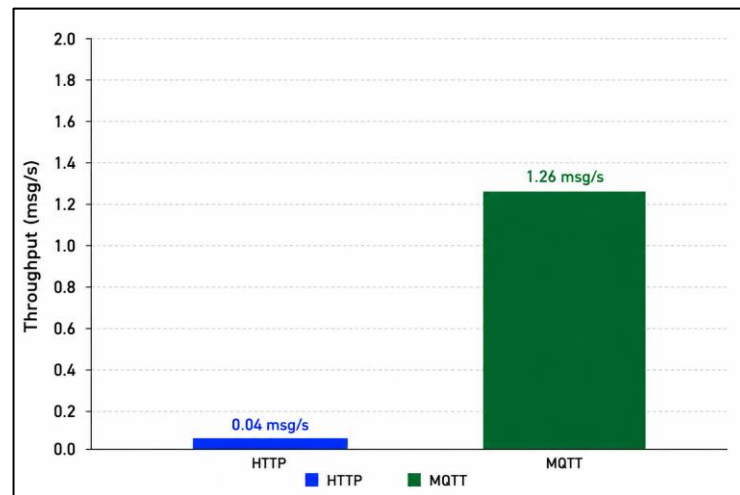
Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Telkomsel 2G, MQTT memperoleh nilai *reliability* rata-rata sebesar 10,82%, sedangkan HTTP hanya memperoleh nilai *reliability* rata-rata sebesar 0,14%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua protokol mengalami penurunan tingkat keberhasilan pengiriman data yang sangat signifikan dibandingkan pengujian pada jaringan Wi-Fi maupun jaringan 4G. Meskipun kualitas sinyal Telkomsel 2G berada pada kategori sangat baik dengan nilai RSSI rata-rata sebesar -61 dBm, tingkat keberhasilan pengiriman data tetap rendah. Hal ini menunjukkan bahwa performa komunikasi data tidak hanya dipengaruhi oleh kekuatan sinyal, tetapi juga oleh kemampuan teknologi jaringan yang digunakan. Keterbatasan *bandwidth*, tingginya *delay*, serta kapasitas jaringan 2G yang rendah menyebabkan sebagian besar pesan gagal dikirim selama proses pengujian. Dari hasil pengujian terlihat bahwa MQTT masih mampu mempertahankan tingkat keberhasilan pengiriman data yang lebih baik dibandingkan HTTP. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme *Publish-Subscribe* dan penggunaan koneksi persisten pada MQTT lebih mampu beradaptasi terhadap kondisi jaringan dengan kapasitas terbatas dibandingkan model *request-response* yang digunakan oleh HTTP.



Gambar 4.15 Rata-rata *Latency* Telkomsel 2G

MQTT menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 5.937,52 ms, sedangkan HTTP menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 15.636,95 ms. Hasil tersebut menunjukkan bahwa MQTT mampu mengirimkan data dengan waktu tunda yang lebih rendah dibandingkan HTTP pada kondisi jaringan Telkomsel 2G. Nilai *Latency* yang diperoleh pada kedua protokol jauh lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian pada jaringan Wi-Fi maupun jaringan 4G. Kondisi ini menunjukkan bahwa jaringan 2G memiliki keterbatasan dalam menangani komunikasi data dengan jumlah perangkat dan volume pesan yang besar. Tingginya *Latency* menyebabkan proses pengiriman dan penerimaan data memerlukan waktu yang lebih lama sehingga berdampak pada menurunnya performa komunikasi secara keseluruhan. Meskipun sama-sama mengalami peningkatan *Latency* yang signifikan, MQTT masih menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan HTTP. Hal ini terlihat dari nilai *Latency* MQTT yang hampir tiga kali lebih rendah dibandingkan HTTP. Penggunaan koneksi persisten pada MQTT memungkinkan

proses komunikasi berlangsung dengan overhead yang lebih kecil dibandingkan mekanisme *request-response* pada HTTP.



Gambar 4.16 Rata-rata *Throughput* Telkomsel 2G

Berdasarkan hasil pengujian MQTT menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 1,26 *msg/s*, sedangkan HTTP hanya menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 0,04 *msg/s*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa MQTT mampu mengirimkan lebih banyak pesan dalam satuan waktu yang sama dibandingkan HTTP pada kondisi jaringan Telkomsel 2G. Nilai *throughput* kedua protokol mengalami penurunan yang sangat signifikan dibandingkan hasil pengujian pada jaringan Wi-Fi maupun jaringan 4G. Rendahnya *throughput* menunjukkan bahwa kemampuan jaringan 2G dalam mentransmisikan data berada pada tingkat yang sangat terbatas ketika digunakan untuk menangani komunikasi data dari banyak perangkat secara bersamaan. Meskipun mengalami penurunan performa, MQTT masih mampu mempertahankan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan HTTP. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme komunikasi MQTT lebih mampu

beradaptasi terhadap keterbatasan *bandwidth* yang dimiliki oleh jaringan 2G dibandingkan HTTP yang menggunakan model *request-response*.

4.2.6 Hasil Pengujian pada Jaringan Tri 2G

Pengujian pada jaringan Tri 2G dilakukan untuk mengetahui performa protokol HTTP dan MQTT pada jaringan seluler generasi kedua (2G). Sebelum pengujian dilakukan, kualitas sinyal jaringan diukur menggunakan aplikasi *G-NetTrack Lite* dengan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI).

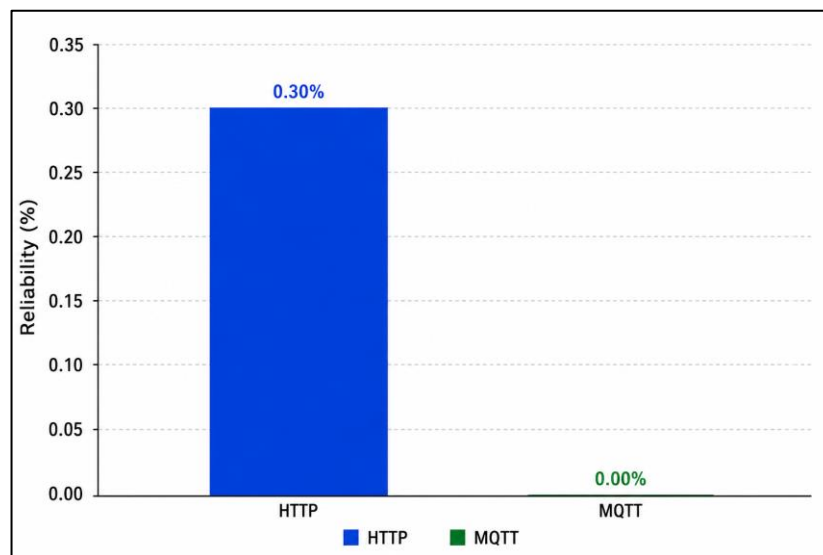
Tabel 4.10 Kekuatan Sinyal Tri 2G

No	Pengukuran	RSSI (dBm)
1	1	-63
2	2	-57
3	3	-59
4	4	-61
5	5	-61
6	Rata-rata	-60,2

Berdasarkan kategori kualitas sinyal yang telah ditetapkan pada Bab III, nilai rata-rata RSSI sebesar -60,2 dBm termasuk dalam kategori sangat baik. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal jaringan Tri 2G pada lokasi pengujian berada dalam kondisi yang sangat baik selama proses pengujian berlangsung. Namun demikian, performa komunikasi data yang diperoleh pada pengujian menunjukkan hasil yang sangat rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa keterbatasan performa lebih dipengaruhi oleh teknologi jaringan 2G dibandingkan oleh kekuatan sinyal yang diterima perangkat.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Tri 2G

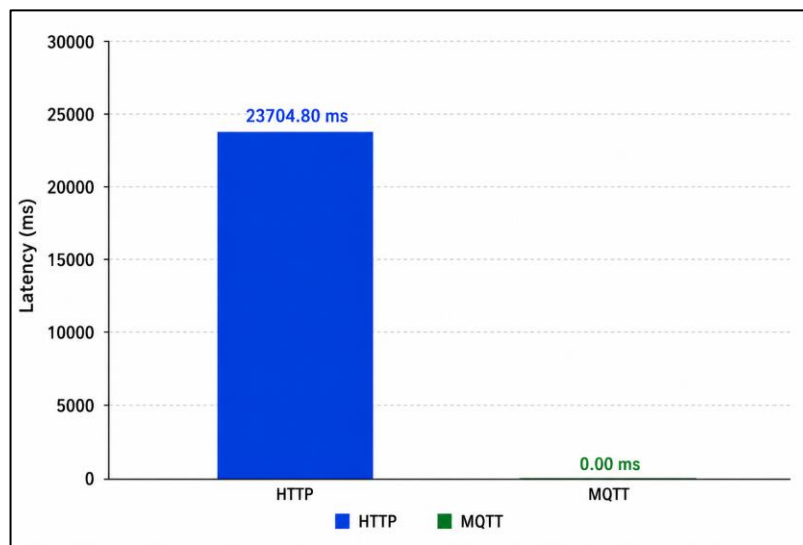
Run	Protokol	Reliability (%)	Latency (ms)	Throughput (msg/s)
1	HTTP	0,33	18.444,68	0,04
1	MQTT	0,00	-	0,00
2	HTTP	0,31	17.332,59	0,02
2	MQTT	0,00	-	0,00
3	HTTP	0,31	30.923,02	0,79
3	MQTT	0,00	-	000
4	HTTP	0,16	18.905,81	0,34
4	MQTT	0,00	-	000
5	HTTP	0,00	-	000
5	MQTT	0,00	-	000
6	HTTP	0,00	-	000
6	MQTT	0,00	-	000
7	HTTP	0,27	31.855,72	0,02
7	MQTT	0,00	-	000
8	HTTP	0,69	24.787,08	0,08
8	MQTT	0,00	-	000
9	HTTP	0,98	23.684,70	0,04
9	MQTT	0,00	-	000
10	HTTP	0,00	-	000
10	MQTT	0,00	-	000



Gambar 4.17 Rata-rata Reliability Tri 2G

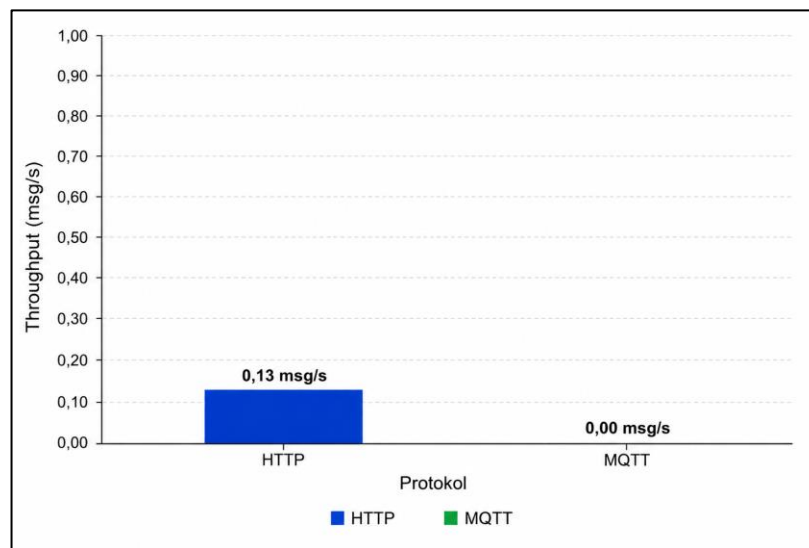
Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Tri 2G, protokol HTTP memperoleh nilai *reliability* rata-rata sebesar 0,30%, yang berarti hanya sekitar 0,30% dari total data yang berhasil diterima oleh *server* sesuai dengan jumlah data yang dikirim. Sementara itu, protokol MQTT memperoleh nilai *reliability* sebesar 0%, yang menunjukkan bahwa tidak ada satu pun pesan yang berhasil diterima selama seluruh rangkaian pengujian berlangsung. Hasil ini mengindikasikan bahwa hampir seluruh proses transmisi data mengalami kegagalan pada kedua protokol ketika dijalankan pada jaringan 2G.

Kualitas sinyal pada Tri 2G tergolong sangat baik dengan nilai RSSI rata-rata sebesar -60,2 dBm, tetapi tingkat keberhasilan pengiriman data tetap berada pada level yang sangat rendah. Pada pengujian menggunakan MQTT, seluruh pesan yang dikirim oleh perangkat IoT gagal mencapai broker sehingga tidak terdapat data yang berhasil diproses maupun diteruskan ke *server*. Sebaliknya, HTTP masih mampu mengirim sejumlah kecil data, namun jumlahnya sangat terbatas sehingga nilai *reliability* yang diperoleh hanya mencapai 0,30%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas sinyal yang baik tidak selalu menjamin keberhasilan komunikasi data. Rendahnya *reliability* pada kedua protokol lebih dipengaruhi oleh keterbatasan jaringan 2G, seperti *bandwidth* yang sempit, kapasitas kanal yang rendah, tingginya waktu tunda (*Latency*), serta keterbatasan jaringan dalam menangani lalu lintas data dari banyak perangkat secara bersamaan. Pada skenario komunikasi IoT *multi-device*, keterbatasan tersebut menyebabkan terjadinya kegagalan pengiriman paket secara masif, sehingga baik HTTP maupun MQTT tidak dapat beroperasi secara optimal pada jaringan Tri 2G.



Gambar 4.18 Rata-rata *Latency* Tri 2G

Berdasarkan hasil pengujian pada jaringan Tri 2G, HTTP menghasilkan rata-rata *Latency* sebesar 23.704,80 ms. Sementara itu, nilai *Latency* MQTT tidak dapat dihitung karena tidak terdapat pesan yang berhasil dikirim selama proses pengujian. Nilai *Latency* HTTP yang sangat tinggi menunjukkan bahwa jaringan Tri 2G memiliki keterbatasan yang signifikan dalam mendukung komunikasi data IoT *multi-device*. Dibandingkan dengan hasil pengujian pada jaringan Wi-Fi maupun jaringan 4G, nilai *Latency* pada Tri 2G meningkat secara drastis hingga mencapai puluhan detik. Kondisi ini menyebabkan proses pengiriman data berlangsung sangat lambat dan tidak sesuai untuk kebutuhan komunikasi IoT yang memerlukan *respons* cepat. Kegagalan MQTT dalam mengirimkan pesan pada seluruh run pengujian menunjukkan bahwa kapasitas jaringan Tri 2G tidak mampu mendukung komunikasi data dengan konfigurasi pengujian yang digunakan. Oleh karena itu, nilai *Latency* MQTT tidak dapat diperoleh karena tidak terdapat data yang berhasil diterima oleh broker.



Gambar 4.19 Rata-rata *Throughput* Tri 2G

HTTP menghasilkan rata-rata *throughput* sebesar 0,13 *msg/s*, sedangkan MQTT menghasilkan *throughput* sebesar 0 *msg/s*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan jaringan Tri 2G dalam mentransmisikan data berada pada tingkat yang sangat rendah. Nilai *throughput* yang sangat kecil menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil pesan yang berhasil dikirim selama periode pengujian. Pada protokol MQTT, tidak terdapat pesan yang berhasil dikirim sehingga *throughput* yang diperoleh bernilai 0 *msg/s*. Kondisi ini sejalan dengan hasil *reliability* yang menunjukkan kegagalan pengiriman data pada seluruh run pengujian MQTT. Rendahnya *throughput* pada kedua protokol menunjukkan bahwa jaringan Tri 2G memiliki keterbatasan yang sangat besar dalam mendukung komunikasi data IoT *multi-device*. Meskipun kualitas sinyal berada pada kategori sangat baik, keterbatasan teknologi jaringan 2G menyebabkan kapasitas transmisi data menjadi sangat rendah.

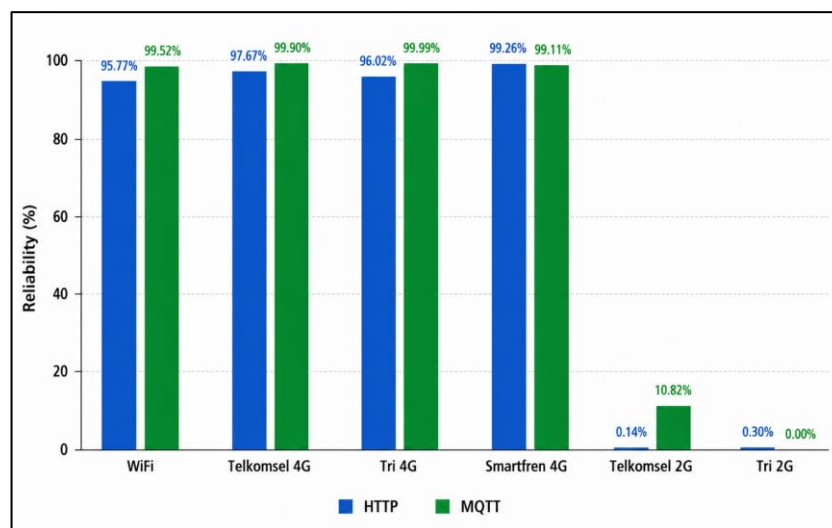
Hasil pengujian pada jaringan Tri 2G menunjukkan performa komunikasi yang paling rendah dibandingkan seluruh jaringan yang diuji dalam penelitian ini. Meskipun kualitas sinyal jaringan berada pada kategori sangat baik dengan nilai RSSI rata-rata sebesar -60,2 dBm, nilai *reliability*, *Latency*, dan *throughput* menunjukkan bahwa jaringan Tri 2G tidak mampu mendukung komunikasi data IoT *multi-device* secara efektif. Pada HTTP hanya sedikit pesan yang berhasil dikirim dengan nilai *reliability* rata-rata sebesar 0,30%, *Latency* sebesar 23.704,80 ms, dan *throughput* sebesar 0,13 msg/s. Sementara itu, MQTT mengalami kegagalan pengiriman data pada seluruh run pengujian sehingga memperoleh *reliability* sebesar 0% dan *throughput* sebesar 0 msg/s. Hasil ini menunjukkan bahwa keterbatasan teknologi jaringan 2G menjadi faktor utama yang memengaruhi performa komunikasi data, terlepas dari kualitas sinyal yang diterima perangkat.

4.3 Analisis Perbandingan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada jaringan Wi-Fi, Telkomsel, Tri, dan Smartfren, diperoleh perbedaan performa antara protokol HTTP dan MQTT pada komunikasi data *Internet of Things (IoT) multi-device*. Analisis dilakukan terhadap parameter *reliability*, *Latency*, dan *throughput* untuk mengetahui karakteristik performa masing-masing protokol pada berbagai kondisi jaringan nirkabel. Pada bagian ini dilakukan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh mekanisme komunikasi protokol terhadap performa sistem, pengaruh kondisi jaringan terhadap stabilitas komunikasi data, serta efisiensi komunikasi pada implementasi IoT *multi-device*.

4.3.1 Analisis *Reliability*

Reliability digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan pengiriman data dari *Client* menuju *server*. Nilai *reliability* diperoleh dari perbandingan jumlah pesan yang berhasil diterima *server* terhadap total pesan yang dikirim selama proses pengujian. Gambar 4. menunjukkan perbandingan rata-rata *reliability* HTTP dan MQTT pada seluruh skenario pengujian.



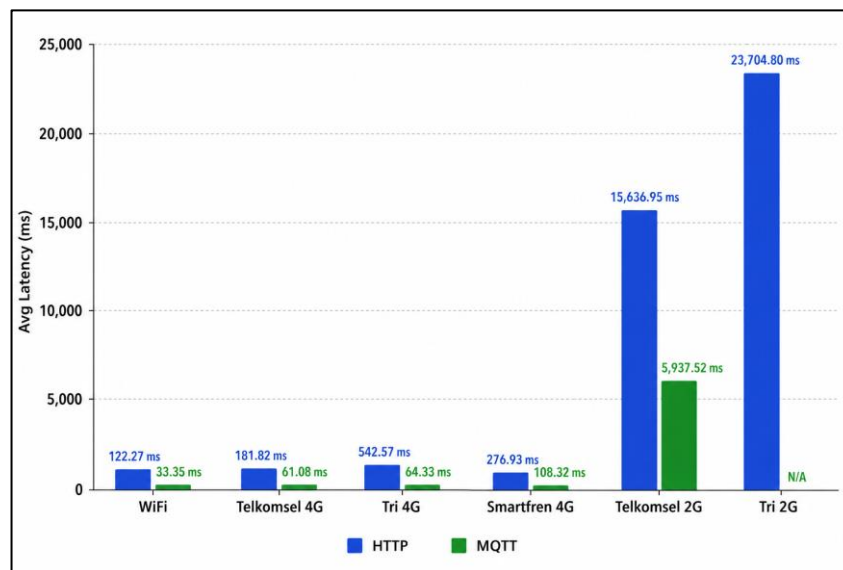
Gambar 4.20 Perbandingan Hasil *Reliability*

Berdasarkan hasil pengujian pada berbagai kondisi jaringan, MQTT secara umum menunjukkan tingkat *reliability* yang lebih tinggi dibandingkan HTTP. Pada jaringan Wi-Fi dan sebagian besar jaringan 4G, MQTT mampu mempertahankan nilai *reliability* mendekati 100%, yaitu sebesar 99,52% pada Wi-Fi, 99,90% pada Telkomsel 4G, 99,99% pada Tri 4G, dan 99,11% pada Smartfren. HTTP menghasilkan nilai *reliability* yang lebih rendah walau masih berada di atas 95% pada keempat jaringan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa performa *reliability* tidak hanya dipengaruhi oleh protokol komunikasi, tetapi juga oleh karakteristik jaringan yang digunakan selama pengujian.

Perbedaan yang paling signifikan terlihat pada jaringan 2G. Pada Telkomsel 2G, *reliability* HTTP turun menjadi 0,14%, sedangkan MQTT masih mampu mencapai 10,82%. Pada Tri 2G *reliability* HTTP hanya mencapai 0,30% dan MQTT tidak berhasil mengirimkan pesan sama sekali sehingga memperoleh *reliability* sebesar 0%. Penurunan yang sangat besar tersebut menunjukkan bahwa keterbatasan kapasitas jaringan 2G memberikan dampak yang signifikan terhadap keberhasilan pengiriman data. Dibandingkan dengan hasil pengukuran kualitas sinyal terlihat bahwa rendahnya *reliability* pada jaringan 2G tidak disebabkan oleh lemahnya sinyal. Telkomsel 2G memiliki nilai RSSI rata-rata sebesar -61 dBm dan Tri 2G sebesar -60,2 dBm yang termasuk kategori sangat baik. Kedua jaringan tetap menunjukkan *reliability* yang sangat rendah. Teknologi jaringan dan kapasitas transmisi data memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap *reliability* dibandingkan kekuatan sinyal yang diterima perangkat.

4.3.2 Analisis *Latency*

Latency merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur waktu tunda komunikasi data dari *Client* menuju *server* hingga *Client* menerima *respons* atau konfirmasi pengiriman data. Nilai *Latency* yang lebih kecil menunjukkan komunikasi data yang lebih cepat dan *responsif*. Gambar 4.21 menunjukkan perbandingan rata-rata *Latency* HTTP dan MQTT pada seluruh skenario pengujian.

Gambar 4.21 Perbandingan Hasil *Latency*

Berdasarkan hasil pengujian pada berbagai kondisi jaringan, MQTT secara konsisten menghasilkan nilai *Latency* yang lebih rendah dibandingkan HTTP. Pada jaringan Wi-Fi, MQTT memperoleh *Latency* rata-rata sebesar 33,35 *ms*, sedangkan HTTP mencapai 122,7 *ms*. Hasil serupa juga terlihat pada jaringan Telkomsel 4G, Tri 4G, dan Smartfren 4G, di mana MQTT selalu menghasilkan waktu tunda yang lebih rendah dibandingkan HTTP. Pada jaringan 4G, *Latency* MQTT berada pada rentang 61,08 *ms* hingga 108,32 *ms*, sedangkan HTTP berada pada rentang 181,82 *ms* hingga 542,57 *ms*. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa MQTT lebih efisien dalam proses komunikasi data karena menggunakan koneksi persisten dan mekanisme *Publish-Subscribe* sehingga tidak memerlukan proses pembentukan koneksi berulang seperti pada HTTP.

Perbedaan *Latency* yang sangat signifikan terlihat pada jaringan 2G. Pada Telkomsel 2G, HTTP menghasilkan *Latency* sebesar 15.636,95 *ms*, sedangkan MQTT sebesar 5.937,52 *ms*. Sementara itu, pada Tri 2G, HTTP menghasilkan

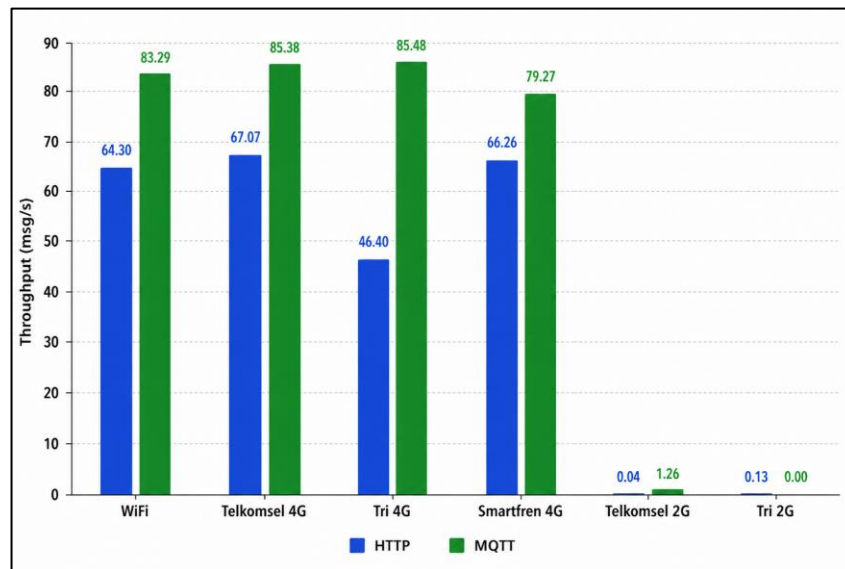
Latency sebesar 23.704,80 ms dan MQTT tidak menghasilkan nilai *Latency* karena tidak terdapat pesan yang berhasil dikirim selama pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keterbatasan kapasitas jaringan 2G menyebabkan waktu tunda komunikasi meningkat secara drastis hingga mencapai puluhan detik. Jika dibandingkan dengan kualitas sinyal yang diperoleh selama pengujian, terlihat bahwa tingginya *Latency* pada jaringan 2G tidak disebabkan oleh lemahnya kekuatan sinyal. Telkomsel 2G dan Tri 2G memiliki kualitas sinyal yang termasuk kategori sangat baik, namun tetap menghasilkan *Latency* yang sangat tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa teknologi jaringan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap *Latency* dibandingkan kekuatan sinyal yang diterima perangkat.

Secara keseluruhan MQTT menunjukkan performa *Latency* yang lebih baik dibandingkan HTTP pada seluruh jaringan yang berhasil melakukan komunikasi data. Hasil ini menunjukkan bahwa MQTT lebih mampu menjaga efisiensi komunikasi data IoT, terutama pada kondisi jaringan yang memiliki keterbatasan *bandwidth* dan kapasitas transmisi. Hasil analisis *Latency* menunjukkan bahwa MQTT mampu menghasilkan waktu tunda komunikasi yang lebih rendah dibandingkan HTTP pada sebagian besar kondisi jaringan. Dengan demikian, MQTT lebih sesuai digunakan pada sistem IoT yang membutuhkan pengiriman data secara cepat dan *responsif*.

4.3.3 Analisis *Throughput*

Throughput digunakan untuk mengukur kemampuan protokol dalam mentransmisikan data dalam satuan waktu tertentu. Semakin tinggi nilai *throughput*, maka semakin besar kemampuan protokol dalam mengirimkan data

secara kontinu. Gambar 4.22 menunjukkan perbandingan *throughput* HTTP dan MQTT pada seluruh skenario pengujian.



Gambar 4.22 Perbandingan Hasil *Throughput*

Berdasarkan hasil pengujian pada berbagai kondisi jaringan, MQTT secara umum menghasilkan nilai *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan HTTP. Pada jaringan Wi-Fi, MQTT memperoleh *throughput* sebesar 83,29msg/s, sedangkan HTTP memperoleh *throughput* sebesar 64,30 msg/s. Hasil yang serupa juga diperoleh pada jaringan Telkomsel 4G dan Tri 4G, di mana MQTT mampu mempertahankan *throughput* di atas 85 msg/s, sedangkan *throughput* HTTP berada di bawah 70 msg/s. Pada jaringan Smartfren 4G, perbedaan *throughput* antara HTTP dan MQTT tidak terlalu besar. HTTP memperoleh *throughput* sebesar 65,26 msg/s, sedangkan MQTT memperoleh *throughput* sebesar 79,27 msg/s. Meskipun selisihnya relatif kecil, MQTT tetap menunjukkan kemampuan transmisi data yang lebih baik dibandingkan HTTP.

Perbedaan *throughput* yang sangat signifikan terlihat pada jaringan 2G. Pada Telkomsel 2G, *throughput* HTTP hanya mencapai 0,04 *msg/s*, sedangkan MQTT mencapai 1,26 *msg/s*. Sementara itu, pada Tri 2G, HTTP memperoleh *throughput* sebesar 0,13 *msg/s* dan MQTT memperoleh *throughput* sebesar 0 *msg/s* karena tidak terdapat pesan yang berhasil dikirim selama pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan jaringan 2G dalam menangani komunikasi data IoT *multi-device* sangat terbatas dibandingkan jaringan Wi-Fi maupun 4G. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran kualitas sinyal, terlihat bahwa rendahnya *throughput* pada jaringan 2G tidak berkaitan secara langsung dengan kekuatan sinyal. Telkomsel 2G dan Tri 2G memiliki kualitas sinyal yang termasuk kategori sangat baik, namun *throughput* yang dihasilkan tetap sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas jaringan dan teknologi komunikasi yang digunakan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap *throughput* dibandingkan kekuatan sinyal yang diterima perangkat.

Secara keseluruhan, MQTT menghasilkan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan HTTP pada sebagian besar kondisi jaringan yang diuji. Keunggulan tersebut menunjukkan bahwa mekanisme *Publish-Subscribe* dan penggunaan koneksi persisten pada MQTT mampu meningkatkan efisiensi pengiriman data dibandingkan model *request-response* yang digunakan oleh HTTP. Hasil analisis *throughput* menunjukkan bahwa MQTT memiliki kemampuan transmisi data yang lebih baik dibandingkan HTTP pada sebagian besar kondisi jaringan. Oleh karena itu, MQTT lebih sesuai digunakan pada sistem IoT yang membutuhkan pengiriman data dalam jumlah besar secara efisien dan berkelanjutan.

4.3.4 Analisis Pengaruh Kondisi Jaringan

Tabel 4.12 Analisis Pengaruh Kondisi Jaringan

NO	Jaringan	<i>Reliability</i> MQTT (%)	<i>Latency</i> MQTT (ms)	<i>Throughput</i> MQTT (msg/s)
1	WiFi	99,52	40,77	83,29
2	Telkomsel 4G	99,90	61,08	85,38
3	Tri 4G	99,99	64,33	85,48
4	Smartfren 4G	96,81	108,32	79,27
5	Telkomsel 2G	10,82	5.393,88	1,26
6	Tri 2G	0,00	-	0,00

Kondisi jaringan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa komunikasi data pada sistem IoT *multi-device*. Pengaruh tersebut terlihat pada perubahan nilai *reliability*, *Latency*, dan *throughput* ketika sistem diuji menggunakan jaringan Wi-Fi, 4G dari beberapa operator, dan 2G. Pada jaringan Wi-Fi performa komunikasi berada pada kondisi yang sangat baik. MQTT memperoleh *reliability* sebesar 99,52% dengan *Latency* rata-rata 33,35 ms dan *throughput* 83,29 msg/s. Pada jaringan 4G performa komunikasi secara umum masih berada pada kategori baik meskipun terdapat perbedaan antar operator. Telkomsel 4G memperoleh *reliability* 99,90%, *Latency* 61,08 ms, dan *throughput* 85,38 msg/s. Tri 4G memperoleh *reliability* 99,99%, *Latency* 64,33 ms, dan *throughput* 85,48 msg/s. Kedua jaringan tersebut menunjukkan performa yang mendekati Wi-Fi dengan tingkat keberhasilan pengiriman data yang sangat tinggi.

Performa ini menunjukkan bahwa meskipun menggunakan teknologi jaringan yang sama, kualitas layanan yang diberikan oleh masing-masing operator dapat memengaruhi keberhasilan komunikasi data. Kondisi jaringan yang lebih padat atau kualitas koneksi yang kurang stabil dapat menyebabkan peningkatan keterlambatan pengiriman data dan penurunan jumlah pesan yang berhasil dikirim.

Penurunan performa yang paling signifikan terjadi pada jaringan 2G. Pada jaringan Telkomsel 2G, MQTT hanya memperoleh *reliability* sebesar 10,82%, *Latency* rata-rata mencapai 5.937,52 *ms*, dan *throughput* sebesar 1,26 *msg/s*. Pada jaringan Tri 2G tidak terdapat data yang berhasil diterima oleh *server* sehingga *reliability* dan *throughput* bernilai 0%.

Hasil ini menunjukkan bahwa jaringan 2G tidak mampu menangani beban komunikasi yang dihasilkan oleh sistem IoT *multi-device* pada skenario pengujian yang dilakukan. Jika dibandingkan dengan jaringan Wi-Fi dan 4G peningkatan *latency* pada jaringan 2G sangat signifikan. *Latency* MQTT yang berada pada rentang 40–70 *ms* pada Wi-Fi dan 4G meningkat menjadi lebih dari 5.000 *ms* pada Telkomsel 2G. Kenaikan *latency* tersebut menyebabkan proses pengiriman data menjadi sangat lambat dan meningkatkan kemungkinan terjadinya timeout maupun kegagalan pengiriman paket data. *Throughput* pada jaringan 2G mengalami penurunan yang sangat drastis. *Throughput* MQTT yang mencapai lebih dari 80 *msg/s* pada Wi-Fi dan 4G turun menjadi hanya sekitar 1 *msg/s* pada Telkomsel 2G. Penurunan ini menunjukkan bahwa keterbatasan *bandwidth* dan kapasitas jaringan 2G menjadi faktor utama yang menghambat proses komunikasi data secara kontinu dari banyak perangkat IoT.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa kualitas sinyal tidak selalu berbanding lurus dengan performa komunikasi. Pada pengujian Telkomsel 2G dan Tri 2G, nilai kualitas sinyal berada pada kategori baik hingga sangat baik. Namun, meskipun sinyal yang diterima perangkat cukup kuat, performa komunikasi tetap jauh lebih rendah dibandingkan jaringan 4G. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi

jaringan yang digunakan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap performa komunikasi dibandingkan hanya kekuatan sinyal yang diterima perangkat. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi jaringan merupakan faktor utama yang menentukan performa komunikasi pada sistem IoT *multi-device*. Jaringan Wi-Fi dan 4G mampu mendukung komunikasi data dengan *reliability* tinggi, *Latency* rendah, dan *throughput* besar, sedangkan jaringan 2G tidak mampu memberikan performa yang memadai untuk kebutuhan komunikasi data secara *real-time*.

4.4 Pembahasan

Setelah dilakukan Analisa terhadap parameter *reliability*, *latency*, *throughput*, serta pengaruh kondisi jaringan pada komunikasi data. MQTT secara konsisten menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan HTTP pada hampir seluruh kondisi jaringan. Pada parameter *reliability* MQTT mampu mempertahankan tingkat keberhasilan pengiriman pesan yang lebih tinggi, terutama pada jaringan dengan keterbatasan *bandwidth* dan kapasitas seperti jaringan 2G. Pada parameter *Latency* MQTT menghasilkan waktu pengiriman yang lebih rendah karena menggunakan mekanisme komunikasi berbasis *Publish-Subscribe* dengan overhead paket yang lebih kecil dibandingkan HTTP yang menggunakan mekanisme *request-response*. Pada parameter *throughput* MQTT juga cenderung lebih tinggi karena ukuran header yang lebih ringan sehingga penggunaan *bandwidth* menjadi lebih efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa komunikasi tidak hanya dipengaruhi oleh protokol yang digunakan, tetapi juga oleh karakteristik jaringan yang menjadi media transmisi data.

4.4.1 Pengaruh Kualitas Sinyal dan Teknologi Jaringan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kualitas sinyal yang baik tidak selalu menghasilkan performa komunikasi yang tinggi pada sistem IoT. Temuan ini terlihat pada pengujian menggunakan jaringan Telkomsel 2G dan Tri 2G. Kedua jaringan tersebut memiliki nilai RSSI rata-rata yang tergolong sangat baik, yaitu -61 dBm pada Telkomsel 2G dan -60,2 dBm pada Tri 2G. Namun, pada pengujian dengan 100 perangkat dan total 10.000 pesan, kedua jaringan menghasilkan nilai *reliability* yang rendah, *throughput* yang kecil, serta *Latency* yang jauh lebih tinggi dibandingkan jaringan 4G dan Wi-Fi.

Kapasitas jaringan dan teknologi akses radio memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kecepatan transfer data dibandingkan kekuatan sinyal semata. Perbedaan performa tersebut disebabkan oleh karakteristik masing-masing teknologi jaringan. Jaringan 2G kurang mampu menangani lalu lintas data yang tinggi dan komunikasi simultan dari banyak perangkat IoT. Pada skenario penelitian menggunakan 100 perangkat ini mengirimkan data secara bersamaan sehingga terjadi antrean transmisi yang menyebabkan peningkatan waktu tunggu, penurunan jumlah paket yang berhasil diterima, dan berkurangnya *throughput*. Jaringan 4G memiliki *bandwidth* yang lebih besar, mekanisme pengelolaan trafik yang lebih baik, serta kapasitas kanal yang lebih tinggi sehingga mampu mempertahankan *reliability* tinggi dan *Latency* yang lebih rendah meskipun digunakan oleh banyak perangkat secara bersamaan. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa teknologi jaringan merupakan faktor yang lebih dominan dibandingkan kualitas sinyal dalam menentukan performa komunikasi pada IoT.

4.4.2 Implikasi Penggunaan HTTP dan MQTT pada Sistem IoT

Dari hasil penelitian dan analisis MQTT lebih sesuai diterapkan pada sistem IoT yang membutuhkan komunikasi *real-time* atau *near real-time*, seperti sistem monitoring lingkungan, *smart home*, *smart agriculture*, dan pemantauan perangkat industri. Pada aplikasi-aplikasi tersebut data sensor dikirim secara periodik dalam interval waktu yang relatif singkat sehingga diperlukan protokol yang mampu menjaga *Latency* tetap rendah dan *reliability* tetap tinggi. MQTT mampu memenuhi kebutuhan tersebut dengan lebih baik dibandingkan HTTP. Meskipun demikian, HTTP masih memiliki peran penting pada implementasi IoT tertentu. HTTP lebih cocok digunakan pada aplikasi yang tidak memerlukan pengiriman data secara terus-menerus, misalnya konfigurasi perangkat, pengambilan data secara berkala dengan interval yang panjang, atau integrasi dengan layanan web dan REST API. Kemudahan implementasi serta dukungan yang luas pada berbagai platform menjadikan HTTP tetap relevan untuk sistem IoT berskala kecil atau aplikasi yang lebih berorientasi pada layanan web dibandingkan komunikasi perangkat-ke-perangkat.

4.5 Integrasi Penelitian dengan Islam

Penelitian mengenai Analisis performa protokol komunikasi HTTP dan MQTT pada sistem *Internet of Things* (IoT) memiliki keterkaitan dengan nilai-nilai Islam, khususnya dalam menjaga keakuratan, keandalan, dan amanah dalam penyampaian informasi. Dalam sistem komunikasi data, informasi yang dikirimkan

harus dapat diterima dengan benar, tepat waktu, dan minim kesalahan agar tidak menimbulkan kerugian maupun kesalahan pengambilan keputusan.

Konsep tersebut sejalan dengan ajaran Islam mengenai pentingnya melakukan verifikasi informasi sebelum menerima atau menyebarkan suatu berita. Dalam Al-Qur'an Surah Al-Hujurat ayat 6 dijelaskan bahwa umat Islam diperintahkan untuk memeriksa kebenaran informasi agar tidak terjadi kesalahan akibat informasi yang tidak valid.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِنْ جَاءَكُمْ فَاسِقٌ بِنَبَأٍ فَتَبَيَّنُوا أَنْ تُصِيبُوا قَوْمًا بِجَهَالَةٍ فَتُصْحَبُوا عَلَىٰ مَا فَعَلْتُمْ

لَدِمِينَ ﴿٦﴾

“Wahai orang-orang yang beriman! Jika seseorang fasik datang kepadamu membawa suatu berita, maka telitilah kebenarannya agar kamu tidak mencelakakan suatu kaum karena kebodohan yang akhirnya kamu menyesali perbuatanmu itu.” (QS. Al-Hujurat: 6).

Menurut Tafsir Al-Muyassar, QS. Al-Hujurat ayat 6 mengajarkan pentingnya melakukan tabayyun atau verifikasi terhadap informasi yang diterima sebelum informasi tersebut digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Informasi yang belum dipastikan kebenarannya berpotensi menimbulkan kesalahan, kerugian, maupun penyesalan di kemudian hari. Oleh karena itu, setiap informasi perlu diperiksa dan divalidasi agar dapat dipercaya dan digunakan secara tepat. Prinsip tabayyun tersebut relevan dengan penelitian ini yang berfokus pada pengiriman data dalam sistem *Internet of Things* (IoT). Data yang dikirimkan oleh perangkat IoT harus dapat diterima secara benar, lengkap, dan tepat waktu agar dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Penggunaan teknologi komunikasi yang efisien dan andal juga dapat memberikan manfaat yang lebih besar dalam penerapan sistem IoT pada berbagai bidang, seperti monitoring lingkungan, pertanian cerdas, kesehatan, maupun sistem otomatisasi lainnya. Pemanfaatan teknologi secara tepat dapat menjadi bagian dari upaya manusia dalam menciptakan kemaslahatan dan meningkatkan kualitas kehidupan. Berdasarkan hasil penelitian dan nilai-nilai Islam yang berkaitan dengan keakuratan serta efisiensi informasi, dapat disimpulkan bahwa pemilihan protokol komunikasi yang tepat pada sistem IoT tidak hanya penting dari sisi teknis, tetapi juga sejalan dengan prinsip amanah, ketelitian, dan tanggung jawab dalam penyampaian informasi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan juga analisis MQTT memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan HTTP pada sistem IoT *multi-device* berdasarkan parameter *reliability*, *latency*, dan *throughput*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi jaringan berpengaruh signifikan terhadap performa komunikasi data, pada jaringan Wi-Fi dan 4G memberikan performa yang lebih baik dibandingkan 2G. Teknologi jaringan terbukti memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap performa komunikasi dibandingkan kekuatan sinyal yang diterima perangkat. MQTT lebih direkomendasikan sebagai protokol komunikasi untuk implementasi sistem IoT *multi-device* pada berbagai kondisi jaringan nirkabel.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Diperlukannya penelitian lebih lanjut menggunakan perangkat IoT fisik seperti ESP32, NodeMCU, atau Raspberry Pi agar hasil pengujian lebih mendekati implementasi sistem *Internet of Things* (IoT) secara langsung.
2. Diperlukannya penelitian lebih lanjut menggunakan variasi protokol komunikasi IoT lain, seperti CoAP atau AMQP, sehingga dapat diperoleh perbandingan yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Husaini, M., Zulianto, A., & Sasongko, D. A. (2021). *Otomatisasi Monitoring Metode Budidaya Sistem Hidroponik dengan Internet of Things (IoT) Berbasis Android MQTT dan Tenaga Surya*. <http://sostech.greenvest.co.id>
- Alfalouji, Q., Schranz, T., Kümpel, A., Schraven, M., Storek, T., Gross, S., Monti, A., Müller, D., & Schweiger, G. (2022). IoT Middleware Platforms for Smart Energy Systems: An Empirical Expert Survey. *Buildings*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/buildings12050526>
- Arifwidodo, B. (2015). *Optimasi dan Performansi Proses Rehoming Terhadap Teknologi Jaringan GSM*.
- Aziz Fikhri, A., Ula, M., & Sayuti, M. (2025). *Perbandingan Kinerja Protokol MQTT dan HTTP Dalam Komunikasi Data Internet of Things Artikel Penelitian* (Vol. 10, Number 1).
- Bagas Bhaskoro, S., Supriyanto, H., Aji, B. B., Pamungkas, B., & Bandung, P. M. (2022). PERBANDINGAN PERFORMANSI LATENCY PROTOKOL KOMUNIKASI HTTP DAN MQTT PADA INTERNET OF THINGS. *Jurnal Teknologi Terapan* |, 8(2). <https://github.com/moscajs/mosca>
- Bagus Pratama, O., Bhawiyuga, A., & Amron, K. (2018). *Pengembangan Perangkat Lunak IoT Cloud Platform Berbasis Protokol Komunikasi HTTP* (Vol. 2, Number 9). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Dizdarević, J., Jukan, A., Carpio, F., & Masip-Bruin, X. (2018). A Survey of Communication Protocols for *Internet of Things* and Related Challenges of Fog and Cloud Computing Integration. In *ACM Computing Surveys* (Vol. 1, Number 1). <https://doi.org/0000001.0000001>
- Fajri Fitrianto, M., & Santoso, I. (2014). ANALISIS KINERJA TCP BIC UNTUK PENCEGAHAN KONGESTI PADA JARINGAN LTE DENGAN MENGGUNAKAN NETWORK SIMULATOR 2.33. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/transient.v3i3.415-421>
- Gasch, C., & Brown, D. (2017). *Data from: A field-scale sensor network data set for monitoring and modeling the spatial and temporal variation of soil moisture in a dryland agricultural field*. <https://doi.org/10.15482/USDA.ADC/1349683>
- Gupta, R., Shing, T., & Zhu, J. (2007). *Closed loop RF management algorithm for enterprise High Density WLANS*. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2007.929>
- Jara Ochoa, H. J., Peña, R., Ledo Mezquita, Y., Gonzalez, E., & Camacho-Leon, S. (2023). Comparative Analysis of Power Consumption between MQTT and HTTP Protocols in an IoT Platform Designed and Implemented for Remote

Real-Time Monitoring of Long-Term Cold Chain Transport Operations. *Sensors*, 23(10). <https://doi.org/10.3390/s23104896>

Kusuma, F. C., Karna, N. B. A., & Irawan, A. I. (2024). Analisis Perbandingan Quality of Services (QoS) Protokol HTTP dan MQTT pada Sistem Monitoring Berat Ayam Broiler Berbasis IoT. *Jurnal Nasional SAINS Dan TEKNIK*, 2(1), 16–22. <https://doi.org/10.25124/jnst.v2i1.7987>

Levani, Y., Hakam, M. T., & Utama, M. R. (2020). *Potensi Adiksi Penggunaan Internet pada Remaja Indonesia di Periode Awal Pandemi Covid 19*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:219488519>

Mirza, R., & Khairuni, K. (2025). Analisis Komparatif Konsumsi Daya Baterai pada Perangkat IoT Menggunakan Protokol Komunikasi MQTT dan HTTP. *Jurnal Sains Dan Teknologi 4.0*, 2(2), 1–4.

Naik, N. (2017). Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/SysEng.2017.8088251>

Nugraha, I. R., Putra, W. H. N., & Setiawan, E. (2024). A Comparative Study of HTTP and MQTT for IoT Applications in Hydroponics. *Jurnal RESTI*, 8(1), 119–126. <https://doi.org/10.29207/resti.v8i1.5561>

Permatasari, C. F., & Dhika, H. (2018). *JISA (Jurnal Informatika dan Sains) Optimasi Jalur Transfer Data dari HTTP menjadi MQTT pada IoT menggunakan Cloud Services*. 01(02).

Prayudha, J., Pranata, A., & Prastyo, H. (2020). Implementasi Teknik Komunikasi Serial Half Duplex Pada Kendali Jarak Jauh Lampu Ruang Rumah Berbasis Internet of Things (IOT). *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Sistem Komputer TGD*, 3(1), 32–40.

Rochman, H. A., Primananda, R., & Nurwasito, H. (2017). *Sistem Kendali Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Protokol MQTT pada Smarthome* (Vol. 1, Number 6). <http://j-ptiik.ub.ac.id>

Ruchi Patel. (2023). Optimizing Communication Protocols in Industrial IoT Edge Networks: A Review of State-of-the-Art Techniques. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 503–514. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-11979b>

Sidna, J., Amine, B., Abdallah, N., & El Alami, H. (2020). Analysis and evaluation of communication protocols for iot applications. *ACM International Conference Proceeding Series*, 257–262. <https://doi.org/10.1145/3419604.3419754>

Syuhada, S. (2023). IMPLEMENTASI *INTERNET OF THINGS* PADA SISTEM KENDALI LAMPU RUMAH MENGGUNAKAN TELEGRAM BOT & NODE MCU ESP8266. *Jurnal J-Innovation*, 12(2).

Yadnya, M. S., Wedarama, I. G. P. W., & Sudiarta, I. W. (2022). Pengukuran Kekuatan Sinyal Receive Strangth *Signal Indicator* (RSSI) 4.5G VoLTE Provaider Telkomsel di Universitas Mataram. *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 8(2), 115–123. <https://doi.org/10.29303/jstl.v8i2.375>