

PERANCANGAN BROKER MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) DENGAN PENDEKATAN *CLOUD* PADA
MICROSOFT *CLOUD* AZURE



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Pendidikan Diploma Empat (D-4) Program Studi Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Ujung Pandang

AHMAD MUDZAKKIR
422 20 016

PROGRAM STUDI D-4 TEKNOLOGI REKAYASA JARINGAN TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG MAKASSAR
MAKASSAR
2024

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul *Perancangan Broker MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) Dengan Pendekatan Cloud Pada Microsoft Cloud Azure* oleh Ahmad Mudzakkir NIM 42220016 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 12 Agustus 2024

Menyetujui,

Pembimbing I



Sahbuddin Abdul Kadir., S.T., M.T.
NIP. 19751130 20006041 0 001

Pembimbing II



Dr. Umar Katu., S.T., M.T.
NIP. 19730820 200801 2 003

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
S1-Terapan (D4) Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi
Politeknik Negeri Ujung Pandang



Zaini, S.ST., M.T.
NIP. 19741010 200003 2 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, ~~Jumat~~ tanggal ~~30~~ 30 ~~Agustus~~ Agustus ~~2024~~ Tim Penguji Seminar Hasil Skripsi telah menerima dengan baik hasil seminar Hasil skripsi oleh mahasiswa : Ahmad Mudzakkir NIM 422 20 016 dengan judul **Perancangan Broker MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) Dengan Pendekatan Cloud Pada Microsoft Cloud Azure.**

Makassar, .. 20..

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi

- | | | |
|------------------------------------|---------------|---|
| 1) Yuniarti, S.ST., M.T. | Ketua | () |
| 2) Ir. Ichsan Mahjud, M.T. | Sekretaris | () |
| 3) Mardhiyah Nas, S.T., M.T. | Anggota | () |
| 4) Dr. Ibrahim Abduh, S.T., M.T. | Anggota | () |
| 5) Sahbuddin Abd Kadir, S.T., M.T. | Pembimbing I | () |
| 6) Dr. Umar Katu, S.T., M.T. | Pembimbing II | () |

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "Perancangan Broker MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) Dalam *Internet of Things* (IoT) Dengan Pendekatan *Cloud* Pada Microsoft *Cloud Azure*." Skripsi ini disusun sebagai syarat kelulusan di Program Studi Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T., Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- 2) Bapak Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Elektro.
- 3) Bapak Zaini, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi
- 4) Bapak Sahbuddin Abdul Kadir, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
- 5) Bapak Dr. Umar Katu, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
- 6) Seluruh dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Elektro.
- 7) Orang tua, keluarga, dan sahabat yang selalu mendukung.
- 8) Teman-teman seperjuangan di Jurusan Teknik Elektro, khususnya angkatan 2020.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Makassar, Agustus 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENERIMAAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABLE.....	x
SURAT PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.5.1. Manfaat Bagi Mahasiswa.....	4
1.5.2. Manfaat Bagi Perguruan Tinggi/Kampus	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1. Penelitian Terdahulu	Error! Bookmark not defined.
2.2. Landasan Teori.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1. <i>Internet of Things (IoT)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.2. MQTT (<i>Message Queue Telemetry Transport</i>)	Error! Bookmark not defined.
2.3. <i>Quality of Service (QoS)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4. <i>Parameter Quality of Service (QoS)</i>	Error! Bookmark not defined.

2.5.	Microsoft <i>Cloud Azure</i>	Error! Bookmark not defined.
2.5.2.	Azure Event Grid	Error! Bookmark not defined.
2.5.3.	Azure Event Grid Namespace	Error! Bookmark not defined.
2.6.	.NET <i>Nano Framework</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN		Error! Bookmark not defined.
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Alat dan Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3.	Prosedur Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3.1.	Studi Literatur	Error! Bookmark not defined.
3.3.2.	Tahap Perancangan	Error! Bookmark not defined.
3.3.3.	Teknik Pengujian	Error! Bookmark not defined.
3.3.4.	Teknik Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1.	Hasil Perancangan	Error! Bookmark not defined.
4.2.	Hasil Pengujian	Error! Bookmark not defined.
4.3.	Hasil Pembahasan	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP		5
5.1.	Kesimpulan	5
5.2.	Saran	6
DAFTAR PUSTAKA		7

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur Publish/Subscribe.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2 MQTT Berdasarkan TCP/IP	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3 MQTT Start Connection.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4 Format Topik pada MQTT	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.5 Single-Level Wildcard	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.6 Multi-Level WildCard.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.7 QoS 0 – <i>At Most Once</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.8 QoS 1 – <i>At Least Once</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.9 QoS 1 DUP	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.10 QoS 2 – <i>Exactly Once</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.11 Tampilan Portal Microsoft <i>Cloud Azure</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.12 Arsitektur <i>Azure Cloud</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.13 <i>Azure Event Grid</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.15 <i>.NET NanoFramework</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Model <i>Azure Event Grid Namespaces</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.2 Membuat <i>Namespace</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.3 Pembuatan dan Konfigurasi Client Berdasarkan kode <i>Thumbprint</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.4 Pembuatan dan Konfigurasi Topic	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 5 <i>Flashing NanoFramework</i> pada ESP32	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.6 Design Perangkat Keras (ESP32 + DHT22) ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.7 Visual Studio	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 8 <i>Flowchart</i> Sistem Perancangan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.9 Alur Proses Sistem Pengujian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1 Hasil Tampilan Dashboard MQTT Broker	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.2 Hasil Generate Kode Thumbprint**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.3 Hasil Konfigurasi Client**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4 Hasil Pembuatan Client.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 5 Hasil Konfigurasi dan Pembuatan Topic **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.6 Metric untuk Visualiasasi Broker.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 7 Hasil *Flashing* ESP32 Dengan *NanoFramework* ..**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.8 Hasil Perakitan ESP32 dengan Sensor DHT22 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.9 Daftar Library Pendukung.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.10 Daftar Variabel.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4 11 Koneksi MQTT**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.12 Sensor**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13 Sertifikat X509**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14 Hasil Debugging dan Deploy Pada Visual Studio **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.15 Pengujian Pengiriman Data dari *Publisher* ke *Subscriber* (MQTTx)**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16 Hasil Capture Data Filter tcp.port 8883 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.17 Hasil Filter *Packet Loss* pada Port 8883 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.18 Metriks monitoring kinerja MQTT Broker saat pengambilan data**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.19 Grafik Nilai Level Indeks Pada Provide A..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.20 Hasil Capture Data Filter tcp.port 8883 B..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.21 Hasil Filter *Packet Loss* pada Port 8883 B..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.22 Metriks MQTT Broker saat pengambilan data B..**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.23 Grafik Nilai Level Indeks Pada Providee A... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.24 Grafik Hasil dari Perbandingan Nilai Rata-rata QoS Per Provider Berdasarkan Standar TIPHON.....**Error! Bookmark not defined.**



DAFTAR TABLE

Tabel 2.1 Indeks Parameter QoS Standar TIPHON	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2 Kategori <i>Throughput</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.3 Kategori <i>Packet Loss`</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.4 Kategori <i>Delay</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.5 Kategori <i>Jitter</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1 Tampilan Hasil Perhitungan <i>Delay</i> dan Jittter Provide A.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2 Hasil Parameter QoS	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Hasil Proses Perhitungan <i>Delay</i> dan <i>Jitter</i> Pada Provider B	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Hasil Parameter QoS	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5 Nilai Rata-rata QoS Provider Berdasarkan Standar TIPHON	Error! Bookmark not defined.

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap	: Ahmad Mudzakkir
NIM	: 42220016
Program Studi	: D-4 Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi
Tempat / Tgl. Lahir	: Makassar/17 Oktober 2002
Alamat	: Perumahan Graha Tata Persada

Dengan ini menyatakan :

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul :

Perancangan Broker MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) Dengan Pendekatan Cloud Pada Microsoft Cloud Azure

Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, Agustus 2024

Hormat Saya,



Ahmad Mudzakkir

PERANCANGAN BROKER MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) DENGAN PENDEKATAN *CLOUD* PADA MICROSOFT *CLOUD* AZURE

RINGKASAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah meningkatkan kebutuhan akan infrastruktur yang handal dan efisien untuk mendukung komunikasi antar perangkat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) Broker dengan menggunakan pendekatan berbasis cloud pada platform Microsoft Azure. Penelitian ini meliputi perancangan broker yang berperan sebagai perantara antara publisher dan subscriber, serta pengujian parameter Quality of Service (QoS), antara lain *Throughput*, *Packet Loss*, *Delay*, dan *Jitter*.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat ESP32 yang dilengkapi dengan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, yang kemudian ditransmisikan melalui broker MQTT pada Microsoft Azure.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa broker yang dirancang mampu mentransmisikan data dengan *Throughput* yang tinggi dan *Packet Loss* yang rendah, dengan *Delay* dan *Jitter* yang masih dalam kategori sangat baik menurut standar TIPHON. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan infrastruktur IoT yang efisien dan andal, khususnya di lingkungan *cloud*.

Kata Kunci: *Internet of Things*, *Cloud Computing*, *MQTT Broker*, *ESP32*, *DHT22*, *Quality of Service*, *Wireshark*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Internet of Things (IoT) telah menjadi paradigma revolusioner dalam menghubungkan perangkat dan pertukaran data secara global. Pertumbuhan IoT terus melonjak, membuka pintu bagi integrasi perangkat yang lebih luas, pengumpulan data yang lebih baik, dan solusi cerdas di berbagai sektor, dari industri hingga rumah tangga. IoT adalah jaringan perangkat yang saling terhubung untuk memungkinkan komunikasi antar perangkat. Teknologi yang memanfaatkan IoT mencakup sensor, aktuator, sistem operasi, mikrokontroler, teknologi komunikasi, keamanan, platform IoT, dan alat analitik (Genadiarto, Noertjahyana, & Kabzar, 2017).

Di Indonesia, perangkat IoT telah merasuki berbagai sektor dengan penggunaan yang berkembang pesat dan beragam. Sebuah paper ilmiah berjudul "*The Internet of Things: An Overview*" yang ditulis oleh Karen Rose, Scott Eldridge, dan Lyman Chapin dari The Internet Society pada tahun 2015, menjelaskan bahwa teknologi ini memungkinkan jaringan dan komputasi untuk terhubung dengan berbagai objek, sensor, dan barang sehari-hari, sehingga memungkinkan perangkat untuk menghasilkan, bertukar, dan mengonsumsi data. Dalam kurun waktu kurang dari 10 tahun, konsep "*smart objects*" ini telah menjadi hal yang umum di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Koneksi IoT memungkinkan perangkat, termasuk peralatan pabrik yang tidak dioperasikan manusia, untuk berkomunikasi dan meningkatkan produktivitas.

Menurut laporan "*The Future of Jobs Report 2020*" oleh *World Economic Forum*, hingga 9% bisnis di seluruh dunia akan menggunakan teknologi IoT pada tahun 2025. Kementerian Komunikasi dan Informatika memperkirakan jumlah perangkat IoT di Indonesia mencapai 400 juta pada tahun 2022, meningkat menjadi 678 juta pada tahun 2025 dengan adanya layanan 5G. Ketua Umum Asosiasi IoT Indonesia (ASIOTI) Teguh Prasetya memprediksi pasar IoT di Indonesia pada tahun 2025 mencapai 40 miliar dolar AS dengan 678 juta perangkat IoT terhubung.

Teknologi *Cloud* hadir menjadi solusi untuk mengatasi tantangan infrastruktur dan sumber daya dalam mendukung lingkungan eksperimental IoT. Menurut Laudon dan Loudon (2015), “*Cloud Computing* adalah model komputasi di mana aktivitas pemrosesan, penyimpanan, perangkat lunak, dan layanan lainnya disediakan sebagai sumber daya virtual terpadu pada suatu jaringan, biasanya internet”. *Cloud Computing* menawarkan skalabilitas, fleksibilitas, dan akses mudah ke sumber daya komputasi, serta memungkinkan kolaborasi yang lebih baik dan integrasi dengan sumber daya online, yang penting dalam pengajaran dan penelitian IoT.

Selain teknologi *Cloud*, dalam IoT pemilihan protokol komunikasi yang tepat menjadi penting. Dalam lingkungan *IoT*, protokol seperti MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) telah menjadi protokol yang sangat efisien untuk komunikasi perangkat IoT. Kombinasi antara *Cloud* dan protokol komunikasi yang tepat menjadi esensial dalam membangun lingkungan yang memadai untuk IoT.

Dalam mendukung penerapan MQTT dalam IoT, pemilihan *Cloud* yang tepat menjadi sangat penting. Broker pada MQTT, yang memungkinkan klien untuk berlangganan dan mempublikasikan pesan, adalah elemen kunci dalam protokol ini. Broker menerima, memfilter, dan mendistribusikan pesan ke klien yang berlangganan. Saat ini, sangat banyak broker-broker publik tersedia secara gratis, tetapi sering kali kinerja dan keamanan mereka tidak dapat diketahui oleh para pengguna. Oleh karena itu, muncul gagasan untuk membuat broker berbasis *Cloud* yang bersifat privat untuk eksperimen IoT, yang tidak hanya menjadi perantara antara pengirim dan penerima data tetapi juga memungkinkan kontrol dan manajemen broker.

Microsoft Cloud Azure dipilih karena menawarkan skala yang dapat disesuaikan, keamanan yang tinggi, dan integrasi luas dengan solusi IoT lainnya. Dengan layanan ini, pengguna dapat dengan mudah mengontrol dan manajemen MQTT Broker seperti pembuatan *client*, membatasi koneksi, manajemen topic, keamanan, hingga visualisasi kinerja Broker. Broker MQTT berbasis *Cloud* ini diharapkan memudahkan pengembangan, pembelajaran, dan penyebaran IoT. Selain itu, data IoT yang dikumpulkan di *Cloud* dapat dikelola secara efisien.

Berdasarkan pemaparan permasalahan tersebut, inilah mengapa penulis mengambil judul "**Perancangan Broker MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) dengan Pendekatan *Cloud* pada Microsoft *Cloud Azure***" yang nantinya diharapkan teknologi ini bisa menjadi acuan pengembangan integrasi antara IoT dan *Cloud Computing* kedepannya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana desain MQTT Broker ?
- 2) Bagaimana implementasi *MQTT Broker* menggunakan *Microsoft Cloud Azure* ?

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menghindari pembahasan yang melebar, maka ruang lingkup pada penelitian ini akan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya akan berfokus pada perancangan server MQTT Broker.
2. Penelitian ini tidak akan membahas secara detail cara pengumpulan data dari perangkat IoT.
3. Dalam penelitian ini akan menggunakan layanan *Cloud* dari *Microsoft Cloud Azure*.
4. Parameter yang akan diuji akan berfokus pada kinerja MQTT Broker pada *Microsoft Azure*.
5. Performansi broker yang diuji adalah *QoS 0* , *Throughput*, *Delay/Latency*, *Packet Loss*, dan *Jitter*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam pelaksanaan dan penulisan pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perancangan MQTT Broker.
2. Mengetahui implementasi MQTT Broker dalam IoT pada *Microsoft Cloud Azure*.

1.5. Manfaat Penelitian

Dalam pembuatan penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi beberapa belah pihak yang ingin menggunakan penelitian ini sebagai bahan referensi dan acuan untuk skala yang lebih besar.

1.5.1. Manfaat Bagi Mahasiswa

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini untuk mahasiswa :

- 1) Menerapkan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh pendidikan dengan membuat laporan penelitian secara ilmiah dan sistematis.
- 2) Menambah pengetahuan dan wawasan di bidang *Cloud Computing* dan *Internet of Things*.
- 3) Memanfaatkan broker yang nantinya dibuat untuk keperluan pembelajaran.

1.5.2. Manfaat Bagi Perguruan Tinggi/Kampus

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini untuk Perguruan Tinggi/Kampus :

- 1) Sebagai bahan referensi untuk penelitian lebih lanjut mahasiswa di kemudian hari.
- 2) Sebagai bahan referensi untuk pihak kampus/prodi untuk dapat menyediakan suatu server yang bersifat *serverless* (non-fisik) dengan memanfaatkan teknologi *Cloud* sebagai bahan pembelajaran yang dimiliki sendiri dan dapat dikelola sendiri.

BAB V

PENUTUP

2.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perancangan terhadap hasil perancangan MQTT Broker pada Microsoft *Cloud Azure*, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

- 1) Hasil implementasi MQTT Broker pada platform Microsoft Azure dengan menggunakan Azure Event Grid menunjukkan bahwa platform ini dapat diandalkan untuk menjalankan protokol MQTT. Broker ini efektif dalam mengelola komunikasi antara perangkat ESP32 + DHT22 sebagai *Publisher* dan aplikasi MQTTx sebagai *Subscriber*, mendukung kebutuhan aplikasi IoT yang memerlukan komunikasi yang stabil dan aman.
- 2) Kinerja Parameter QoS
Pengujian QoS menunjukkan hasil yang bervariasi:
 - a) *Throughput* mencapai 275 bps dan 335 bps, yang masuk kategori "Sangat Bagus", menunjukkan kecepatan transfer data yang sangat baik.
 - b) *Packet Loss* sebesar 0,15% dan 0,59%, yang masuk dalam kategori "Sangat Bagus", menunjukkan adanya stabilitas jaringan atau sinyal Wi-Fi yang selalu optimal.
 - c) *Delay* dengan nilai rata 29 ms dan 25 ms yang masuk dalam kategori "Sangat Bagus", menandakan waktu pengiriman data yang relatif cepat.
 - d) *Jitter* sebesar 29 ms dan 25 ms, yang masuk kategori "bagus", menandakan adanya inkonsistensi dalam waktu pengiriman data antar paket, yang dapat mempengaruhi performa keseluruhan sistem.
- 3) Penelitian ini mengidentifikasi bahwa kualitas sinyal Wi-Fi, jarak fisik antara perangkat dan router, serta pengaturan QoS yang digunakan berpengaruh besar terhadap performa sistem. Meskipun *Throughput*, *Packet Loss*, dan *Delay* menunjukkan hasil yang baik, *Jitter* yang cukup menunjukkan perlunya perbaikan dalam memastikan kestabilan koneksi dan optimasi konfigurasi sistem.

2.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, beberapa saran berikut dapat dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut:

- Mengingat pentingnya kualitas sinyal Wi-Fi, disarankan untuk memastikan stabilitas jaringan melalui penggunaan router dengan jangkauan yang lebih luas atau peningkatan kekuatan sinyal. Ini dapat membantu mengurangi *Packet Loss* dan *Jitter*, serta meningkatkan keseluruhan kinerja sistem.
- Untuk aplikasi yang memerlukan keandalan lebih tinggi, penggunaan QoS 1 atau 2 mungkin lebih sesuai meskipun *Throughput* sedikit berkurang. Ini akan membantu memastikan bahwa data yang dikirim mencapai tujuan dengan lebih andal, mengurangi risiko kehilangan data.
- Melakukan pengujian di berbagai kondisi jaringan, seperti lokasi yang lebih jauh dari router atau di lingkungan dengan gangguan sinyal, sangat disarankan. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kinerja sistem dan memungkinkan perbaikan yang lebih tepat sasaran.
- Diperlukan pembaruan perangkat lunak secara berkala dan pengujian performa rutin untuk menjaga kualitas layanan. Dengan langkah-langkah ini, masalah dapat dideteksi lebih awal dan diatasi sebelum berdampak besar pada performa sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- “Apa Itu MQTT? Penjelasan MQTT - AWS.” Amazon Web Services, Inc., aws.amazon.com/id/what-is/mqtt/.
- Ablyazov, Timur., Asaturova, Julia., Koscheyev, Vadim. (2018). Digital Technologies: New Forms and Tools of Business Activity. SHS Web of Conferences 44, 00004, 1-9
- Anggraini, E. (2017). Masa Depan *Internet of Things* Dimulai dari Rumah. Retrieved August 26, 2019, from <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20170105174130-185-184389/masa-depan-internet-of-things-dimulai-dari-rumah>
- Ayu, Mathilda Gian. (2023). BSSN Menyatakan Jumlah Pengguna IoT di Tanah Air Lebih Banyak Dibandingkan Pengguna Smartphone. : *Cloud Computing* Indonesia.
- Dieter, H. Mark., and Florian, M. (2011). Architecting the *Internet of Things*. New Jersey: Springer
- Dina, S. (2017). 400 juta perangkat terhubung di 2022, ini PR Indonesia. Diakses dari https://www.kominfo.go.id/content/detail/11841/400-juta-perangkat-terhubung-di-2022-ini-pr-indonesia/0/sorotan_media
- EdPrice-MSFT (n.d.). Security architecture design - Azure Architecture Center. [online] learn.microsoft.com. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/security/security-start-here>.
- ETSI. (1999). Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of *Quality of Service* (QoS). Etsi Tr 101 329 V2.1.1, 1, 1–37.
- Eurotech, IBM. (2010, Agustus 19). MQTT V3.1 Protocol Specification. Diambil kembali dari IBM: http://public.dhe.ibm.com/software/dw/webservices/ws-mqtt/MQTT_V3.1_Protocol_Specific.pdf
- Genadiarto, A. S., Noertjahyana, A., & Kabzar, V. (2017). Introduction of *Internet of Things* Techology Based On, 14(1), 47–52. <https://doi.org/10.9744/informatika.14.1.47-52>

- Gregersen, C. (2023). A complete guide to IOT protocols standards in 2023. Nabto.
<https://www.nabto.com/guide-iot-protocols-standards/>
- H. Husain, M. Zarlis, Z. Nasution, H. T. Sihotang, and S. Wahyuni, "Filsafat Ilmu Komputer Dan Cloud Computing Secara Etimologis," J. Mantik Penusa, vol. 2, no. 2, 2018.
- Habibie, Ilham Akbar. (2019). IoT di Indonesia dan Peta Jalan Ke Depan. Jakarta: Dewan TIK Nasional.
- Harnanta, K.J. & Bhawiyuga, A. (2020). Implementasi MQTT Broker dengan Kemampuan Auto Scaling pada *Internet of Things*. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, Vol. 4, No. 6.
<https://sandervandeveldde.wordpress.com/2024/04/16/connect-esp32-to-eventgrid-over-mqtt-with-nanoFramework/>
- Ilham, F. (2019). *Analisis performansi QoS MQTT pada sistem monitoring sungai* (Skripsi, Universitas Telkom). Universitas Telkom.
- Indonesia, Telkom. (2022). Melihat Perkembangan *Internet of Things* di Indonesia : MyCarrier Telkom.
- Khanna, D and Sharma, A. (2019). *Internet of Things Challenges and Opportunities*. International Journal for Technological Research In Engineering, 6(12), 6028-6030.
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2022). *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*. Pearson Education.
- Li, Shancang, Li Da Xu, and Shanshan Zhao.(2015). "The Internet of Things: a survey." *Information Systems Frontiers*". 17(2), 243-259.
- Mashal, O., Alsaryrah, T.Y., Chung, C.Z., Yang, W.H., Kuo, and Agrawal, D.P. (2015). *Choices for Interaction with Things on Internet and Underlying Issues*. Ad Hoc Networks. 28(1), 68– 90
- MattFarm (n.d.). Integrasi dasar di Azure - Azure Architecture Center. [online] learn.microsoft.com. Tersedia di : <https://learn.microsoft.com/id-id/azure/architecture/reference-architectures/enterprise-integration/basic-enterprise-integration> [Diakses 10 Dec. 2023].

- Melala, O. A., Munadi, R., & Walidainy, H. (2020). Analisis Kualitas Layanan Video Call Menggunakan Aplikasi Skype Pada Jaringan Long Term Evolution (LTE). *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 5(1), 38–44.
- Mishra, B. "Performance Evaluation of MQTT Broker Servers". *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2018. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10963. Springer, Cham, 2018, pp. 599-609.
- Mishra, B. & Kertesz, A. (2021). Stress-Testing MQTT Brokers: A Comparative Analysis of Performance Measurements. *Energies*, 14, 5817.
- Puspitawati, Lilis., Nurhasanah, A., Khaerunnisa, A S. (2021). Utilization of Communication Technology for Business. *International Journal of Informatics Information System and Computer Engineering*, 2(1), 47-54
- Radya, M. (2023). *Sejarah Internet of Things*. Diakses dari <https://blog.indobot.co.id/sejarah-internet-of-things/>
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). *The Internet of Things: An overview*. The Internet Society.
- Sethi, Pallavi and Sarangi, Smruti R. (2017). *Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications*. *Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2017. 1-25, <https://doi.org/10.1155/2017/9324035>
- Soldatos, et al. (2015). Opinion: Open Source *Internet of Things* in the Cloud in Interoperability and Open-Source Solutions for the *Internet of Things*: *International Lecture Notes in Computer Science*, 13-25
- Tadapaneni, N. R. (2018). *Cloud Computing: Opportunities and Challenges*. *International Journal of Technical Research and Applications*. SSRN Electronic Journal.10.2139/ssrn.3563342
- Trivusi. (2022). “Apa Itu Protokol Mqtt? Simak Penjelasannya berikut!”. Diakses pada 20 Des. 2023 pada <https://www.trivusi.web.id/2022/09/protokol-mqtt.html>.
- Tschafenig, H., Arkko, J., & Thaler, D. (2015). *Architectural considerations in smart object networking* (RFC 7452). Internet Architecture Board (IAB).

- Vandeveld, S. (2024, April 16). Connect ESP32 to EventGrid over MQTT with nanoFramework. Retrieved from <https://sandervandeveld.wordpress.com/2024/04/16/connect-esp32-to-eventgrid-over-mqtt-with-nanoFramework/>
- Wardhana, Aditya. (2023). *Arsitektur dan Standarisasi IoT*. Chapter May 2023 : 202
- Weyrich, M., and Ebert, C. (2016). Reference Architectures for the *Internet of Things*,” IEEE Software, 33(1), 112- 116
- World Economic Forum. (2020). *The Future of Jobs Report 2020*. Diakses dari <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/>
- Wulandari, R. (2016). Analisis QoS (Quality Of Service) Pada Jaringan Internet (Studi Kasus : Upt Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon – LIPI). *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 2(2), 162–172.
- Yulianto, A. (2023). Pasar IOT di indonesia pada 2025 Diprediksi Capai RP 572,7 Triliun. *Republika* Online. <https://ekonomi.republika.co.id/berita/rrkde1396/pasar-iot-di-indonesia-pada-2025-diprediksi-capai-rp-5727-triliun>.