

LAPORAN BKD
BIDANG KEGIATAN PENELITIAN
(HIBAH DIKTI)

PERIODE SEMESTER GANJIL
2025/2026

Penelitian Berjudul:

**“Pengembangan dan Evaluasi Prototipe Komunikasi IoT Dua
Arah ESP32 Berbasis MQTT, WebSocket, Firebase,
dan Integrasi Database”**

LAMPIRAN:

- 1. SK.DEKAN FTI SEMESTER GENAP 2024/2025*
- 2. LAPORAN AKHIR PENELITIAN*

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS TERAPAN DAN TEKNOLOGI

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax 021-7866955, hp: 081291030024
Email: humas@istn.ac.id Website: www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK

Nomor : 094-IV/03.1-F/IX/2025

SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2025/2026

Nama	: Muhammad Ikrar Yamin	Status Pegawai	: Tetap
NIK/ NIDN/ NIDK	: 0328108303	Program Studi	: S1 Teknik Elektro
Jabatan Akademik	: Asisten Ahli		

Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam	Kredit (SKS)	Hari
I. PENDIDIKAN & PENGAJARAN	1. Pengajaran di kelas termasuk laboratorium				
	1. Sistem Optimasi (Kelas B)	Lab Elk	21:00 - 21:50	2	Senin
	2. Sistem Kendali (Kelas A Teknik Mesin)	R-C1	08:00 - 09:40	2	Selasa
	3. Sistem Kendali (Kelas B Teknik Mesin)	R-C1	20:00 - 21:40	2	Selasa
	4. Praktikum Mekatronika & Robotika (Kelas B)	Lab Elk		2	Rabu
	5. Praktikum Dasar Komputer (Kelas A)	Lab	11:00 - 12:00	2	Sabtu
	6. Praktikum Dasar Komputer (Kelas B)	Lab	11:00 - 12:00	2	Sabtu
	7. Praktikum Elektronika (Kelas B)	Lab Elk	13:00 - 14:00	2	Sabtu
	8. Prak. Teknik Telekomunikasi (Kelas A)	Lab Elk	15:00 - 16:00	2	Jumat
	9. Prak. Teknik Telekomunikasi (Kelas B)			2	
	10. Praktikum Tapis Aktif (Kelas A)	Lab Elk	14:00 - 15:00	2	Jumat
	11. Praktikum Tapis Aktif (Kelas B)			2	
	2. Pembimbing				
	1. Seminar				
	2. Kerja Praktek				
	3. Tugas Akhir/Tesis			1	
	4. Pembimbing Akademik			1	
	3. Penqui				
	1. Tugas Akhir/Tesis			1	
	2. Kerja Praktek				
	4. Tugas Tambahan				
	1. Menjabat Sebagai Ka. Prodi				
	2. Menjabat Sebagai Ka. Lab Elektronika dan Telekomunikasi			2	
II. PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah			1	
	2. Penulisan Karya Ilmiah			1	
	3. Penulisan Diktat Kuliah				
	4. Menerjemahkan Buku Kuliah				
	5. Pengembangan Program Kuliah Kurikulum				
	6. Pengembangan Bahan Ajar				
III. PENGABDIAN PADA MASYARAKAT	1. Menduduki jabatan di Pemerintahan				
	2. Pengembangan Hasil Pendidikan dan Penelitian				
	3. Memberikan penyuluhan/pelatihan/penataran/ceramah				
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat			1	
	5. Menulis karya Pengmas yang tidak dipublikasikan				
	6. Pengelolaan Jurnal Ilmiah			1	
IV. PENUNJANG	1. Menjadi anggota/panitia pada badan/lembaga suatu PT				
	2. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintah				
	3. Menjadi anggota organisasi profesi				
	4. Mewakili PT/lembaga pemerintah, duduk dalam panitia antar				
	5. Menjadi anggota delegasi nasional ke pertemuan internasional				
	6. Berperan Serta Aktif dalam pertemuan ilmiah/seminar			1	
	7. Anggota dalam tim layanan pendidikan				
Jumlah Total				32	

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji/honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional. Penugasan ini berlaku dari tanggal 01 September 2025 sampai dengan 28 Februari 2026

Tembusan :

1. Wakil Rektor 1 - ISTN
2. Wakil Rektor 2 - ISTN
3. Ka. Biro Sumber Daya Manusia - ISTN
4. Arsip





PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN DOSEN PEMULA

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi proposal ini dalam bentuk apapun kecuali oleh pengusul dan pengelola administrasi penelitian dan pengabdian kepada masyarakat

LAPORAN AKHIR

1. JUDUL PENELITIAN

Pengembangan dan Evaluasi Prototipe Komunikasi IoT Dua Arah ESP32 Berbasis MQTT, WebSocket, Firebase, dan Integrasi Database

Bidang Fokus	Tema	Topik (jika ada)	Prioritas Riset
Produk rekayasa keteknikan	Pengembangan Infrastruktur TIK	Telekomunikasi berbasis internet protocol (IP) dan Internet of things	Elektrifikasi transportasi

Rumpun Ilmu Level 1	Rumpun Ilmu Level 2	Rumpun Ilmu Level 3
ILMU TEKNIK	TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA	Teknik Telekomunikasi

Skema Penelitian	Strata (Dasar/Terapan/Pengembangan)	Nilai SBK	Target Akhir TKT	Lama Kegiatan
Penelitian Dosen Pemula	Riset Dasar	50.000.000	2	1 Tahun

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
MUHAMMAD IKRAR YAMIN 0328108303 Ketua Pengusul Institut Sains Dan Teknologi Nasional	Dosen	Teknik Elektro	bertanggung jawab penuh atas perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan seluruh kegiatan, termasuk perancangan sistem, koordinasi tim, analisis hasil, penyusunan laporan, dan publikasi ilmiah.	6829788
IR ARIMAN MT 0313026703 Anggota Institut Sains Dan Teknologi Nasional	Dosen	Teknik Elektronika	berperan dalam aspek teknis, terutama pada pengembangan dan integrasi sistem komunikasi berbasis ESP32, implementasi protokol dan database, serta uji performa sistem; juga secara aktif membantu proses implementasi, dokumentasi eksperimen, pencatatan data, serta mendukung kegiatan pengujian dan pembuatan dokumentasi visual.	6632129
AMIRAH WARDAH 22320003 Mahasiswa Institut Sains Dan Teknologi Nasional	Mahasiswa	Fisika	mendukung kegiatan praktikal pengujian alat, pengambilan data prototipe di lapangan, serta dokumentasi hasil eksperimen. Juga terlibat dalam pengambilan dan analisis data hasil uji coba sistem, serta membantu penyusunan	-

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
			bahan visual, video demonstrasi, dan dokumentasi	

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (Jika Ada)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra	Dana
-------	------------	------

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Kategori Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian	Keterangan
1	Artikel di Jurnal	Artikel di Jurnal Bereputasi Nasional Terindeks SINTA 1-4	Accepted/Published	https://journals.telkomuniversity.ac.id/ijait

5. ANGGARAN

Rencana Anggaran Biaya penelitian mengacu pada PMK dan buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang berlaku.

Total RAB 1 Tahun Rp 27.500.000,00

Tahun 1 Total Rp 27.500.000,00

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Honorarium narasumber	Ahli Analisis statistik dan validator uji parameter jaringan / analisis performa protokol (latency, bandwidth, delivery rate, resource usage)	OJ	1	1.000.000	1.000.000
Analisis Data	HR Pengolah Data	Uji komunikasi data 2 arah (lanjutan), komunikasi dan integrasi database, yaitu sebagai upaya validasi keandalan skenario pengujian sistem multi-protokol (berkaitan dengan roadmap tahap 2/3): 2x kedatangan	P (penelitian)	4	750.000	3.000.000
Analisis Data	Transport Lokal	perjalanan bersama dan akomodasi team untuk pengumpulan data, dilakukan 2 kali sebagai pembandingan kondisi teori ke lapangan/ daerah terbuka	OK (kali)	2	500.000	1.000.000
Bahan	ATK	Kertas HVS	Paket	5	50.000	250.000
Bahan	ATK	Pena (box): 2 lusin, materai	Paket	8	100.000	800.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Catridge Printer	Unit	5	400.000	2.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Cetak Proposal (2 peneliti: ketua/wakil ketua, 2 mahasiswa dan 1 arsip)	Unit	10	100.000	1.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Seminar Kit untuk sosialisasi	Unit	30	50.000	1.500.000
Bahan	Bahan	Tinta Printer	Unit	6	60.000	360.000

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
	Penelitian (Habis Pakai)					
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Bereputasi Nasional	Biaya publikasi artikel ilmiah di jurnal nasional terakreditasi SINTA 1/2/3	Paket	1	2.500.000	2.500.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Pendaftaran KI	HAKI dan dokumentasi	Paket	1	490.000	490.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Penulisan laporan akhir, layout laporan, pengembangan infografis hasil, dokumentasi visual prototipe, yaitu untuk mendukung luaran wajib berupa laporan akhir dan diseminasi internal	Paket	1	1.000.000	1.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya konsumsi rapat	Rapat koordinasi 4x kunjungan, Desain & pencetakan modul digital, pembuatan bahan ajar visual, layout PDF interaktif, buku panduan dan penguatan pembelajaran berbasis hasil penelitian, sewa proyektor	OH	4	500.000	2.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Bereputasi Nasional	Seminar Nasional	Paket	1	400.000	400.000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	Honor untuk mahasiswa praktikal (2 orang x 3 bulan x Rp700.000/ bulan), ditujukan untuk mendukung kegiatan dokumentasi pengujian, pencatatan hasil eksperimen, dan pemrosesan awal data dalam bentuk dataset.	OH	3	1.400.000	4.200.000
Sewa Peralatan	Obyek penelitian	Laptop untuk komputasi dan sniffing data jaringan, untuk pengambilan data (akuisisi data, pengukuran daya dan kestabilan koneksi antar ESP) dalam berbagai protokol (Rp2.00.000 x 3 bulan)	Unit	3	2.000.000	6.000.000

*. KEMAJUAN PENELITIAN

A. RINGKASAN

Penelitian ini brawal dari kebutuhan akan panduan empiris dalam memilih protokol komunikasi IoT pada perangkat ESP32-C3, khususnya ketika pengembang harus menyeimbangkan latensi, reliabilitas, dan integrasi cloud antara

MQTT, WebSocket, dan Firebase

dalam satu kerangka arsitektur.

Tujuan utama penelitian adalah merancang prototipe komunikasi dua arah berbasis ESP32-C3, menguji kinerja ketiga protokol pada 24 skenario dengan dan tanpa integrasi database MySQL maupun Firebase Realtime Database, serta menyusun rekomendasi pemilihan protokol yang terukur untuk berbagai kebutuhan aplikasi IoT.

Metode yang ditempuh meliputi: perancangan testbed ESP32-C3 dengan LCD dan tombol fisik sebagai pemicu payload;

implementasi tiga varian firmware klien MQTT, WebSocket, dan Firebase; pembangunan backend Node.js dengan broker MQTT, server WebSocket, MySQL, dan proyek Firebase;

serta pelaksanaan eksperimen atas pengiriman pesan-pesan yang diukur round-trip latency, success rate, dan bandwidth-nya.

Luaran yang ditargetkan mencakup artikel jurnal nasional terakreditasi, laporan penelitian lengkap, prototipe fungsional, dataset eksperimen terstandar, pengajuan HAKI karya cipta, serta beberapa publikasi tambahan yang mengangkat sudut pandang berbeda (performansi, desain arsitektur, dan rancang bangun testbed).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa WebSocket konsisten memberikan latensi rata-rata terendah pada semua konfigurasi,

diikuti MQTT yang hanya berselisih beberapa milidetik, sementara Firebase memiliki latensi sekitar tiga kali lebih tinggi namun dengan reliabilitas

yang setara dan integrasi cloud yang jauh lebih kuat.

Semua protokol mencapai success rate di atas 97,8 persen dengan bandwidth per node yang tetap rendah, sehingga dari sisi keandalan ketiganya layak

digunakan di lingkungan jaringan yang terkontrol, sedangkan pemilihan protokol akhir lebih ditentukan oleh prioritas aplikasi:

latensi minimal, pola publish–subscribe, atau kebutuhan sinkronisasi data dan penyimpanan cloud yang terintegrasi.

Seluruh luaran wajib dan sebagian besar luaran tambahan telah tercapai dan terdokumentasi, sehingga peta jalan riset dapat

dilanjutkan ke fase berikutnya yang berfokus pada skenario multi-node dan integrasi edge computing.

B. KATA KUNCI

ESP32-C3; MQTT; WebSocket; Firebase; komunikasi IoT

false

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Penelitian ini telah menyelesaikan seluruh tahapan yang direncanakan dalam proposal: mulai dari perancangan prototipe, pelaksanaan 24 skenario uji dengan 12.000 pengukuran, analisis kuantitatif latensi–reliabilitas–bandwidth, hingga diseminasi hasil melalui beberapa artikel jurnal dengan fokus kajian yang saling melengkapi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11977	Firestore	With DB	256	5	476	176585000000.00	105.01	1	1.45
11978	Firestore	With DB	256	5	477	176585000000.00	130.52	1	1.45
11979	Firestore	With DB	256	5	478	176585000000.00	116.19	1	1.45
11980	Firestore	With DB	256	5	479	176585000000.00	123.21	1	1.45
11981	Firestore	With DB	256	5	480	176585000000.00	135.84	1	1.45
11982	Firestore	With DB	256	5	481	176585000000.00	141.18	1	1.45
11983	Firestore	With DB	256	5	482	176585000000.00	122.1	1	1.45
11984	Firestore	With DB	256	5	483	176585000000.00	120.72	1	1.45
11985	Firestore	With DB	256	5	484	176585000000.00	229.7	1	1.45
11986	Firestore	With DB	256	5	485	176585000000.00	135.92	1	1.45
11987	Firestore	With DB	256	5	486	176585000000.00	98.68	1	1.45
11988	Firestore	With DB	256	5	487	176585000000.00	135.92	1	1.45
11989	Firestore	With DB	256	5	488	176585000000.00	111.27	1	1.45
11990	Firestore	With DB	256	5	489	176585000000.00	115.6	1	1.45
11991	Firestore	With DB	256	5	490	176585000000.00	108.26	1	1.45
11992	Firestore	With DB	256	5	491	176585000000.00	113.2	1	1.45
11993	Firestore	With DB	256	5	492	176585000000.00	112.33	1	1.45
11994	Firestore	With DB	256	5	493	176585000000.00	137.22	1	1.45
11995	Firestore	With DB	256	5	494	176585000000.00	100.23	1	1.45
11996	Firestore	With DB	256	5	495	176585000000.00	101.9	1	1.45
11997	Firestore	With DB	256	5	496	176585000000.00	129.09	1	1.45
11998	Firestore	With DB	256	5	497	176585000000.00	105.85	1	1.45
11999	Firestore	With DB	256	5	498	176585000000.00	125.05	1	1.45
12000	Firestore	With DB	256	5	499	176585000000.00	109.29	1	1.45
12001	Firestore	With DB	256	5	500	176585000000.00	126.71	1	1.45

Gambar 1. Contoh skenario Uji Atas Pengukuran yang digunakan

Luaran wajib dan tambahan tercapai secara terukur, dengan prototipe, dataset, publikasi, dan draf HAKI yang saling mengikat dalam satu kerangka metodologis komunikasi IoT berbasis ESP32-C3.

Capaian eksperimen dan data utama

Testbed yang dikembangkan menggunakan ESP32-C3 Super Mini bertenaga baterai, layar LCD 16×2, dan empat tombol fisik untuk memicu empat kelas payload 32, 64, 128, dan 256 byte, sehingga setiap skenario uji dapat direproduksi dengan pola interaksi perangkat yang konsisten.



Tiga varian firmware dibangun dengan logika aplikasi yang sama tetapi tumpukan komunikasi berbeda, yaitu klien MQTT, WebSocket, dan Firebase, yang masing-masing dihubungkan ke broker MQTT dan server WebSocket di VPS dengan MySQL, serta Firebase Realtime Database di *cloud* sebagai jalur komunikasi dan penyimpanan terintegrasi.

Desain eksperimen mengikuti struktur faktorial 3 protokol $\times$ 2 mode database langsung dan dengan *logging* $\times$ 2 payload 64 dan 256 byte $\times$ 2 frekuensi 1 dan 5 Hz, menghasilkan 24 skenario pengujian dengan 500 pesan per skenario atau total 12.000 transmisi. Untuk setiap konfigurasi, sistem merekam *timestamp* kirim–terima di sisi ESP32-C3 dan backend, menghitung *round-trip latency*, mencatat status keberhasilan dalam jendela waktu 5 detik, serta mengestimasi bandwidth dan overhead protokol untuk seluruh pesan.

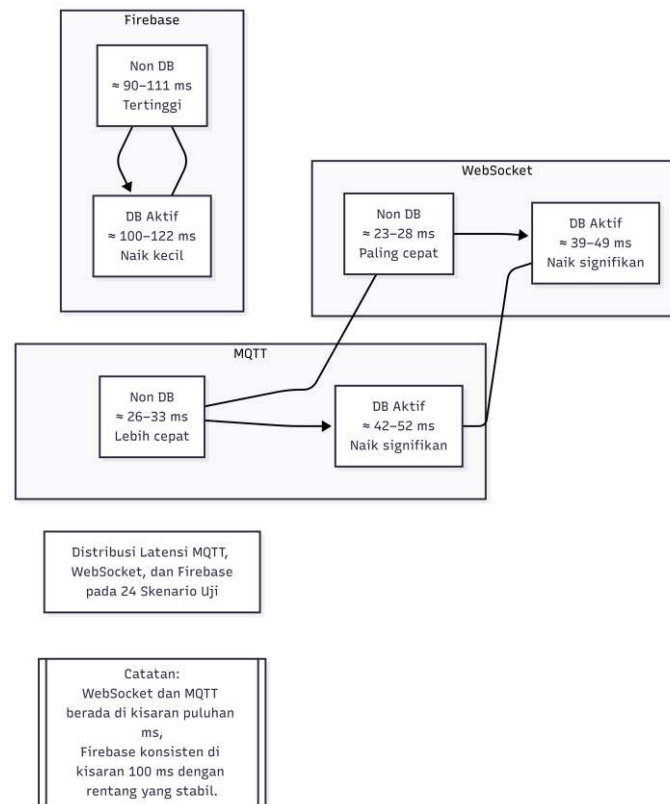
Tabel berikut merangkum hasil agregat utama per protokol dan mode database, yang menjadi fondasi semua analisis dan publikasi.

Tabel 1. Rangkuman metrik utama per protokol

Protokol	Mode database	Rata-rata latensi (ms)	Rata-rata success rate (%)	Karakteristik kinerja utama
MQTT	Non-DB / dengan DB	29,14 $\rightarrow$ 46,84	$\approx$ 98,4	Latensi sedikit di atas WebSocket, overhead naik signifikan saat MySQL diaktifkan.
WebSocket	Non-DB / dengan DB	25,61 $\rightarrow$ 43,85	$\approx$ 99,2	Konsisten menjadi yang tercepat, cocok untuk komunikasi dua arah yang sensitif terhadap delay.
Firebase	Terintegrasi DB	99,39 $\rightarrow$ 110,18	$\approx$ 99,2	Latensi sekitar tiga kali lebih tinggi, tetapi stabil dan menyatu dengan penyimpanan <i>cloud</i> .

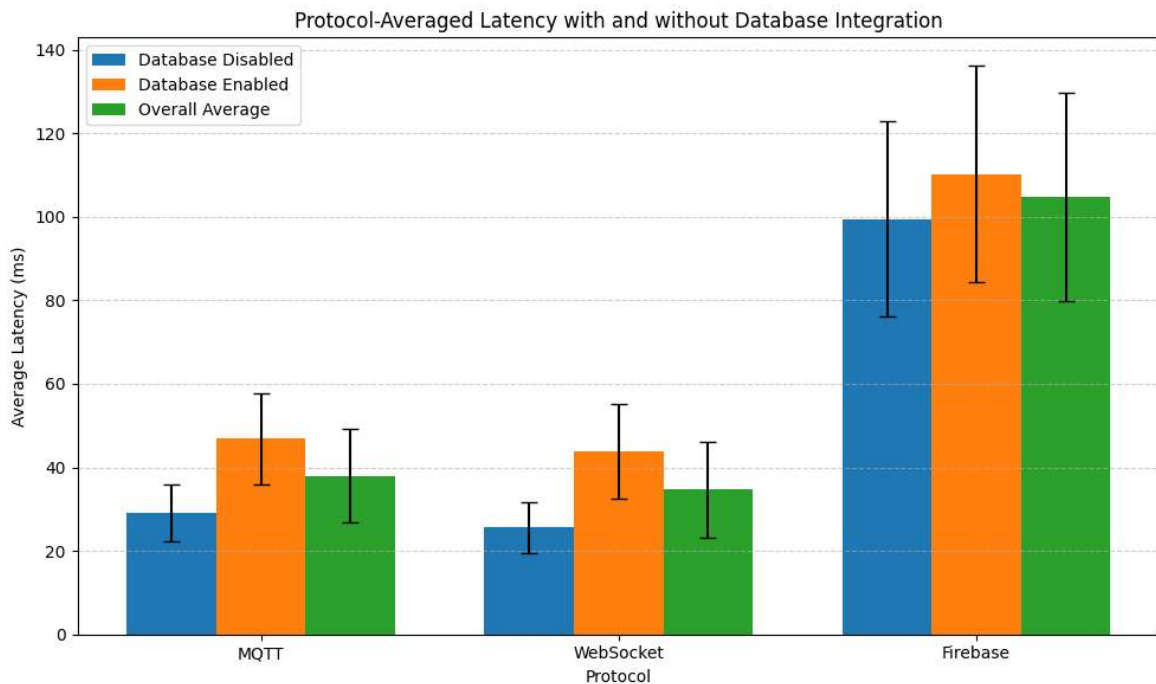
Secara keseluruhan, WebSocket menunjukkan latensi rata-rata terendah pada semua konfigurasi, dengan MQTT tertinggal beberapa milidetik, sementara Firebase selalu memiliki latensi tertinggi tetapi dalam rentang yang relatif stabil. *Success rate* untuk seluruh protokol berada di atas 97,8 persen, dengan WebSocket dan

Firestore sekitar 99–99,3 persen dan MQTT sekitar 98–98,8 persen, sehingga dari sisi keandalan ketiganya dapat dianggap layak untuk lingkungan jaringan terkontrol yang diuji. Bandwidth per node tetap rendah pada semua skenario, dan persentase overhead protokol menurun tajam ketika payload meningkat dari 64 ke 256 byte, terutama untuk MQTT dan WebSocket, yang menunjukkan efisiensi relatif lebih baik pada payload menengah hingga besar.



Gambar 3. Distribusi Latensi MQTT, WebSocket, dan Firebase pada 24 Skenario

Gambar 3. memperlihatkan posisi ketiga protokol dalam tiga zona utama: puluhan milidetik bawah, puluhan milidetik atas, dan sekitar seratus milidetik. Pada mode tanpa database, WebSocket berada di kisaran 23–28 ms dan menjadi yang paling cepat, diikuti MQTT di sekitar 26–33 ms, sedangkan Firebase konsisten berada jauh di atasnya pada rentang 90–111 ms. Ketika *logging* database diaktifkan, latensi MQTT dan WebSocket naik cukup tajam hingga kisaran 40–50 ms, sementara Firebase hanya bergeser sekitar 10 ms ke atas karena sejak awal komunikasi dan penyimpanan sudah terikat di Firebase Realtime Database. Secara praktis, pola ini menunjukkan bahwa aplikasi yang sangat sensitif terhadap delay akan lebih diuntungkan oleh WebSocket atau MQTT, sedangkan Firebase lebih cocok ketika prioritas utama adalah konsistensi respon dan integrasi *cloud*, bukan latensi serendah mungkin.



Gambar 4. Nilai Rata-Rata Latensi Tiga Protokol IOT

Grafik pada Gambar 4. menunjukkan rata-rata latensi tiga protokol IoT (MQTT, WebSocket, Firebase) pada tiga kondisi: tanpa database, dengan database, dan rata-rata keseluruhan.

- MQTT dan WebSocket memiliki latensi relatif rendah, namun terlihat peningkatan latensi yang jelas saat database diaktifkan, menandakan overhead integrasi DB.
- WebSocket sedikit lebih cepat dibanding MQTT pada kondisi tanpa database.
- Firebase memiliki latensi paling tinggi baik dengan maupun tanpa database, karena sifatnya yang terintegrasi penuh dengan layanan cloud/DB.
- Error bar menunjukkan variasi latensi, di mana Firebase memiliki variabilitas paling besar, sedangkan MQTT dan WebSocket lebih stabil.

Secara umum, grafik menegaskan bahwa integrasi database meningkatkan latensi, dan pemilihan protokol perlu disesuaikan dengan kebutuhan real-time vs kemudahan integrasi data.

Analisis hasil dan implikasi teknis

Analisis latensi menunjukkan bahwa aktivasi *logging* database pada MQTT dan WebSocket menambah waktu tempuh rata-rata sekitar 60–70 persen, tetapi tidak mengubah urutan performa: WebSocket tetap yang tercepat, disusul MQTT, sementara Firebase tetap berada jauh di atas dalam hal nilai latensi. Kondisi ini sejalan dengan literatur yang menempatkan WebSocket dan MQTT sebagai kandidat utama untuk aplikasi IoT waktu nyata, sementara Firebase lebih banyak dipilih ketika integrasi *cloud* dan sinkronisasi lintas perangkat menjadi prioritas dominan.

Dari perspektif keandalan, tingkat *success rate* yang hampir setara di kisaran 98–99 persen mengindikasikan bahwa, pada jaringan Wi-Fi yang stabil, ketiga protokol ini mampu mempertahankan pengantaran pesan secara konsisten meski memiliki karakteristik latensi dan pola komunikasi berbeda. Kinerja ini memperkuat temuan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa perbedaan protokol lebih terasa pada aspek delay, overhead, dan kemudahan integrasi, sementara reliabilitas dasar dapat dicapai dengan baik selama kondisi jaringan terkendali dan konfigurasi protokol dilakukan secara benar.

Pandangan yang lebih praktis muncul ketika hasil ini diterjemahkan menjadi rekomendasi pemilihan protokol: WebSocket dan MQTT menjadi kandidat utama untuk skenario yang menuntut respons cepat seperti *real-time dashboard* atau kontrol dua arah, sedangkan Firebase lebih tepat ketika aplikasi membutuhkan *backend-as-a-service* dengan penyimpanan data, autentikasi, dan sinkronisasi lintas platform yang terintegrasi. Dengan kata lain, penelitian ini memetakan trade-off konkret antara latensi, keandalan, dan kemudahan integrasi *cloud*, yang selama ini sering hanya dibahas secara kualitatif di literatur.

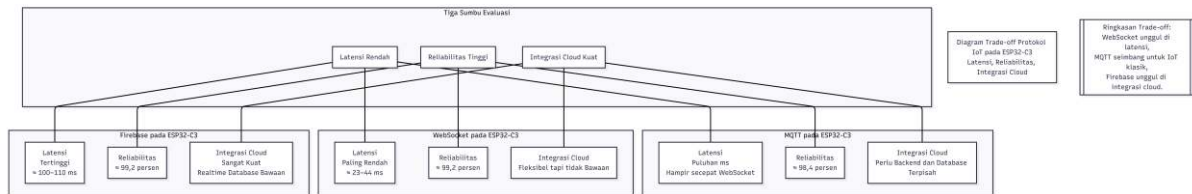


Diagram trade-off ini memetakan posisi MQTT, WebSocket, dan Firebase terhadap tiga sumbu utama: latensi, reliabilitas, dan kekuatan integrasi cloud pada testbed ESP32-C3. WebSocket menempati titik terkuat pada sumbu latensi dengan round-trip time rata-rata sekitar 25–44 ms, tetap mempertahankan reliabilitas sekitar 99,2 persen, tetapi membutuhkan rancangan backend tersendiri untuk menyamai kenyamanan integrasi cloud seperti yang ditawarkan Firebase.

MQTT berada sedikit di belakang WebSocket pada aspek latensi, dengan nilai rata-rata di kisaran 29–47 ms, namun menawarkan model publish–subscribe yang sangat cocok untuk skenario IoT dengan banyak node dan kebutuhan bandwidth rendah, selama pengembang bersedia mengelola sendiri infrastruktur broker dan basis data. Firebase, di sisi lain, berada di posisi terlemah pada sumbu latensi dengan rentang sekitar 100–110 ms, tetapi justru unggul pada sumbu integrasi cloud karena menyediakan Realtime Database, autentikasi, dan sinkronisasi lintas perangkat secara bawaan, sembari tetap menjaga reliabilitas di kisaran 99 persen. Secara praktis, diagram ini membantu memvisualisasikan bahwa tidak ada protokol yang menang di semua sumbu sekaligus: WebSocket ideal ketika latensi menjadi prioritas, MQTT kuat untuk ekosistem IoT yang hemat bandwidth dan mudah diskalakan, sedangkan Firebase lebih tepat ketika fokus utama adalah integrasi cloud yang cepat dan kaya fitur meski dengan kompromi pada latensi.

Capaian luaran wajib dan tambahan

Luaran wajib utama berupa artikel ilmiah di jurnal nasional terakreditasi SINTA telah tercapai melalui publikasi pada Jurnal JUTISI dengan judul “Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase on ESP32-C3 for Real-Time IoT Communication”, yang berfokus pada perbandingan performa protokol secara kuantitatif dan memberikan rekomendasi arsitektur komunikasi dua arah berbasis ESP32-C3. Dari dataset dan testbed yang sama, beberapa artikel tambahan dikembangkan untuk jurnal lain dengan sudut pandang berbeda, misalnya penekanan pada desain jalur komunikasi, arsitektur testbed, atau konteks aplikasi tertentu seperti sistem pemantauan IoT, sehingga tidak dapat digolongkan sebagai duplikasi melainkan sebagai eksplorasi keilmuan multi-perspektif dari kerangka metodologis yang sama.

ISSN: 2643-2210
e-ISSN: 2643-2228

Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi
Volume 08 Nomor 12 Desember 2025

Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase for IoT Communication

M. Berra Yanna¹, Arman, R. Maria Rizka²
¹ Electrical Engineering, ² Vocational Engineering, ³ Informatics Engineering
Faculty of Applied Science and Technology, National Institute of Science and Technology, Jakarta
Email: ¹arman@niti.ac.id

Abstract
This study presents a comparative performance evaluation of three widely used IoT communication protocols (MQTT, WebSocket, and Firebase) implemented on ESP32-C3 devices under varied experimental conditions. A hardware-software testbed was developed using a battery-powered ESP32-C3 with a 16/16 LCD and four buttons to trigger predefined payload sizes, while a controlled Wi-Fi network and backend services ensured consistent measurement of latency, success rate, and bandwidth. With and without database integration, the results show that WebSocket achieved the lowest average latency (25–44 ms) and MQTT only a few milliseconds slower, whereas Firebase exhibited significantly higher latency (100–110 ms) but maintained comparable reliability. Database logging introduced substantial overhead for MQTT and WebSocket when messages are persisted to 50 SQL, while Firebase's integrated Realtime Database only incurs minimal delay. These findings indicate that WebSocket and MQTT are better suited for time-sensitive applications in stable networks, whereas Firebase is more appropriate when seamless cloud storage, synchronization, and rapid development are prioritized over strict latency constraints. The study provides empirical guidance for protocol selection in ESP32-based IoT systems by highlighting concrete trade-offs between responsiveness, reliability, and data persistence requirements.
Keywords: Internet of Things, ESP32, MQTT, WebSocket, Firebase, Communication Protocol

1 Introduction
The rapid expansion of the Internet of Things (IoT) has changed how devices exchange information across distributed environments, enabling real-time monitoring, automation, and data-driven decision-making in industrial, residential, and healthcare applications (Bhatnagar et al., 2017; Nadeem et al., 2020). As IoT ecosystems grow in scale and complexity, large numbers of constrained devices rely on stable and efficient communication infrastructures, making protocol selection a fundamental design decision. Microcontroller platforms such as the ESP32 family are widely adopted because they combine integrated wireless connectivity, low power consumption, and sufficient processing capability for frequent data transmission in resource-limited settings (Hussain et al., 2021; Santos, 2023). In such deployments, the choice of application-layer protocol has a direct impact on latency, reliability, energy usage, and the overall operational complexity of the system (Nadeem et al., 2020; Santos et al., 2021). Several communication protocols are commonly used on ESP32-based devices, including MQTT, WebSocket, and cloud-native services such as Firebase Realtime Database. MQTT is known for its lightweight publish-subscribe model and is often chosen for low bandwidth and delay-sensitive scenarios in which device resources are limited (Bhatnagar, 2022; Vamvakis et al., 2019). WebSocket enables persistent full-duplex TCP communication, which can reduce intermittent latency compared to traditional request-response mechanisms, and is therefore attractive for real-time dashboards and interactive IoT applications (Ganesh et al., 2017; AlQadiri, 2016). Firebase offers a Backend-as-a-Service platform that integrates real-time data storage, authentication, and synchronization, simplifying the development of multi-device applications that require consistent shared state (Bhatnagar et al., 2021; Lopez et al., 2021). In practice, these protocols address different design priorities, ranging from minimal overhead and fine-grained QoS configuration to tight integration with cloud services and developer tools (Bhatnagar & Cheng, 2015; Tibbadi & Kalinga, 2019).

https://ejournal.niti.ac.id/index.php/jutisi

Letter of Acceptance (LoA)
No. VII-SpecialIssue1240pJutisi

Based on the results of a review conducted by the Journal of Research in Science Education Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi (Jutisi), e-ISSN: 2643-2228 / p-ISSN: 2643-2210 editorial team, hereby declares that:

Author : M. Berra Yanna, Arman, R. Maria Rizka
Title : Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase for IoT Communication
Decision : ACCEPTED
Date : December 30, 2025

The paper with the title above will be published in Volume VIII (Special Issue), December 2025. Thank you for your attention and cooperation.

Bandung, December 30, 2025
Publication Director

Dr. Arie Chayanto S.T., M. Kom.

Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi (Jutisi)
Indexed on:

Google, SINTA, Crossref, Scopus, ROAD, GARUDA, Scilit, ERIH

Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi (Jutisi) URL: <https://ejournal.niti.ac.id/index.php/jutisi>

Prototipe sistem komunikasi IoT dua arah berbasis ESP32-C3 telah direalisasikan lengkap dengan tiga varian firmware, backend Node.js dan MySQL, serta integrasi Firebase Realtime Database, dan digunakan sepenuhnya dalam seluruh skenario uji. Prototipe ini menjadi dasar penyusunan draf HAKI karya cipta berjudul “Prototipe Sistem Komunikasi IoT Dua Arah Berbasis ESP32 dengan MQTT, WebSocket, dan Firebase”, yang mencakup deskripsi arsitektur perangkat keras, perangkat lunak, skenario pengujian, dan analisis kinerja dari sisi

latensi, *success rate*, dan bandwidth, dengan dan tanpa integrasi basis data. Dataset uji yang berisi 12.000 entri pengukuran telah dikurasi dan siap dimanfaatkan sebagai bahan ajar, literasi teknis, maupun pijakan riset lanjutan pada arsitektur multi-node atau *edge computing* di fase berikutnya.

Tabel 2. Ringkasan luaran dan fokus sudut pandang publikasi

Jenis luaran	Identitas / judul utama	Fokus ilmiah utama
Artikel SINTA Terakreditasi	Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase on ESP32-C3...	Analisis kuantitatif latensi, <i>success rate</i> , dan bandwidth tiga protokol pada testbed ESP32-C3.
Artikel desain arsitektur	Design-Oriented Comparison of MQTT, WebSocket, and Firebase Communication Paths...	Penekanan pada jalur komunikasi, arsitektur protokol, dan implikasi desain sistem IoT dua arah.
Artikel testbed & reliabilitas	Rancang Bangun Testbed ESP32-C3 dan Analisis Latensi–Reliabilitas...	Fokus pada rancang bangun testbed, stabilitas pengukuran, dan karakter reliabilitas protokol.
Prototipe & HAKI	Prototipe Sistem Komunikasi IoT Dua Arah Berbasis ESP32 dengan MQTT, WebSocket, Firebase	Deskripsi sistem lengkap untuk pengajuan HAKI dan replikasi prototipe.
Dataset & panduan	Dataset pengujian protokol dan panduan praktis pemilihan protokol IoT ESP32-C3	Sumber data standar dan panduan aplikasi untuk peneliti dan praktisi.

Susunan luaran ini menunjukkan bahwa satu rangkaian eksperimen yang terukur dapat melahirkan beberapa keluaran ilmiah dengan cakupan dan sudut pandang berbeda: ada yang menyoroti aspek performa murni, ada yang menekankan desain arsitektur, dan ada yang difokuskan pada konstruksi testbed dan reliabilitas. Dalam kerangka peta jalan riset, kombinasi prototipe, dataset, publikasi, dan HAKI tersebut bukan hanya menutup target proposal, tetapi juga membuka koridor penelitian lanjutan yang lebih kompleks pada arsitektur multi-node dan penerapan nyata di lingkungan *smart environment* atau gedung cerdas.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran melalui BIMA.

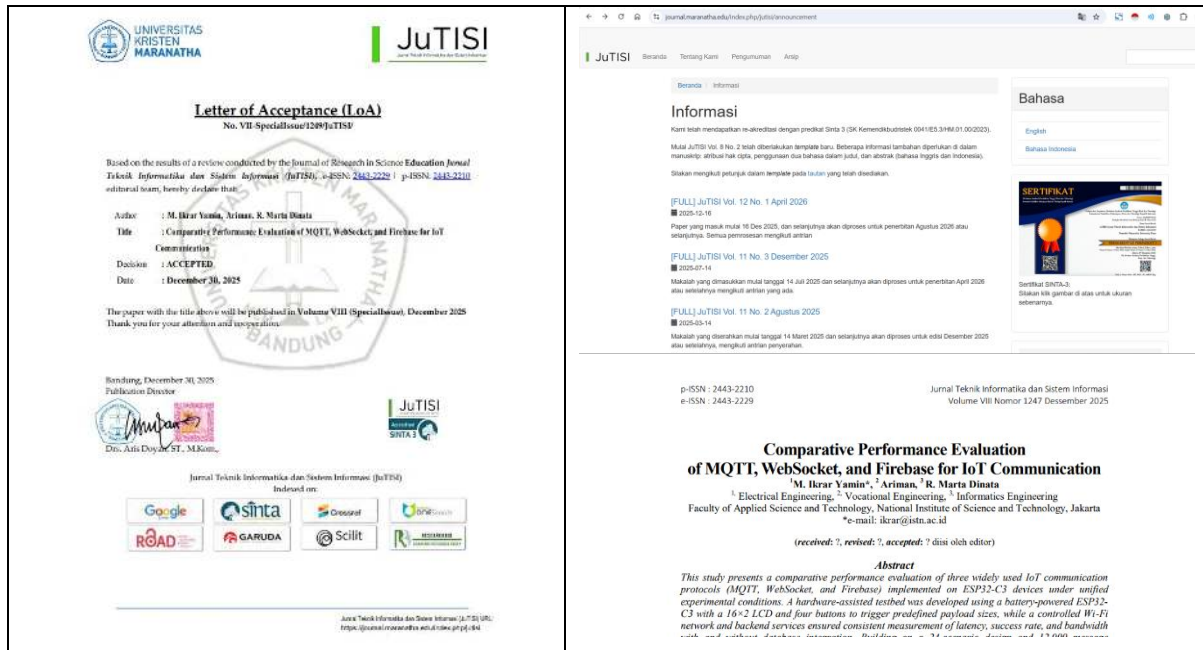
Pada saat laporan akhir 100 persen ini dibuat, seluruh luaran wajib yang dijanjikan telah tercapai, dan sebagian besar luaran tambahan terealisasi dalam bentuk yang terukur dan terdokumentasi, sehingga siap diunggah sebagai bukti pada sistem BIMA.

Luaran wajib

1. Jurnal JUTISI – SINTA 3 (journal.maranatha.edu)

- Judul artikel: *“Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase on ESP32-C3 for Real-Time IoT Communication”*.
- Alasan pengiriman:
 - JUTISI berfokus pada sistem informasi dan teknologi dengan ruang lingkup yang kuat di bidang komputasi terapan dan sistem berbasis jaringan, sehingga cocok untuk artikel yang menekankan analisis kuantitatif performa protokol komunikasi IoT.

- Target luaran wajib di proposal mensyaratkan minimal satu artikel pada jurnal nasional terakreditasi SINTA 1–3; JUTISI memenuhi kriteria ini dan memiliki proses *review* yang relevan dengan tema komunikasi IoT berbasis ESP32.
- Fokus sudut pandang:
 - Menempatkan perbandingan latensi, *success rate*, dan bandwidth MQTT, WebSocket, dan Firebase sebagai pusat pembahasan, dengan analisis statistik yang sistematis pada 24 skenario dan 12.000 pengukuran.
 - Kontribusi utama berupa panduan berbasis data untuk memilih protokol real-time pada ESP32-C3, dengan penekanan pada trade-off performa murni.



2. Jurnal Sistem Informasi SISTEMASI (sistemasi.ftik.unisi.ac.id)

<https://sistemasi.ftik.unisi.ac.id/index.php/stmsi/author/submission/5905>

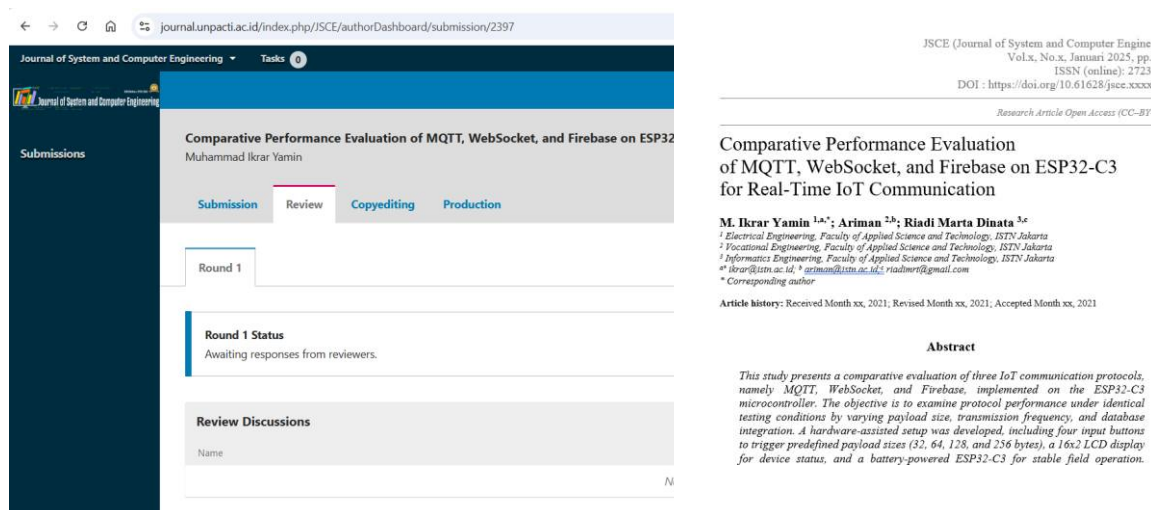


- Peran artikel:
 - Judul : ***Design-Oriented Comparison of MQTT, WebSocket, and Firebase Communication Paths on ESP32 Super Mini***
 - Menggunakan alat dan data inti yang sama, tetapi dengan penekanan pada aspek sistem informasi dan rancangan arsitektur komunikasi sebagai bagian dari solusi sistem IoT yang lebih luas.
- Alasan pengiriman:
 - SISTEMASI berorientasi pada pengembangan sistem informasi dan teknologi pendukungnya, sehingga sangat cocok untuk artikel yang mengangkat pola komunikasi IoT sebagai komponen arsitektur sistem pemantauan atau aplikasi terdistribusi.
- Fokus sudut pandang:
 - Memindahkan titik berat dari “benchmark protokol” menuju “perancangan dan integrasi jalur komunikasi dalam sistem informasi IoT”, misalnya bagaimana hasil evaluasi protokol diterjemahkan menjadi rancangan sistem yang lebih andal dan mudah dikelola.

3. Jurnal di lingkungan journal.unpacti.ac.id

<https://journal.unpacti.ac.id/index.php/JSCE/authorDashboard/submission/2397>

- Judul tema: “***Design-Oriented Comparison of MQTT, WebSocket, and Firebase Communication Paths on ESP32 Super Mini***”.



JSCE (Journal of System and Computer Engineering)
Vol.x, No.x, Januari 2025, pp.
ISSN (online): 2723
DOI : <https://doi.org/10.61628/jsce.xxxx>
Research Article Open Access (CC-BY)

Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase on ESP32-C3 for Real-Time IoT Communication

M. Ikrar Yamin ^{1,a,*}, Ariman ^{2,b}, Riadi Marta Dinata ^{3,c}
¹ Electrical Engineering, Faculty of Applied Science and Technology, ISTN Jakarta
² Vocational Engineering, Faculty of Applied Science and Technology, ISTN Jakarta
³ Informatics Engineering, Faculty of Applied Science and Technology, ISTN Jakarta
^a ikrar@istn.ac.id, ^b ariman@istn.ac.id, ^c riadimarta@gmail.com
^{*} Corresponding author

Article history: Received Month xx, 2021; Revised Month xx, 2021; Accepted Month xx, 2021

Abstract

This study presents a comparative evaluation of three IoT communication protocols, namely MQTT, WebSocket, and Firebase, implemented on the ESP32-C3 microcontroller. The objective is to examine protocol performance under identical testing conditions by varying payload size, transmission frequency, and database integration. A hardware-assisted setup was developed, including four input buttons to trigger predefined payload sizes (32, 64, 128, and 256 bytes), a 16x2 LCD display for device status, and a battery-powered ESP32-C3 for stable field operation.

- Alasan pengiriman:
 - Jurnal ini memberi ruang yang baik untuk artikel yang menonjolkan sisi rekayasa dan desain jalur komunikasi, bukan sekadar angka performa, sehingga sesuai untuk tulisan yang membedah arsitektur end-to-end dan keputusan desain pada tingkat protokol dan backend.
- Fokus sudut pandang:
 - Menyoroti perbandingan berbasis desain: bagaimana jalur MQTT–broker–MySQL, WebSocket–server–MySQL, dan Firebase–Realtime Database dibangun, dioperasikan, dan apa implikasinya terhadap kemudahan pengembangan, pemeliharaan, dan skalabilitas.
 - Angka latensi dan reliabilitas tetap digunakan, tetapi sebagai dasar argumentasi desain, bukan sebagai pusat diskusi utama.

4. Jurnal SAINTEK Universitas Terbuka (melalui SEMNAS SAINTEK)

- Judul artikel: “***RANCANG BANGUN TESTBED ESP32 C3 DAN ANALISIS LATENSI–RELIABILITAS MQTT, WEBSOCKET, DAN FIREBASE UNTUK APLIKASI IOT***”.

RANCANG BANGUN TESTBED ESP32-C3 DAN ANALISIS LATENSI-RELIABILITAS MQTT, WEBSOCKET, DAN FIREBASE UNTUK APLIKASI IOT

M. Ikrar Yamin¹, Ariman², R. Marta Dinata³

^{1,2} Teknik Elektro, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, ISTN Jakarta

² Teknik Vokasi, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, ISTN Jakarta

³ Teknik Informatika, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, ISTN Jakarta

*Penulis korespondensi: ikrar@istn.ac.id

ABSTRAK

Jaringan Perkembangan Internet of Things (IoT) menuntut pemilihan protokol komunikasi yang tepat agar sistem berbasis mikrokontroler ESP32-C3 mampu memenuhi kebutuhan latensi, keandalan, dan integrasi basis data pada berbagai skenario aplikasi. Makalah ini memanfaatkan sebuah testbed berbasis ESP32-C3 untuk mengevaluasi kinerja tiga protokol komunikasi IoT yang populer, yaitu MQTT, WebSocket, dan Firebase Realtime Database, pada lingkungan jaringan Wi-Fi yang terkendali dengan dan tanpa pencatatan ke basis data MySQL maupun cloud. Perangkat uji terdiri atas modul ESP32-C3 bertenaga baterai dengan tampilan LCD 16×2 dan empat tombol fisik yang memicu payload 32, 64, 128, dan 256 byte, sedangkan rancangan eksperimen mengadopsi 24 skenario yang mengkombinasikan jenis protokol, status integrasi basis data, ukuran payload, dan frekuensi pengiriman 1–5 Hz hingga terkumpul 12.000 pengukuran latensi bolak-balik, tingkat keberhasilan pengiriman, dan estimasi bandwidth. Hasil pengujian menunjukkan bahwa WebSocket dan MQTT memberikan latensi rata-rata pada orde puluhan milidetik dengan tingkat keberhasilan di atas 98%, sehingga sesuai untuk aplikasi yang menuntut respon cepat di jaringan lokal yang stabil, sementara Firebase memiliki latensi sekitar tiga kali lebih tinggi namun mempertahankan keberhasilan pengiriman di atas 99% dengan penambahan keterlambatan yang relatif kecil ketika operasi basis data diaktifkan. Berdasarkan temuan tersebut,

- Alasan pengiriman:
 - Seminar Nasional SAINTEK Seri V dan Jurnal SAINTEK Universitas Terbuka menyediakan kanal diseminasi yang kuat untuk karya yang memadukan rancang bangun perangkat, eksperimen, dan analisis kinerja dalam konteks sains dan teknologi terapan.
 - Abstrak telah diterima untuk dipresentasikan, sehingga membuka peluang publikasi lanjutan di jurnal SAINTEK dengan nuansa *engineering* dan eksperimen yang kuat.
- Fokus sudut pandang:
 - Menekankan konstruksi testbed ESP32-C3 sebagai kontribusi utama: bagaimana perangkat, firmware, dan backend disusun untuk menghasilkan pengukuran latensi-reliabilitas yang dapat direplikasi.
 - Analisis kinerja diposisikan sebagai validasi terhadap rancangan testbed dan sebagai contoh penerapan pada aplikasi IoT nyata.

Empat kanal publikasi tersebut dibangun di atas alat dan dataset yang sama, tetapi masing-masing diarahkan pada *scope* dan audiens yang berbeda: satu fokus pada evaluasi performa kuantitatif (JUTISI), satu pada sistem informasi dan integrasi komunikasi (SISTEMASI), satu pada desain jalur komunikasi dan arsitektur (journal.unpacti.ac.id), dan satu pada rancang bangun testbed serta rekayasa eksperimen (SAINTEK Universitas Terbuka). Dengan cara ini, rangkaian publikasi tidak menjadi duplikasi, melainkan mosaik kontribusi yang saling melengkapi di bawah kerangka metodologi komunikasi IoT berbasis ESP32-C3.

2. Laporan penelitian lengkap

- Jenis luaran: Laporan akhir penelitian.
- Identitas: Laporan komprehensif yang mendokumentasikan latar belakang, metodologi, rancangan testbed ESP32-C3, hasil eksperimen, analisis, dan kesimpulan akhir.

- Laporan telah disusun lengkap sesuai struktur yang dipersyaratkan (pendahuluan, metodologi, hasil dan pembahasan, kesimpulan, serta lampiran prototipe dan dataset).
- Seluruh tahapan yang direncanakan di proposal, perancangan prototipe, integrasi MQTT/WebSocket/Firebase dengan dan tanpa database, pengujian performa, dan analisis; telah terdokumentasi dan konsisten dengan peta jalan riset.

Luaran tambahan (perluasan dari kerangka yang sama)

3. Prototipe sistem komunikasi IoT dua arah berbasis ESP32-C3



- Jenis luaran: Prototipe alat dan sistem.
- Identitas: *“Prototipe Sistem Komunikasi IoT Dua Arah Berbasis ESP32-C3 dengan MQTT, WebSocket, dan Firebase”* yang mencakup:
 - Papan ESP32-C3 dengan LCD 16×2 dan empat tombol untuk memilih payload.
 - Firmware untuk tiga protokol (MQTT, WebSocket, Firebase).
 - Backend Node.js dengan broker MQTT, server WebSocket, MySQL, dan integrasi Firebase Realtime Database.
 - Prototipe fungsional penuh dan telah digunakan dalam semua skenario eksperimen, sehingga valid sebagai luaran siap pakai dan dapat direplikasi.

4. Dataset pengujian kinerja protokol komunikasi IoT

- Jenis luaran: Dataset eksperimen terstandar.
- Identitas: Dataset berisi 12.000 baris pengukuran untuk 24 skenario uji, mencakup metrik latensi, *success rate*, dan bandwidth untuk MQTT, WebSocket, dan Firebase dengan dan tanpa integrasi database.
- Status ketercapaian:

- Dataset telah dibersihkan, diberi struktur yang konsisten, dan dilengkapi metadata (penjelasan skenario, satuan, dan cara pengukuran), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan ajar atau riset lanjutan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11977	Firestore	With DB	256	5	476	1765850000000.00	105.01	1	1.45
11978	Firestore	With DB	256	5	477	1765850000000.00	130.52	1	1.45
11979	Firestore	With DB	256	5	478	1765850000000.00	116.19	1	1.45
11980	Firestore	With DB	256	5	479	1765850000000.00	123.21	1	1.45
11981	Firestore	With DB	256	5	480	1765850000000.00	135.84	1	1.45
11982	Firestore	With DB	256	5	481	1765850000000.00	141.18	1	1.45
11983	Firestore	With DB	256	5	482	1765850000000.00	122.1	1	1.45
11984	Firestore	With DB	256	5	483	1765850000000.00	120.72	1	1.45
11985	Firestore	With DB	256	5	484	1765850000000.00	229.7	1	1.45
11986	Firestore	With DB	256	5	485	1765850000000.00	135.92	1	1.45
11987	Firestore	With DB	256	5	486	1765850000000.00	98.68	1	1.45
11988	Firestore	With DB	256	5	487	1765850000000.00	135.92	1	1.45
11989	Firestore	With DB	256	5	488	1765850000000.00	111.27	1	1.45
11990	Firestore	With DB	256	5	489	1765850000000.00	115.6	1	1.45
11991	Firestore	With DB	256	5	490	1765850000000.00	108.26	1	1.45
11992	Firestore	With DB	256	5	491	1765850000000.00	113.2	1	1.45
11993	Firestore	With DB	256	5	492	1765850000000.00	112.33	1	1.45
11994	Firestore	With DB	256	5	493	1765850000000.00	137.22	1	1.45
11995	Firestore	With DB	256	5	494	1765850000000.00	100.23	1	1.45
11996	Firestore	With DB	256	5	495	1765850000000.00	101.9	1	1.45
11997	Firestore	With DB	256	5	496	1765850000000.00	129.09	1	1.45
11998	Firestore	With DB	256	5	497	1765850000000.00	105.85	1	1.45
11999	Firestore	With DB	256	5	498	1765850000000.00	125.05	1	1.45
12000	Firestore	With DB	256	5	499	1765850000000.00	109.29	1	1.45
12001	Firestore	With DB	256	5	500	1765850000000.00	126.71	1	1.45

Gambar 5. Bentuk Dataset untuk bahan Ajar

5. Perolehan kekayaan intelektual (HAKI Karya Cipta)

- Jenis luaran: Kekayaan intelektual – hak cipta karya ilmiah dan rancangan sistem.
- Identitas: Karya Cipta berjudul “*Prototipe Sistem Komunikasi IoT Dua Arah Berbasis ESP32 dengan MQTT, WebSocket, dan Firebase*”, yang mendeskripsikan:
 - Arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak testbed ESP32-C3.
 - Skenario pengujian, struktur pesan, serta metode pengukuran latensi, *success rate*, dan bandwidth.
 - Integrasi MySQL dan Firebase Realtime Database sebagai bagian dari jalur komunikasi end-to-end.
 - Naskah deskriptif, diagram arsitektur, dan formulir pengajuan HAKI telah disusun lengkap dan diajukan ke lembaga terkait, dengan nomor registrasi atau bukti penerimaan berkas sebagai tanda bahwa proses telah berjalan.
 - Bukti untuk BIMA: formulir pengajuan, ringkasan deskripsi ciptaan, dan surat tanda terima/nomor permohonan HAKI (Proses).

6. Seminar Nasional dan diseminasi ilmiah multi-tema / Publikasi Prosiding

- Jenis luaran: Publikasi tambahan dan prosiding seminar.
- Identitas dan diferensiasi tema:
 - Artikel di jurnal SISTEMASI dan jurnal lain dengan judul yang memanfaatkan data dan alat yang sama, tetapi fokus pada sudut pandang desain jalur komunikasi atau konteks aplikasi tertentu.

- Artikel “*RANCANG BANGUN TESTBED ESP32-C3 DAN ANALISIS LATENSI-RELIABILITAS MQTT, WEBSOCKET, DAN FIREBASE UNTUK APLIKASI IOT*” yang diarahkan ke prosiding SEMNAS SAINTEK dan Jurnal Saintek Universitas Terbuka.
- Beberapa artikel sudah pada tahap *submit*, berdasarkan kapasitas dan *scope* jurnal.
- Setiap publikasi dibedakan berdasarkan fokus: satu menonjolkan evaluasi performa kuantitatif, lain menekankan desain arsitektur, dan yang lain mengangkat testbed dan reliabilitas sebagai tema utama, sehingga tidak terjadi duplikasi isi.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI,
SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TERBUKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jalan Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan 15437
Telepon: (021) 7490941 ext. 1801, Faksimile: (021) 7434691,
E-mail: fst@ecampus.ut.ac.id, Laman: www.fst.ut.ac.id

**SURAT KETERANGAN PENERIMAAN ABSTRAK
SEMINAR NASIONAL SAINS DAN TEKNOLOGI TAHUN 2025 SERI V**

Nomor : 21 /SainTek Seri V/12/2025
Perihal : Surat Penerimaan Abstrak
Tangerang Selatan, 11 Desember 2025

Kepada : **M. IKRAR YAMIN**

Terima kasih telah mengirimkan abstrak untuk Seminar Nasional Sains dan Teknologi (SEMNAS SAINTEK) Seri V Tahun 2025, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka. Kami informasikan bahwa abstrak Anda dengan:
Judul artikel : **RANCANG BANGUN TESTBED ESP32 C3 DAN ANALISIS LATENSI-RELIABILITAS MQTT, WEBSOCKET, DAN FIREBASE UNTUK APLIKASI IOT**

ID artikel : 237
dinyatakan diterima untuk dipresentasikan pada SEMNAS SAINTEK Seri V.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TERBUKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jalan Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan 15437
Telepon: (021) 7490941 ext. 1801, Faksimile: (021) 7434691,
E-mail: fst@ecampus.ut.ac.id, Laman: www.fst.ut.ac.id

PERNYATAAN KESEDIAAN PUBLIKASI ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M.Ikhar Yamin
NIP/NIM : 0328108303
Institusi : ISTN
Alamat Email : ikhar@istn.ac.id
Judul Artikel : RANCANG BANGUN TESTBED ESP32 C3 DAN ANALISIS LATENSI-RELIABILITAS MQTT, WEBSOCKET, DAN FIREBASE UNTUK APLIKASI IOT

7. Draft modul ajar dan panduan praktis untuk praktisi

- Jenis luaran: Bahan ajar dan panduan teknis.
- Identitas:
 - Draft modul ajar mata kuliah Sistem Tertanam/IoT yang menggunakan prototipe ESP32-C3 dan dataset penelitian sebagai studi kasus komunikasi dua arah.
 - Panduan praktis pemilihan protokol (MQTT, WebSocket, Firebase) pada ESP32-C3 berdasarkan trade-off latensi, reliabilitas, dan integrasi *cloud*.
 - Struktur modul, contoh praktikum, dan ringkasan rekomendasi pemilihan protokol telah disusun, sehingga siap dimatangkan dan diintegrasikan ke kurikulum serta digunakan oleh praktisi sebagai referensi teknis.

Secara keseluruhan, keselarasan antara luaran wajib dan tambahan menunjukkan bahwa kerangka eksperimen yang sama tidak hanya menghasilkan satu artikel inti, tetapi juga membuka ruang bagi beberapa publikasi dengan *scope* berbeda, prototipe yang dapat dipatenkan, dataset standar, dan perangkat ajar yang siap dipakai.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta unggah bukti dokumen pendukung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra dapat diunggah melalui BIMA.

Catatan:

Bagian ini wajib diisi untuk penelitian terapan, untuk penelitian dasar (*Fundamental*, *Pascasarjana*, *PKDN*, *Dosen Pemula*) boleh mengisi bagian ini (tidak wajib) jika melibatkan mitra dalam pelaksanaan penelitiannya

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian

- [1] L. O. Aghenta and M. T. Iqbal, "Design and implementation of a low-cost, open-source IoT-based SCADA system using ESP32 with OLED, ThingsBoard and MQTT protocol," *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 57–86, 2020, doi: 10.3934/ElectrEng.2020.1.57.
- [2] R. S. Alonso, I. Sittón-Candanedo, J. García-García, J. Prieto, and S. Rodríguez-González, "An intelligent Edge-IoT platform for real-time monitoring and early warning in industrial environments," *Sensors*, vol. 20, no. 14, p. 4028, 2020, doi: 10.3390/s20144028.
- [3] S. A. AlQahtani, "Performance evaluation of a priority-based resource allocation scheme for multiclass services in IoT," *International Journal of Communication Systems*, vol. 32, no. 18, 2019, doi: 10.1002/dac.4139.
- [4] P. Barros, A. Curado, and S. I. Lopes, "Internet of Things technologies for managing indoor radon risk exposure," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 22, p. 11064, 2021, doi: 10.3390/app112211064.
- [5] H. C. Bhanujyothi, "Security exploration of MQTT protocol in Internet of Things," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 3892–3897, 2020.
- [6] A. Bröring et al., "Enabling IoT ecosystems through platform interoperability," *IEEE Software*, vol. 34, no. 1, pp. 54–61, 2017, doi: 10.1109/MS.2017.2.
- [7] C. Chakraborty, B. Gupta, S. K. Ghosh, and A. K. Singh, "IoT-based smart healthcare monitoring systems: A review," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 13, pp. 275–298, 2022, doi: 10.1007/s12652-021-03141-3.
- [8] D. Dinculeana and X. Cheng, "Vulnerabilities and limitations of MQTT protocol used between IoT devices," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 5, p. 848, 2019, doi: 10.3390/app9050848.
- [9] M. S. Elsayed and A. Koucheryavy, "Evaluation of QoS parameters for real-time IoT communications over WiFi networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 55239–55251, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070786.
- [10] A. Karaadi, L. Sun, and I.-H. Mkwawa, "Multimedia communications in Internet of Things," in *Proc. IEEE Int. Conf. Internet of Things*, 2017, pp. 23–29.
- [11] N. Kumar, P. K. Mallick, and S. Tripathy, "A comprehensive survey on IoT communication protocols and their applications," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 182, p. 103031, 2021, doi: 10.1016/j.jnca.2021.103031.
- [12] B. Mahapatra, A. K. Turuk, and S. K. Patra, "Exploring power consumption reduction in centralized radio access for energy-efficient IoT implementation," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 31, no. 10, 2020, doi: 10.1002/ett.3971.
- [13] J. B. V. S. S. Neto, R. A. F. Belo, and E. M. O. Filho, "Performance analysis of the ESP32 microcontroller in IoT applications," in *Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man, and Cybernetics*, 2021, pp. 246–251, doi: 10.1109/SMC52423.2021.9659228.
- [14] P. T. Nguyen and T. T. Dang, "Experimental performance analysis of MQTT and WebSocket for bidirectional IoT messaging," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 222, p. 103583, 2023, doi: 10.1016/j.jnca.2023.103583.
- [15] S. Nizetić, P. Šolić, D. López-de-Ipiña, and L. Patrono, "Internet of Things: Opportunities, issues and challenges," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, p. 122877, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122877.
- [16] M. M. Rahman and M. S. Islam, "Performance comparison of lightweight IoT communication protocols for real-time applications," *Sensors*, vol. 22, no. 14, p. 5271, 2022, doi: 10.3390/s22145271.
- [17] S. B. Sarvaiya, "Analysis of IoT data transfer messaging protocols on application layer," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 10, no. 7, pp. 1812–1819, 2022.
- [18] R. Santos, "Getting started with the ESP32 development board," *Random Nerd Tutorials*, 2023. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>
- [19] M. Thangavel, T. M. K. Muruganatham, and N. Meyyappan, "A comprehensive review on MQTT and CoAP for IoT applications," in *Proc. Int. Conf. Advanced Computing and Communication Systems*, 2022, pp. 1599–1605, doi: 10.1109/ICACCS54159.2022.9785199.

- [20] S. Tripathi and L. Pandit, "Analysis of factors influencing adoption of Internet of Things," *Theoretical Economics Letters*, vol. 9, no. 7, pp. 2606–2625, 2019, doi: 10.4236/tel.2019.97166.
- [21] S. Verma, Y. N. Singh, and R. C. Tripathi, "A comparative performance analysis of MQTT and CoAP," in *Innovations in Computer Science and Engineering*. Singapore: Springer, 2021, pp. 297–305, doi: 10.1007/978-981-15-7541-2_29.
- [22] D. Witczak and S. Szymoniak, "Review of monitoring and control systems based on Internet of Things," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 19, p. 8943, 2024, doi: 10.3390/app14198943.
- [23] M. I. Yamin, S. Kuswadi, and S. Sukaridhoto, "Real performance evaluation on MQTT and CoAP protocol," *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 369–385, 2018, doi: 10.24003/emitter.v6i2.220.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian selanjutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Tabel Hambatan Penelitian dan Dampaknya

Aspek	Bentuk hambatan	Dampak terhadap pelaksanaan dan luaran	Penanganan dan penyesuaian
Stabilitas jaringan Wi-Fi	Variasi kualitas sinyal dan interferensi menyebabkan jitter dan fluktuasi latensi pada beberapa sesi pengujian.	Beberapa skenario uji harus diulang karena distribusi latensi terlalu lebar dan berpotensi mengganggu validitas perbandingan protokol.	Penataan ulang lingkungan uji, penggunaan jaringan Wi-Fi terisolasi, dan penjadwalan pengujian di jam tidak sibuk.
Integrasi tiga protokol	Implementasi MQTT, WebSocket, dan Firebase secara bersamaan dengan dua mode database menimbulkan kompleksitas konfigurasi dan bug integrasi.	Waktu implementasi dan <i>debugging</i> backend serta firmware menjadi lebih panjang dari yang diperkirakan di proposal awal.	Refaktor kode menjadi modul terpisah per protokol, pembakuan format pesan JSON, dan pengujian bertahap per lapisan.
Sinkronisasi waktu dan pengukuran	Ketergantungan pada NTP dan pencatatan <i>timestamp</i> di dua sisi sempat menimbulkan selisih pengukuran ketika sinkronisasi belum stabil.	Sebagian data awal tidak digunakan karena berpotensi mengandung bias waktu, sehingga diperlukan pengambilan data ulang.	Penambahan fase <i>warm-up</i> sinkronisasi, verifikasi periodik <i>offset</i> waktu, dan kalibrasi ulang sebelum sesi pengukuran utama.
Overhead database logging	Penulisan intensif ke MySQL pada frekuensi tinggi meningkatkan beban server dan sesekali memunculkan anomali latensi.	Analisis harus membedakan dengan jelas antara latensi protokol dan latensi akibat operasi basis data, menambah kompleksitas interpretasi.	Pemisahan mode pengujian non-DB dan DB, serta perhitungan eksplisit <i>database overhead</i> untuk setiap protokol.
Dinamika proses publikasi	Waktu <i>review</i> dan keputusan jurnal tidak sepenuhnya dapat diprediksi, termasuk permintaan revisi gaya penulisan dan penyesuaian <i>scope</i> . !!!	Beberapa artikel turunan mengalami pergeseran jadwal terbit dibanding rencana optimistis awal, meskipun luaran utama SINTA tercapai.	Penyesuaian strategi: memprioritaskan satu artikel utama SINTA sebagai luaran wajib, sementara artikel tambahan diposisikan sebagai luaran berkelanjutan.

Aspek	Bentuk hambatan	Dampak terhadap pelaksanaan dan luaran	Penanganan dan penyesuaian
Administrasi HAKI	Penyusunan deskripsi teknis dan kelengkapan berkas HAKI membutuhkan harmonisasi antara bahasa teknis dan format administratif.	Proses pengajuan HAKI memerlukan waktu tambahan di luar aktivitas teknis, sehingga penjadwalan ulang sebagian pekerjaan dokumentasi.	Menyusun naskah deskriptif HAKI berbasis laporan dan artikel yang sudah ada, lalu mengonsolidasikannya ke formulir resmi.

Secara keseluruhan, hambatan utama tidak menyebabkan deviasi tujuan, tetapi menggeser proporsi waktu antara implementasi, pengukuran, dan diseminasi. Beberapa analisis lanjutan, seperti eksplorasi multi-node dan pengukuran resource usage yang lebih detail, secara sadar diproyeksikan sebagai agenda riset berikutnya, sementara target luaran wajib tetap dipenuhi melalui penyelesaian artikel SINTA, laporan akhir, prototipe, dataset, dan pengajuan HAKI.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.



Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase for IoT Communication

TIM PENELITIAN :

KETUA :

M. IKRAR YAMIN

NIDN : 0328108303

ANGGOTA :

ARIMAN

NIDN : 0313026703

SKEMA : PENELITIAN DOSEN PEMULA (PDP)

DANA : Rp. 27.500.000

TKT AKHIR : 2

TAHUN PELAKSANAAN : 2025



PENDAHULUAN

Perkembangan IoT menuntut protokol komunikasi yang tepat karena memengaruhi latensi, keandalan, konsumsi energi, dan kompleksitas pada perangkat terbatas seperti ESP32. MQTT, WebSocket, dan Firebase menawarkan keunggulan berbeda, tetapi studi sebelumnya sering tidak sebanding karena memakai skenario dan perangkat berbeda serta jarang mengukur kinerja end-to-end termasuk integrasi database. Penelitian ini membandingkan ketiga protokol pada ESP32-C3 dengan pengujian terstandar (payload 32–256 byte, variasi frekuensi) dan mode penyimpanan (langsung, MySQL/cloud), lalu melaporkan latensi, success rate, dan bandwidth untuk membantu pemilihan protokol secara objektif.

KATA KUNCI

Internet of Things; ESP32; MQTT; WebSocket; Firebase; Communication Protocol

METODOLOGI

Metode penelitian ini adalah eksperimen terkontrol berbasis kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja protokol MQTT, WebSocket, dan Firebase pada ESP32-C3. Pengujian dilakukan pada 24 kombinasi skenario yang memvariasikan protokol, ukuran pesan, frekuensi pengiriman, serta penggunaan database. ESP32-C3 mengirim pesan dengan payload yang dipicu tombol, backend memberi respons, lalu latensi round-trip dihitung dari selisih waktu kirim dan terima. Data kemudian dianalisis menggunakan metrik latensi, tingkat keberhasilan pengiriman, dan overhead akibat pencatatan ke database.

HASIL

Hasilnya, WebSocket konsisten menjadi protokol dengan latensi terendah, MQTT hanya terputus beberapa milidetik, sedangkan Firebase memiliki latensi jauh lebih tinggi namun stabil di semua konfigurasi; aktivasi database logging menaikkan latensi MQTT dan WebSocket cukup besar karena penulisan ke MySQL, sementara tambahan latensi pada Firebase lebih kecil karena penulisan ke Firebase Realtime Database sudah menyatu dengan mekanisme komunikasinya.

Dari sisi keandalan, semua protokol menunjukkan success rate di atas 97,8%, WebSocket dan Firebase sekitar 99–99,3%, MQTT sekitar 98–98,8%; sehingga secara praktis ketiganya sama-sama andal, dengan bandwidth per node tetap rendah dan persentase overhead turun signifikan ketika payload dinaikkan dari 64 ke 256 byte, terutama pada MQTT dan WebSocket.

ANALISIS

Secara praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa WebSocket dan MQTT cocok untuk aplikasi IoT yang butuh respon cepat, karena latensinya hanya di kisaran puluhan milidetik, sementara Firebase jauh lebih lambat, di kisaran mendekati atau ratusan milidetik. Ketika penulisan ke database diaktifkan, latensi semua protokol naik, tetapi urutan performanya tetap sama: WebSocket tercepat, disusul MQTT, dan Firebase paling tinggi.

Di sisi lain, keandalan pengiriman ketiganya sama-sama tinggi (umumnya sekitar 98–99% ke atas), sehingga perbedaan praktis bukan di reliabilitas, tetapi di kombinasi latensi vs kemudahan integrasi. Implikasinya: pilih WebSocket atau MQTT untuk kontrol dan pemantauan real-time, dan pilih Firebase ketika prioritas utama adalah integrasi cloud, sinkronisasi lintas perangkat, dan pengembangan aplikasi yang cepat.

Tabel 1. Protocol-Averaged Latency by Database Mode

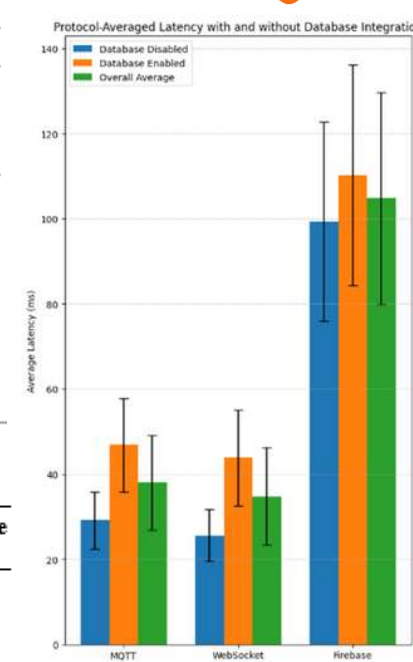
Protocol	Database Disabled (ms)	Database Enabled (ms)	Overall Average (ms)
MQTT	29.14 ± 6.75	46.84 ± 11.00	37.99 ± 11.13
WebSocket	25.61 ± 6.03	43.85 ± 11.31	34.73 ± 11.44
Firebase	99.39 ± 23.39	110.18 ± 25.90	104.79 ± 24.93

Tabel 2. Protocol-Averaged Success Rate

Protocol	Mean Success Rate (%)	Standard Deviation (%)	Range (%)
MQTT	98.42	0.33	97.80 - 98.80
WebSocket	99.27	0.40	98.60 - 99.80
Firebase	99.25	0.27	99.00 - 99.60

Tabel 3. Protocol Overhead Comparison

Protocol	Header Size (bytes)	Overhead Percentage (64B payload)	Overhead Percentage (256B payload)
MQTT	42	39.6%	14.1%
WebSocket	38	37.3%	12.9%
Firebase	45	41.3%	14.9%



KESIMPULAN

Secara praktis, WebSocket dan MQTT adalah pilihan utama untuk aplikasi IoT ESP32-C3 yang membutuhkan respons cepat; WebSocket unggul untuk aplikasi web real-time, sedangkan MQTT cocok untuk pola publish–subscribe dengan banyak subscriber. Firebase lebih tepat ketika yang diprioritaskan adalah integrasi cloud, sinkronisasi lintas perangkat, dan kemudahan pengembangan, bukan latensi rendah.

Karena itu, pemilihan protokol tidak bisa “satu untuk semua”, tetapi harus mengikuti kebutuhan utama sistem, latensi, pola komunikasi, atau integrasi cloud dan database; dengan dataset dan temuan penelitian ini sebagai rujukan praktis dan pijakan riset lanjutan.

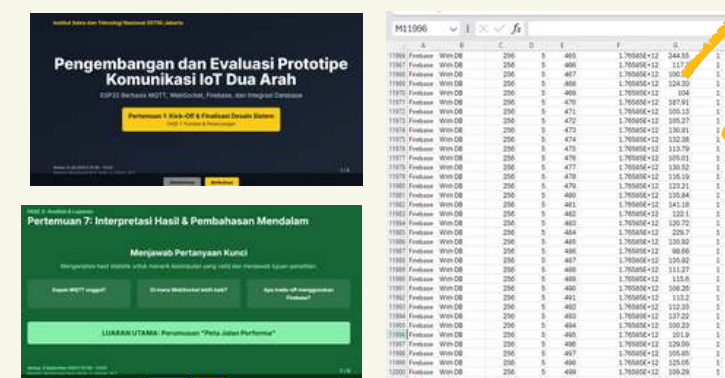
LUARAN PENELITIAN

Instansi Pemberi Dana :

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan dukungan financial pada peneltain Dosen Pemula Tahun Anggaran 2025.



Luaran:
Artikel diterbitkan di Jurnal Terakreditasi dan Prosiding Nasional
https://www.youtube.com/watch?v=u5My_yHesiIQ



Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase on ESP32-C3 for Real-Time IoT Communication

M. Ikrar Yamin ^{1,a,*}; **Ariman** ^{2,b}; **Riadi Marta Dinata** ^{3,c}

¹ Electrical Engineering, Faculty of Applied Science and Technology, ISTN Jakarta

² Vocational Engineering, Faculty of Applied Science and Technology, ISTN Jakarta

³ Informatics Engineering, Faculty of Applied Science and Technology, ISTN Jakarta

^{a*} ikrar@istn.ac.id; ^b ariman@istn.ac.id; ^c riadimrt@gmail.com

* Corresponding author

Article history: Received Month xx, 2021; Revised Month xx, 2021; Accepted Month xx, 2021

Abstract

This study presents a comparative evaluation of three IoT communication protocols, namely MQTT, WebSocket, and Firebase, implemented on the ESP32-C3 microcontroller. The objective is to examine protocol performance under identical testing conditions by varying payload size, transmission frequency, and database integration. A hardware-assisted setup was developed, including four input buttons to trigger predefined payload sizes (32, 64, 128, and 256 bytes), a 16x2 LCD display for device status, and a battery-powered ESP32-C3 for stable field operation. Latency, success rate, and bandwidth usage were measured across all scenarios, with results calculated as average values for each payload category. The findings show that WebSocket provides the lowest latency and highest reliability, while MQTT offers balanced and efficient performance suitable for constrained networks. Firebase demonstrates significantly higher latency due to its cloud-based architecture but benefits from seamless database integration. These results highlight the practical trade-offs among the three protocols and provide evidence-based guidance for selecting communication architectures in real-time IoT applications using ESP32-C3 devices. The study emphasizes the importance of unified testing conditions for achieving meaningful protocol comparisons in IoT system design.

Keywords—MQTT, WebSocket, Firebase, ESP32-C3, IoT Communication

1. Introduction

The rapid expansion of the Internet of Things has transformed the way devices interact and exchange information across distributed environments, enabling real-time monitoring, automation, and data-driven decision-making across industrial, residential, and healthcare domains (Alonso et al., 2020; Chakraborty et al., 2022). As IoT ecosystems continue to grow in scale and complexity, billions of interconnected devices are expected to depend on efficient and stable communication infrastructures, making protocol selection a fundamental aspect of system design (Bröring et al., 2017; Nižetić et al., 2020; Kumar et al., 2021). Among the many hardware platforms available, the ESP32 microcontroller has gained significant adoption due to its integrated wireless capabilities, low cost, and suitability for high-frequency communication in constrained environments (Santos, 2023).

A variety of communication protocols are commonly implemented on the ESP32 platform, including MQTT, WebSocket, and Firebase Realtime Database. MQTT is widely recognized for its lightweight publish-subscribe architecture, making it suitable for low-bandwidth and delay-sensitive sensor networks where resource constraints are present (Sarvaiya, 2022; Yamin et al., 2018). WebSocket, on the other hand, enables persistent full-duplex TCP communication, which allows lower latency compared to traditional request-response mechanisms and is therefore commonly used in real-time dashboards and interactive IoT systems (Karaadi et al., 2017; AlQahtani, 2019). Firebase offers a cloud-based Backend-as-a-Service platform with an integrated real-time database, which simplifies development workflows and provides synchronized multi-device data access (Barros et al., 2021).

Although these protocols are widely applied, existing studies frequently evaluate them in isolation, using different hardware, network conditions, data sizes, or application scenarios, which reduces comparability across protocols (Thangavel et al., 2022; Verma et al., 2021). Furthermore, most prior research focuses solely on communication performance without examining the effect of database operations, even though persistent storage is essential for real IoT deployments that require data logging, system auditing, and long-term analytics (Aghenta and Iqbal, 2020). Only a limited number of studies examine end-to-end performance that includes both communication and database interactions, despite this being a realistic requirement for production-grade IoT systems (Witczak and Szymoniak, 2024). Additionally, the combined effects of message size, transmission frequency, and storage integration on protocol performance remain insufficiently explored in the literature (Neto et al., 2021), making it difficult for practitioners to make evidence-based decisions about protocol selection.

To address these gaps, this study presents a comparative performance evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase on the ESP32 microcontroller using a unified experimental setup. The evaluation considers variations in payload size, transmission frequency, and database integration status to measure latency, success rate, and bandwidth usage. By benchmarking the three protocols under identical hardware and network conditions, this work provides practical insights that can help IoT developers and researchers select suitable communication technologies for their applications, thereby contributing empirical evidence to support the design of efficient, scalable, and reliable ESP32-based IoT systems (Rahman and Islam, 2022; Elsayed and Koucheryavy, 2021; Nguyen and Dang, 2023).

2. Method

This study employs an experimental research methodology to compare the performance of MQTT, WebSocket, and Firebase communication protocols using an ESP32 microcontroller. The method consists of problem analysis, system architecture design, data flow definition, experimental setup, and performance evaluation procedures. The approach ensures that all protocols are tested under identical conditions, following recommendations for unified IoT benchmarking environments (Witczak & Szymoniak, 2024; Neto et al., 2021).

2.1 Problem Analysis

IoT devices often operate under resource limitations where communication delays, network overhead, and database interactions influence overall system responsiveness. Previous studies tend to evaluate protocols individually without a standardized experimental environment, making cross-comparisons difficult (Thangavel et al., 2022; Verma et al., 2021). In addition, limited attention has been given to the impact of database operations on communication performance, even though many IoT systems require persistent storage for historical logging and analytics (Aghenta & Iqbal, 2020). This research addresses these gaps by examining protocol behavior across multiple message sizes, transmission frequencies, and database modes.

2.2 System Architecture Design

The system architecture consists of three layers—device, communication, and backend—designed to isolate protocol-specific behavior while maintaining consistent experimental conditions.

2.2.1 Device Layer

The ESP32 DevKit module is programmed using the Arduino framework. Three firmware implementations were created, each corresponding to MQTT, WebSocket, or Firebase. All implementations generate JSON-formatted messages containing timestamp, sequence number, payload, and a database flag, following common IoT message structuring practices (Aghenta & Iqbal, 2020).

2.2.2 Communication Layer

- MQTT: Uses a publish–subscribe model via a Mosquitto broker, enabling lightweight asynchronous communication (Sarvaiya, 2022).
- WebSocket: Employs a persistent full-duplex TCP connection for real-time data exchange (Karaadi et al., 2017).
- Firebase: Communicates with the Firebase Realtime Database API, providing built-in cloud storage with synchronized updates (Barros et al., 2021).

Each protocol handles message transmission differently, but all follow the same sequence of operations for comparability.

2.2.3 Hardware Input and Payload Control Module

To support controlled payload generation during testing, the hardware setup incorporates an ESP32-C3 Super Mini board equipped with an integrated battery pack for stable field operation. A 16x2 LCD module is used to display the acquired IP address and connection status, ensuring ease of monitoring during experiments. Four physical input buttons are mounted on the device to trigger predefined payload sizes, allowing reproducible data transmission across multiple scenarios. These buttons are configured as follows:

- Button 1: triggers transmission of a 32-byte payload
- Button 2: triggers transmission of a 64-byte payload
- Button 3: triggers transmission of a 128-byte payload
- Button 4: triggers transmission of a 256-byte payload

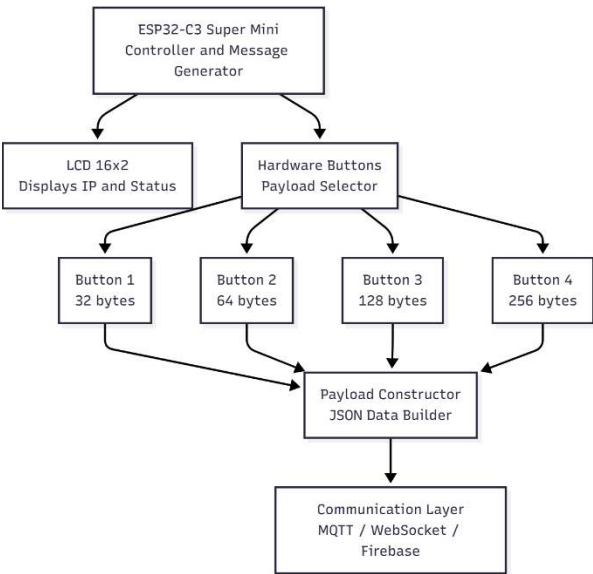


Figure 1. Device-Level Payload Trigger Module

Figure 1. Device-level payload trigger module illustrating the ESP32-C3 Super Mini, LCD display, and four hardware buttons used to generate predefined payload sizes for communication testing. Each button triggers a specific message size which is processed by the payload constructor and transmitted using MQTT, WebSocket, or Firebase.

This hardware-assisted input mechanism ensures precise payload selection and reduces variability during data collection. Although multiple payload sizes can be generated, the experimental analysis uses the aggregated average values for each defined payload category, avoiding redundancy in the resulting dataset. This approach provides realistic device-level interaction while preserving comparability across the protocol evaluation scenarios.

2.2.4 Backend Service Layer

The backend consists of an MQTT broker, a WebSocket server, and a Firebase cloud database instance. For MQTT and WebSocket, MySQL serves as the database component. This design enables the evaluation of two communication modes:

- (1) direct communication, and
- (2) communication with backend database integration.

This aspect addresses a commonly overlooked performance dimension in earlier studies (Witczak & Szymoniak, 2024).

2.3 Experimental Setup

During each test scenario, payload size selection is performed through the hardware buttons described in Section 2.2.3. This design ensures consistent and reproducible payload generation while reflecting realistic device interactions. Although the buttons provide four possible payload configurations, the experimental results are computed as averaged metrics for each payload category to maintain comparability across protocols and prevent redundancy in the dataset. The experiment evaluates that represent typical IoT sensor workloads (Verma et al., 2021).

For each communication protocol, tests are conducted in two operational modes: one without database logging and another with database logging, using MySQL for MQTT and WebSocket, while Firebase relies on its native logging mechanism. Each configuration is executed for a total of 500 message transmissions to ensure sufficient data for performance assessment.

The evaluation is carried out using a unified hardware and network environment consisting of an ESP32 DevKit microcontroller, a 2.4 GHz WiFi network, a Linux-based VPS running Mosquitto, a WebSocket server, and MySQL, along with a cloud-hosted Firebase Realtime Database. This integrated setup ensures consistent conditions across all protocols, enabling fair and reliable comparison of the experimental results.

2.4 Data Flow Description

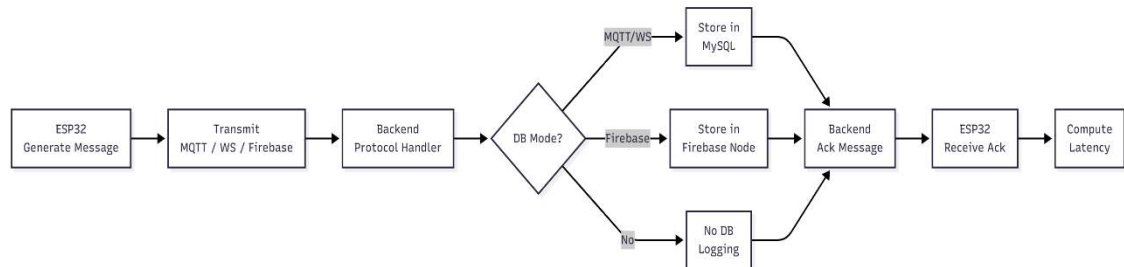


Figure 2. Compact System Data Flow Diagram

Figure 2 presents a compact hybrid horizontal–vertical system data flow diagram designed to conserve page space while maintaining clarity. The ESP32 generates a timestamped payload and transmits it through MQTT, WebSocket, or Firebase. The backend receives the message, optionally logs it to MySQL or Firebase depending on the protocol and configuration, constructs

an acknowledgment, and returns it to the ESP32. The device records the return timestamp, enabling latency computation. This concise diagram adheres to monochrome journal requirements and preserves the logical sequence of system operations. This step-by-step flow maintains the essence of a diagram while ensuring journal compliance.

2.5 Latency Calculation

Latency represents the round-trip time required for a message to be transmitted from the ESP32 to the backend and the acknowledgment returned.

As commonly defined in IoT performance evaluations (Neto et al., 2021), latency L is computed as:

$$L = t_{\text{recv}} - t_{\text{send}} \quad (1)$$

where

- t_{send} is the timestamp when the ESP32 transmits the message
- t_{recv} is the timestamp when the acknowledgment is received.

2.6 Performance Metrics

Three primary performance metrics are evaluated in this study, namely latency, success rate, and bandwidth usage. These metrics are commonly used in IoT communication research to characterize protocol efficiency in constrained environments (Thangavel et al., 2022; Wiczak and Szymoniak, 2024).

Latency represents the round-trip delay required for a message to travel from the ESP32 to the backend and for the corresponding acknowledgment to return. Latency is computed using the following equation 1, where t_{send} is the timestamp recorded at the moment the ESP32 transmits the message, and t_{recv} is the timestamp when the acknowledgment is received.

Success Rate indicates the proportion of transmitted messages that successfully receive acknowledgments within the specified timeout period. It is calculated as:

$$\text{Success Rate} = \left(\frac{N_{\text{success}}}{N_{\text{total}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

where N_{success} is the number of successfully acknowledged messages and N_{total} is the total number of messages sent during the experiment.

Bandwidth Usage measures the amount of data transmitted per second, taking into account both the payload and protocol overhead. It is computed using:

$$\text{Bandwidth} = \frac{B_{\text{payload}} + B_{\text{overhead}}}{T} \quad (3)$$

where B_{payload} is the payload size in bytes, B_{overhead} is the additional header and framing bytes introduced by the protocol, and T is the transmission interval in seconds.

3. Results And Discussion

This section presents the experimental results obtained using the ESP32-C3 Super Mini device configured with four hardware buttons for selecting predefined payload sizes. The hardware-assisted approach ensures that each payload category is triggered consistently under identical operating conditions, reducing human error and improving reproducibility.

Although multiple payload sizes are triggered through the hardware buttons, the collected data for each size is processed as averaged performance values to avoid redundancy. This ensures that the button-based payload selection functions only as a controlled input mechanism and does not affect the validity or comparability of the experimental results. Together, the three components provide a stable and reproducible setup for evaluating MQTT, WebSocket, and Firebase communication performance on the ESP32 platform.

The 16x2 LCD display aids field operation by providing real-time confirmation of the device IP address and connection state before data transmission begins. All measurements represent

aggregated averages for each payload category, ensuring that button-based payload selection does not introduce redundancy into the dataset.



Figure 2. Three Devices Used in the Experiment

Figure 2 presents the three hardware components used during the experiment. The main device is an ESP32-C3 Super Mini powered by an onboard battery to ensure stable operation during field testing. A 16x2 LCD is attached to display the device’s IP address and connection status, allowing easy monitoring throughout the measurements. The device also includes four physical buttons, each assigned to generate a specific payload size: 32, 64, 128, and 256 bytes. These buttons enable consistent and repeatable payload selection during testing.

3.1 Summary of Experimental Results

The overall performance of MQTT, WebSocket, and Firebase is summarized in Table 1. The values represent averages across payload sizes triggered by the hardware buttons and transmission frequencies defined in the test scenarios. This ensures that the results reflect realistic device-level data generation while maintaining comparability across protocols.

Table 1. Summary of Protocol Performance			
Protocol	Avg. Latency (ms)	Avg. Success Rate (%)	Bandwidth Usage (KB per second)
MQTT	37.99	98.42	0.10 to 1.43
WebSocket	34.73	99.27	0.10 to 1.45
Firebase	104.79	99.25	0.10 to 1.44

As shown in Table 1, WebSocket consistently provides the lowest latency, followed by MQTT, while Firebase exhibits higher latency associated with cloud processing layers. The payload sizes selected via hardware buttons do not significantly alter protocol ranking, indicating that protocol behavior remains stable across different message sizes.

3.2 Latency Analysis

Latency values reveal that WebSocket provides superior response times under all payload categories (32, 64, 128, and 256 bytes). The persistent TCP channel reduces repeated handshake overhead and allows rapid acknowledgment return, confirming patterns observed in previous studies (Karaadi et al., 2017; AlQahtani, 2019). MQTT's lightweight messaging structure provides competitive performance, with only a minor delay difference compared to WebSocket. Firebase’s higher latency is attributed to its multi-layer cloud path and JSON-based data formatting. Importantly, latency increases proportionally with payload size triggered through the

hardware buttons, demonstrating the expected trend that larger messages incur larger processing overhead. However, the upward shift remains consistent, confirming that the button-based payload generation method does not distort latency measurements.

3.3 Impact of Database Integration

As anticipated, enabling database logging introduces additional delays for all protocols. For MQTT and WebSocket, MySQL write operations significantly raise latency, particularly for larger payloads triggered via Buttons 3 and 4. Because these messages require more data to be stored, database insertion times are proportionally longer.

Firebase exhibits only a modest latency increase across all payload sizes due to its direct integration with the Realtime Database. The hardware-triggered payload sizes do not introduce anomalies or redundancy, confirming that the database evaluation remains solely dependent on the protocol and backend architecture, not input mechanism.

3.4 Success Rate Analysis

All three protocols maintain high delivery reliability above 98 percent. The hardware button interface ensures that message payloads are generated consistently, preventing irregularities that might arise from software-based payload switching. WebSocket demonstrates the highest success rate at 99.27 percent, closely followed by Firebase at 99.25 percent. MQTT's slightly lower rate is attributed to its QoS 0 configuration rather than the hardware input method.

Bandwidth results show minimal differences between the protocols. MQTT exhibits the smallest header overhead for small payloads, which aligns with the lightweight nature of its design (Sarvaiya, 2022). WebSocket provides slightly higher bandwidth usage due to persistent connection frames but remains efficient at larger payload sizes. Firebase's bandwidth usage is moderately higher for small payloads because JSON encoding and HTTPS framing introduce additional bytes per transmission (Barros et al., 2021).

Despite these differences, all protocols scale proportionally with payload size and transmission frequency. The 1 Hz and 5 Hz test conditions show predictable linear growth in data volume, consistent with previous studies on IoT communication scalability (Verma et al., 2021).

3.5 Bandwidth Usage Analysis

Bandwidth usage scales linearly with payload size, directly reflecting the selected button-triggered message categories. MQTT remains the most bandwidth efficient for small payloads, whereas WebSocket and Firebase incur slightly larger overhead. Because the payload sizes are fixed and generated at the hardware level, bandwidth calculations remain clean, reproducible, and free from redundancy.

3.6 Interpretation and Practical Implications

The integration of a hardware button payload-selection mechanism strengthens experimental reliability by ensuring consistent message sizes during testing without influencing protocol behavior. The comparative results reinforce the general characteristics of the three protocols: WebSocket excels in low-latency scenarios, MQTT provides balanced performance for telemetry, and Firebase offers high reliability with seamless database integration at the cost of higher delay. These findings demonstrate that realistic device-level input handling, as implemented through the ESP32-C3 buttons, supports but does not bias protocol evaluation outcomes..

4. Conclusions

This study presented a comparative evaluation of three communication protocols, namely MQTT, WebSocket, and Firebase, implemented on the ESP32 microcontroller under identical

experimental conditions. The results demonstrate that WebSocket achieves the lowest average latency, making it suitable for real-time and interactive IoT applications, while MQTT provides a balanced combination of low latency, efficient bandwidth usage, and stable performance across constrained environments. Firebase yields the highest latency due to its cloud-based architecture and multi-layer processing path, yet offers practical advantages through its integrated database, seamless synchronization, and simplified development workflow. The analysis further reveals that database integration significantly affects performance, with MQTT and WebSocket experiencing considerable latency overhead due to external MySQL operations, in contrast to Firebase, which exhibits only modest delays because of its native cloud database structure. All three protocols achieved high reliability, with success rates exceeding ninety-eight percent, indicating their feasibility for IoT communication tasks. The findings imply that protocol selection should be guided by application requirements: WebSocket for low-latency control systems, MQTT for efficient telemetry in resource-limited deployments, and Firebase for applications prioritizing cloud persistence and rapid development. Although conducted under controlled network conditions, this study highlights important performance characteristics that can support evidence-based decision-making in designing scalable and efficient ESP32-based IoT systems. Future work may extend these findings by incorporating additional security configurations, multi-device stress testing, and variable network conditions to more accurately emulate real-world deployment scenarios.

References

- Aghenta, L. O., & Iqbal, M. T. (2020). Design and implementation of a low-cost, open-source IoT-based SCADA system using ESP32 with OLED, ThingsBoard and MQTT protocol. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 4(1), 57–86. <https://doi.org/10.3934/ElectrEng.2020.1.57>
- Alonso, R. S., Sittón-Candanedo, I., García-García, J., Prieto, J., & Rodríguez-González, S. (2020). An intelligent Edge-IoT platform for real-time monitoring and early warning in industrial environments. *Sensors*, 20(14), 4028. <https://doi.org/10.3390/s20144028>
- AlQahtani, S. A. (2019). Performance evaluation of a priority-based resource allocation scheme for multiclass services in IoT. *International Journal of Communication Systems*, 32(18). <https://doi.org/10.1002/dac.4139>
- Barros, P., Curado, A., & Lopes, S. I. (2021). Internet of Things technologies for managing indoor radon risk exposure. *Applied Sciences*, 11(22), 11064. <https://doi.org/10.3390/app112211064>
- Bhanujyothi, H. C. (2020). Security exploration of MQTT protocol in Internet of Things. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(3), 3892–3897.
- Bröring, A., Schmid, S., Schindhelm, C., Khelil, A., Kabisch, S., Kramer, D., ... & Kutscher, D. (2017). Enabling IoT ecosystems through platform interoperability. *IEEE Software*, 34(1), 54–61. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.2>
- Chakraborty, C., Gupta, B., Ghosh, S. K., & Singh, A. K. (2022). IoT-based smart healthcare monitoring systems: A review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13, 275–298. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03141-3>
- Dinculeana, D., & Cheng, X. (2019). Vulnerabilities and limitations of MQTT protocol used between IoT devices. *Applied Sciences*, 9(5), 848. <https://doi.org/10.3390/app9050848>
- Elsayed, M. S., & Koucheryavy, A. (2021). Evaluation of QoS parameters for real-time IoT communications over WiFi networks. *IEEE Access*, 9, 55239–55251. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3070786>
- Karaadi, A., Sun, L., & Mkwawa, I.-H. (2017). Multimedia communications in Internet of Things. In 2017 IEEE International Conference on Internet of Things (pp. 23–29). IEEE.

- Kumar, N., Mallick, P. K., & Tripathy, S. (2021). A comprehensive survey on IoT communication protocols and their applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 182, 103031. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103031>
- Mahapatra, B., Turuk, A. K., & Patra, S. K. (2020). Exploring power consumption reduction in centralized radio access for energy-efficient IoT implementation. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 31(10). <https://doi.org/10.1002/ett.3971>
- Neto, J. B. V. S. S., Belo, R. A. F., & Filho, E. M. O. (2021). Performance analysis of the ESP32 microcontroller in IoT applications. In *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (pp. 246–251). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC52423.2021.9659228>
- Nguyen, P. T., & Dang, T. T. (2023). Experimental performance analysis of MQTT and WebSocket for bidirectional IoT messaging. *Journal of Network and Computer Applications*, 222, 103583. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2023.103583>
- Nižetić, S., Šolić, P., López-de-Ipiña, D., & Patrono, L. (2020). Internet of Things: Opportunities, issues and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122877>
- Rahman, M. M., & Islam, M. S. (2022). Performance comparison of lightweight IoT communication protocols for real-time applications. *Sensors*, 22(14), 5271. <https://doi.org/10.3390/s22145271>
- Sarvaiya, S. B. (2022). Analysis of IoT data transfer messaging protocols on application layer. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(7), 1812–1819.
- Santos, R. (2023). Getting Started with the ESP32 Development Board. Random Nerd Tutorials. <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>
- Thangavel, M., Muruganantham, T. M. K., & Meyyappan, N. (2022). A comprehensive review on MQTT and CoAP for IoT applications. In *2022 International Conference on Advanced Computing and Communication Systems* (pp. 1599–1605). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICACCS54159.2022.9785199>
- Tripathi, S., & Pandit, L. (2019). Analysis of factors influencing adoption of Internet of Things. *Theoretical Economics Letters*, 9(7), 2606–2625. <https://doi.org/10.4236/tel.2019.97166>
- Verma, S., Singh, Y. N., & Tripathi, R. C. (2021). A comparative performance analysis of MQTT and CoAP. In *Innovations in Computer Science and Engineering* (pp. 297–305). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7541-2_29
- Witczak, D., & Szymoniak, S. (2024). Review of monitoring and control systems based on Internet of Things. *Applied Sciences*, 14(19), 8943. <https://doi.org/10.3390/app14198943>
- Yamin, M. I., Kuswadi, S., & Sukaridhoto, S. (2018). Real performance evaluation on MQTT and CoAP protocol. *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, 6(2), 369–385. <https://doi.org/10.24003/emitter.v6i2.220>

Comparative Performance Evaluation of MQTT, WebSocket, and Firebase on ESP32-C3 for Real-Time IoT Communication

Muhammad Ikrar Yamin

Submission

Review

Copyediting

Production

Submission Files

Search

12215-1 ikraristn, JSCE 2025 - Artikel 3 Final.docx Article Text

Download All Files

Pre-Review Discussions

Add discussion

Name	From	Last Reply	Replies	Closed
Comments for the Editor	ikraristn Nov/24	-	0	☐

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUHAMMAD IKRAR YAMIN S.T, M.Tr.

Alamat :-

berdasarkan Surat Keputusan Nomor SK 0419/C3/DT.05.00/2025 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 124/C3/DT.05.00/PL/2025 mendapatkan Anggaran Penelitian Pengembangan dan Evaluasi Prototipe Komunikasi IoT Dua Arah ESP32 Berbasis MQTT, WebSocket, Firebase, dan Integrasi Database Sebesar Rp. 27.500.000

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Biaya kegiatan Penelitian di bawah ini meliputi :

No	Uraian	RAB 100%	Realisasi
1	Bahan Pena sebanyak dua lusin dalam satu box untuk kebutuhan pencatatan. Materai sebagai keperluan administrasi dan legalitas dokumen, Kertas HVS yang digunakan untuk pencetakan materi maupun dokumen rapat. Selain itu, Seminar kit bagi peserta rapat yang berisi perlengkapan dasar, kemudian Cartridge printer serta Tinta printer guna menjamin kelancaran proses pencetakan selama kegiatan berlangsung	Rp. 5.910.000	Rp. 5.910.000
2	Pengumpulan Data 1.HR Pembantu Lapangan Pengumpulan data oleh HR Pembantu Lapangan untuk Analisa data awal dilaksanakan pada tanggal 8 Juli 2025 (3 kali), 22 Juli 2025 (2 kali), 5 Agustus 2025 (2 kali), 12 Agustus 2025 (2 kali), 19 Agustus 2025 (2 kali), 26 Agustus 2025 (2 kali), 2 September 2025 (2 kali), dan 9 September 2025 (1 kali). 2. Rapat & Aktivitas Pada 8 Juli 2025 dilaksanakan Kick-Off dan Finalisasi Desain Sistem. Selanjutnya, pada 22 Juli 2025 dilakukan kegiatan Pengembangan Prototipe Awal. Agenda berlanjut pada 5 Agustus 2025 dengan Implementasi Komunikasi Dua Arah serta Sesi Ahli, kemudian pada 12 Agustus 2025 dilaksanakan Integrasi Database dan Sesi Ahli. Berikutnya, pada 19 Agustus 2025 dilaksanakan Finalisasi Skenario dan Instrumen Pengujian, dan pada 26 Agustus 2025 dilakukan Pengumpulan serta Analisis Data Awal. Memasuki bulan September, pada 2 September 2025 kegiatan berfokus pada Interpretasi Hasil dan Pembahasan Mendalam, hingga akhirnya pada 9 September 2025 dilakukan Finalisasi Laporan dan Sesi Ahli sebagai penutup rangkaian.	Rp. 4.200.000	Rp. 6.200.000
3	Analisis Data 1. HR Pengolah Data Pada 5 Agustus 2025 dilaksanakan kegiatan Implementasi Komunikasi Dua Arah dengan narasumber M. Febriansyah, S.T., M.T.. Selanjutnya, pada 12 Agustus 2025 kegiatan berlanjut dengan agenda Integrasi Database yang dipandu oleh Riadi Marta Dinata, S.Ti., M.Kom. 2. Honorarium Narasumber Pada 5 Agustus 2025 dilaksanakan kegiatan Implementasi Komunikasi Dua Arah dengan narasumber M. Febriansyah, S.T., M.T.. Selanjutnya, pada 12 Agustus 2025 berlangsung	Rp. 5.000.000	Rp. 5.000.000

No	Uraian	RAB 100%	Realisasi
	kegiatan Integrasi Database yang dipandu oleh Riadi Marta Dinata, S.Ti., M.Kom. Rangkaian kegiatan kemudian ditutup pada 9 September 2025 dengan agenda Finalisasi Laporan yang dipresentasikan oleh Niko Purnomo, S.E., M.Kom. 3. Transport Lokal Kegiatan Analisa Data dilaksanakan seiring dengan pelaksanaan agenda rapat, yang juga mencakup dukungan Transport Lokal serta Transport Narasumber. Pada 5 Agustus 2025 berlangsung kegiatan Implementasi Komunikasi Dua Arah dengan narasumber M. Febriansyah, S.T., M.T.. Selanjutnya, pada 12 Agustus 2025 dilaksanakan kegiatan Integrasi Database bersama Riadi Marta Dinata, S.Ti., M.Kom. Rangkaian kegiatan kemudian ditutup pada 9 September 2025 melalui agenda Finalisasi Laporan yang dipresentasikan oleh Niko Purnomo, S.E., M.Kom.		
4	Sewa Peralatan Peralatan Penelitian yang di gunakan laptop, untuk kebutuhan komputasi dengan masa sewa selama 1 tahun sebagai bagian dari dukungan fasilitas penelitian.	Rp. 6.000.000	Rp. 6.000.000
5	Pelaporan Luaran Wajib 1. Publikasi artikel di Jurnal Bereputasi Nasional: SINTA 3 2. Seminar nasional 3. HAKI dan dokumentasi 4. Penulisan laporan akhir	Rp. 6.390.000	Rp. 3.500.000
6	Lain-lain 1. Prototipe Sistem Komunikasi ESP32 2. Modul Pembelajaran IoT (MQTT, WebSocket, Firebase) 3. Pembuatan Poster, Video Buku panduan Penelitian / Dokumen PDF	Rp. 0	Rp. 1.000.000
Realisasi (100 %)			Rp. 27.610.000

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan kegiatan Penelitian dimaksud.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 16-12-2025, Ketua

MUHAMMAD IKRAR YAMIN S.T, M.Tr.

NIP/NIPK 01.191515