

Analisis *Quality Of Service* Pada *Esp-Now* Dan *Mqtt* Pada Sistem *Monitoring* Dan *Data Logger* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro Di Lentera Bumi Nusantara

Ragil Alifi Zakaria ¹, Asep Andang ², dan Firmansyah Maulana Sugiartana Nursuwars ³

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi; email : 207002058@student.unsil.ac.id

² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi; email : andhangs@unsil.ac.id

³ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi; email : firmansyah@unsil.ac.id

* Penulis Korespondensi : Ragil Alifi Zakaria ; email : 207002058@student.unsil.ac.id

Abstract: *This study analyses Quality of Service (QoS) in a micro-scale wind power plant (WPP) monitoring and data logger system at Lentera Bumi Nusantara, which integrates ESP-NOW and MQTT communication protocols based on ESP32. The system consists of two transmitter nodes that send wind speed data and voltage and current data to the receiver node. Local communication between devices uses ESP-NOW, while data transmission to the monitoring system dashboard and data logger is carried out via the MQTT protocol with HiveMQ broker. The QoS parameters analysed include latency, jitter, and packet loss. The results of the study indicate that the ESP-NOW protocol performs very well, with an average latency of 2,1 ms for the wind speed transmitter and 2,35 ms for the voltage and current transmitter. an average jitter of 1,3 ms on the wind speed transmitter and 1,5 ms on the voltage and current transmitter, as well as a packet loss of 0.2% on the wind speed transmitter and 0% on the voltage and current transmitter. Meanwhile, the MQTT protocol showed an average latency of 223,1 ms, jitter of 73,2 ms, and average packet loss of 0,5%. Although MQTT has higher latency and jitter than ESP-NOW, its performance is still within acceptable limits for real-time monitoring systems with a 1-second acquisition interval. These results indicate that the monitoring system is capable of displaying real-time data with a 1-second data acquisition interval because the latency and jitter are still below 1 second, while there is still potential for data loss below 1% in data recording requirements.*

Keywords: *monitoring system; data logger system; QoS; ESP-NOW; MQTT; ESP32; IoT*

Abstrak: Penelitian ini menganalisis Quality of Service (QoS) pada sistem *monitoring* dan *data logger* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala mikro di Lentera Bumi Nusantara yang mengintegrasikan protokol komunikasi ESP-NOW dan MQTT berbasis ESP32. Sistem terdiri atas 2 *node transmitter* yang mengirimkan data kecepatan angin serta data tegangan dan arus menuju *node receiver*. Komunikasi lokal antar perangkat menggunakan ESP-NOW, sedangkan pengiriman data ke dashboard sistem *monitoring* dan *data logger* dilakukan melalui protokol MQTT dengan *broker* cloud HiveMQ. Parameter QoS yang dianalisis meliputi *latency*, *jitter*, dan *packet loss*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol ESP-NOW memiliki performa sangat baik dengan rata-rata *latency* sebesar 2,31 ms pada *transmitter* kecepatan angin dan 2,35 ms pada *transmitter* tegangan & arus, rata-rata *jitter* pada *transmitter* kecepatan angin 1,3 ms dan 1,5 ms pada *transmitter* tegangan & arus, serta *packet loss transmitter* kecepatan angin 0,2% dan *packet loss transmitter* tegangan dan arus 0%. Sementara itu, protokol MQTT menunjukkan rata-rata *latency* sebesar 223,1 ms, *jitter* sebesar 73,2 ms, dan *packet loss* rata-rata 0,5%. Meskipun MQTT memiliki *latency* dan *jitter* lebih tinggi dibanding ESP-NOW, kinerjanya masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk sistem *monitoring* real-time dengan interval akuisisi 1 detik. Hasil ini menunjukkan sistem *monitoring* mampu menampilkan data real-time interval akuisisi data 1 detik sebab *latency* dan *jitter* masih di bawah 1 detik, sedangkan masih terdapat potensi kehilangan data di bawah 1% dalam kebutuhan perekaman data.

Kata kunci: sistem pemantauan; sistem perekaman data; QoS; ESP-NOW; MQTT; ESP32; IoT

1. Pendahuluan

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia. Letak geografis Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa menyebabkan adanya pergerakan massa udara akibat perbedaan tekanan udara antara belahan

Diterima: February 04, 2026
Direvisi: February 22, 2026
Diterima: March 24, 2026
Diterbitkan: March 28, 2026
Versi sekarang: March 30, 2026



Hak cipta: © 2026 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

bumi utara dan selatan, yang dikenal sebagai angin muson [1]. Kondisi tersebut menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sebagai salah satu alternatif pembangkit listrik yang dapat dikembangkan [2].

Meskipun demikian, karakteristik angin yang bersifat fluktuatif menjadi tantangan utama dalam pengoperasian PLTB. Fluktuasi ini berpengaruh langsung terhadap kestabilan daya listrik yang dihasilkan oleh PLTB [3]. Oleh karena itu, sistem *monitoring* dan *data logger* menjadi komponen penting dalam mendukung evaluasi performa dan analisis karakteristik PLTB secara berkelanjutan.

Lentera Bumi Nusantara merupakan tempat pengembangan, belajar, dan penelitian yang berfokus pada PLTB skala mikro [4]. Untuk mendukung kegiatan penelitian dan pembelajaran, diperlukan sistem *monitoring* yang mampu menampilkan data secara real-time serta sistem *data logger* yang menjamin keutuhan dan kontinuitas data historis [5].

Penelitian sebelumnya telah berhasil merancang kontrol sistem charging pada baterai yang dapat diakses secara jarak jauh dan real-time menggunakan ESP32 di Lentera Bumi Nusantara. Penelitian tersebut berhasil mengukur daya pada proses pengisian baterai dari daya keluaran PLTB skala mikro di Lentera Bumi Nusantara. Namun, penelitian tersebut tidak melakukan pengukuran kecepatan angin untuk mendapatkan korelasi antara kecepatan angin terhadap daya keluaran PLTB skala mikro, dan tidak menganalisis Quality of Service (QoS) pada komunikasi data [6]. Oleh karena itu, penelitian ini menambahkan pengukuran kecepatan angin serta menganalisis QoS pada komunikasi data. Penambahan pengukuran kecepatan angin perlu mempertimbangkan arsitektur sistem yang digunakan agar antara pengukuran kecepatan angin dengan daya keluaran dari PLTB skala mikro dapat terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengaplikasikan protokol komunikasi ESP-NOW pada 2 *node transmitter* pengukuran yang mengirimkan masing-masing data ke *node receiver*. Kemudian penelitian ini juga mengaplikasikan protokol komunikasi MQTT untuk menghubungkan data dari *node receiver* ke dashboard sistem *monitoring* dan *data logger* PLTB pada *Node-RED*.

Dalam sistem *monitoring* dan *data logger*, keandalan komunikasi data menjadi faktor penting untuk menjamin ketepatan waktu dan keutuhan data. Parameter QoS seperti *latency*, *jitter*, dan *packet loss* merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kualitas komunikasi data pada sebuah sistem, khususnya pada aplikasi yang bersifat delay-sensitive [7]. Sistem *monitoring* PLTB dengan interval akuisisi data 1 detik merupakan dalam kategori delay-sensitive. Keutuhan data juga menjadi faktor penting sebab jika terjadi kehilangan data akan merusak analisis [8].

Penelitian ini melakukan eksperimen untuk menganalisis QoS protokol komunikasi ESP-NOW dan MQTT yang diaplikasikan pada sistem *monitoring* dan *data logger* pada PLTB di Lentera Bumi Nusantara untuk menjamin sistem *monitoring* dan *data logger* andal digunakan dengan kondisi medan di site Lentera Bumi Nusantara dan kebutuhan pengukuran dengan penempatan yang fleksibel.

2. Tinjauan Literatur

2.1 Protokol Komunikasi yang Digunakan

2.1.1 ESP-NOW

ESP-NOW merupakan protokol komunikasi *peer-to-peer* yang memungkinkan komunikasi langsung antar perangkat ESP tanpa *access point*. ESP-NOW beroperasi pada pita frekuensi 2,4 GHz dan memanfaatkan teknologi radio IEEE 802.11 untuk komunikasi jarak pendek [9]. ESP-NOW memungkinkan 2 atau lebih perangkat ESP8266, ESP32, ESP32-S, dan ESP32-C saling berkomunikasi secara searah maupun 2 arah tanpa memerlukan jaringan tambahan seperti *access point* atau *router Wi-Fi* [10].

2.1.2 MQTT

MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) merupakan protokol komunikasi ringan yang menggunakan arsitektur *publish-subscribe* dan berjalan di atas protokol TCP/IP [11]. Pada MQTT, proses pengiriman dan penerimaan pesan dipisahkan antara *publisher* dan *subscriber*. *Publisher* mengirimkan pesan ke suatu topic tertentu, sementara *subscriber* menerima pesan dengan cara berlangganan (*subscribe*) pada topik yang sesuai. Sebuah *broker* berperan sebagai perantara yang bertugas menerima, memfilter, dan mendistribusikan pesan dari *publisher* kepada *subscriber* yang memiliki langganan yang cocok. Apabila tidak terdapat *subscriber* yang berlangganan pada topik tertentu, maka pesan yang dikirimkan tidak akan diteruskan kepada klien mana pun [4].

2.2 Parameter Quality of Service (QoS)

Parameter Quality of Service yang digunakan untuk menganalisis kualitas komunikasi ESP-NOW dan MQTT adalah *latency*, *jitter*, dan *packet loss*.

2.2.1 Latency

Latency adalah waktu tunda yang diakibatkan oleh proses transmisi dari satu titik ke titik tujuan [12]. *Latency* dihitung menggunakan persamaan (1) berikut.

$$Latency = \text{waktu terima} - \text{waktu kirim} \tag{1}$$

Kategori indeks *latency* berdasarkan standar TIPHON dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Kategori indeks QoS *latency* berdasarkan TIPHON

Kategori	<i>Latency</i>	Indeks
Sangat Baik	< 150 ms	4
Baik	150 – 300 ms	3
Cukup	300 – 450 ms	2
Kurang Baik	> 450 ms	1

2.2.2 Jitter

Jitter merupakan variasi dalam *latency* antar blok – blok yang berurutan. Besarnya nilai *jitter* akan sangat dipengaruhi oleh variasi beban trafik dan besarnya tumpukan antar paket yang ada dalam jaringan. Semakin besar beban trafik di dalam jaringan maka akan semakin besar juga peluang terjadinya congestion dengan demikian nilai *jitter* akan semakin besar [12]. *Jitter* dapat dihitung menggunakan persamaan (2) berikut.

$$Jitter = \frac{\text{Total variasi latency}}{\text{Total paket data diterima} - 1} \times 100\% \tag{2}$$

Variasi *latency* didapatkan dengan persamaan (3) berikut.

$$\text{Variasi Latency} = (\text{latency } 2 - \text{latency } 1) + (\text{latency } 3 - \text{latency } 2) + \dots + (\text{latency } n - \text{latency } (n - 1)) \tag{3}$$

Kategori indeks *jitter* berdasarkan standar TIPHON dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 kategori indeks QoS *jitter* berdasarkan TIPHON

Kategori	<i>Jitter</i>	Indeks
Sangat Baik	0 ms	4
Baik	0 – 75 ms	3
Cukup	75 – 125 ms	2
Kurang Baik	125 – 225 ms	1

2.2.3 Packet loss

packet loss adalah persentase paket data yang hilang selama masa transmisi dalam mencapai tujuannya. Kegagalan paket dalam mencapai tujuan dapat diakibatkan oleh overload trafik dalam jaringan, tabrakan (*congestion*) dalam jaringan, kegagalan yang terjadi pada sisi penerima yang disebabkan karena *overflow* yang terjadi pada *buffer* [12]. *Packet loss* dapat dihitung menggunakan persamaan (4) berikut.

$$Packet\ loss = \frac{(\text{data terkirim} - \text{data diterima})}{\text{data terkirim}} \times 100\% \tag{4}$$

Kategori indeks *packet loss* berdasarkan standar TIPHON dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

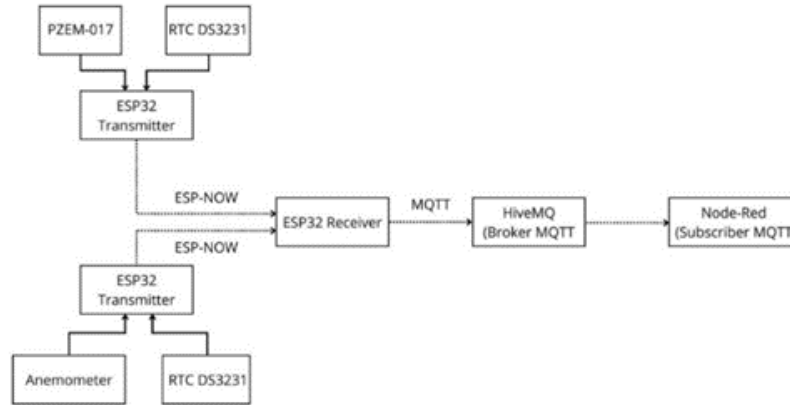
Tabel 3 Kategori indeks QoS *packet loss* berdasarkan TIPHON

Kategori	<i>Packet loss</i>	Indeks
Sangat Baik	0 – 2%	4
Baik	3 – 14%	3
Cukup	15 – 24%	2
Kurang Baik	> 25%	1

3. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis Quality of Service (QoS) pada protokol komunikasi ESP-NOW dan MQTT yang diaplikasikan pada sistem *monitoring* dan *data logger* pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala mikro di Lentera Bumi Nusantara.

3.1 Diagram Blok Sistem *Monitoring* dan *Data logger*

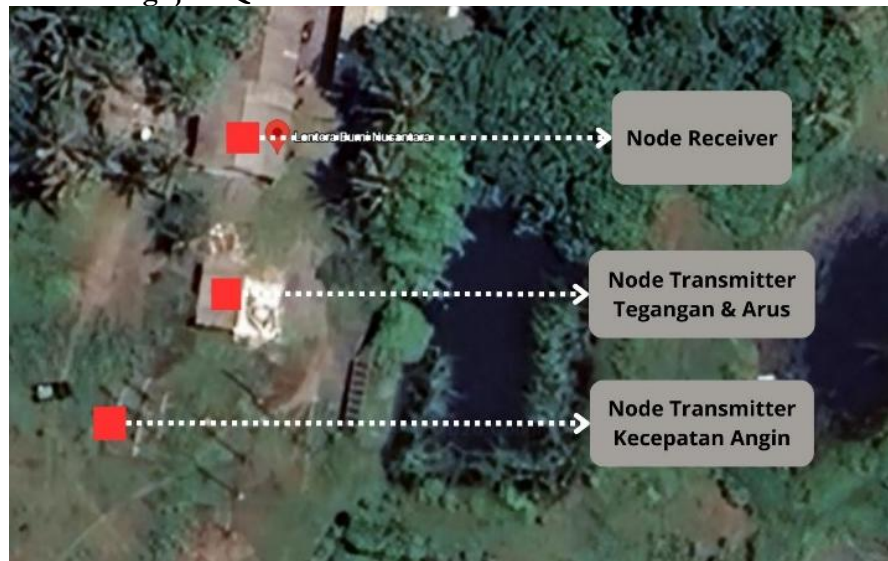


Gambar 1 Blok diagram sistem *monitoring* dan *data logger* pada PLTB skala mikro

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem *monitoring* dan *data logger* pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala mikro di Lentera Bumi Nusantara. Sistem terdiri dari 3 node berbasis ESP32, yaitu 2 *node transmitter* dan 1 *node receiver*. *Node transmitter* pertama digunakan untuk pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer, sedangkan *node transmitter* kedua digunakan untuk pengukuran tegangan dan arus keluaran generator menggunakan sensor PZEM-017. Masing-masing *node transmitter* dilengkapi dengan modul RTC DS3231 untuk pencatatan waktu pengukuran.

Kedua *node transmitter* mengirimkan data kecepatan angin, tegangan, dan arus ke *node receiver* menggunakan protokol komunikasi ESP-NOW secara periodik setiap 1 detik. Selanjutnya, *node receiver* berfungsi sebagai gateway yang meneruskan data hasil pengukuran ke *broker MQTT* (*HiveMQ*) melalui jaringan internet. Data yang dikirimkan ke *broker MQTT* kemudian diterima oleh *Node-RED* sebagai *subscriber* untuk keperluan *monitoring* dan perekaman data.

3.2 Skenario Pengujian QoS



Gambar 2 titik penempatan *node transmitter* dan *receiver* di area site Lentera Bumi Nusantara



Gambar 3 *node transmitter* kecepatan angin penempatan di tiang *anemometer*

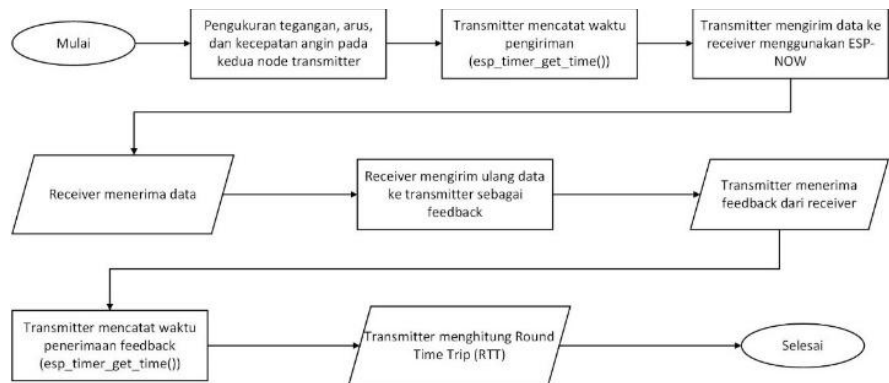


Gambar 4 *node transmitter* tegangan dan arus penempatan di *battery station*



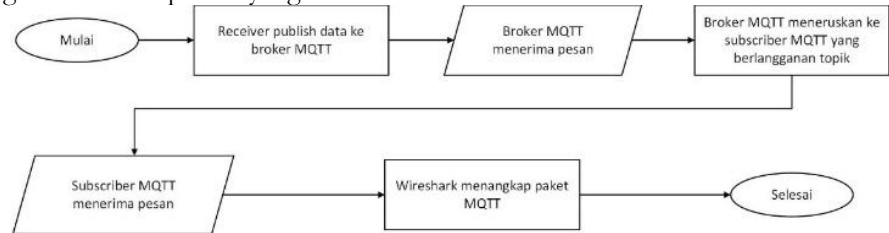
Gambar 5 *node receiver* penempatan di area *router Wi-Fi*

Penelitian bertempat di Lentera Bumi Nusantara. Penelitian dilakukan dengan menganalisis *latency*, *jitter*, dan *packet loss* ESP-NOW dan MQTT dengan penempatan *node transmitter* dan *node receiver* seperti pada gambar 2. Penempatan *node transmitter* kecepatan angin dapat dilihat pada gambar 3, penempatan *node transmitter* tegangan dan arus dapat dilihat pada gambar 4, penempatan *node receiver* dapat dilihat pada gambar 5. Jarak dari *node transmitter* kecepatan angin ke *node receiver* adalah 35 m, sedangkan jarak *node transmitter* tegangan & arus ke *node receiver* adalah 18 m. Pengujian dilakukan selama 300 detik dengan pengulangan pengujian sebanyak 10 kali.



Gambar 6 Diagram alir pengujian QoS ESP-NOW

Proses pengujian QoS ESP-NOW dapat dilihat pada gambar 6, dilakukan dengan mengirimkan data dari *node transmitter* ke *node receiver* menggunakan protokol ESP-NOW. *Transmitter* mencatat waktu pengiriman data, kemudian *receiver* mengirim ulang data yang diterima sebagai feedback. Setelah feedback diterima kembali oleh *transmitter*, waktu penerimaan dicatat dan selisih waktu antara pengiriman dan penerimaan digunakan untuk menghitung *round trip time* (RTT) sebagai dasar analisis *latency* dan *jitter*. Kemudian *packet loss* dihitung berdasarkan packet yang berhasil diterima oleh *node receiver*.

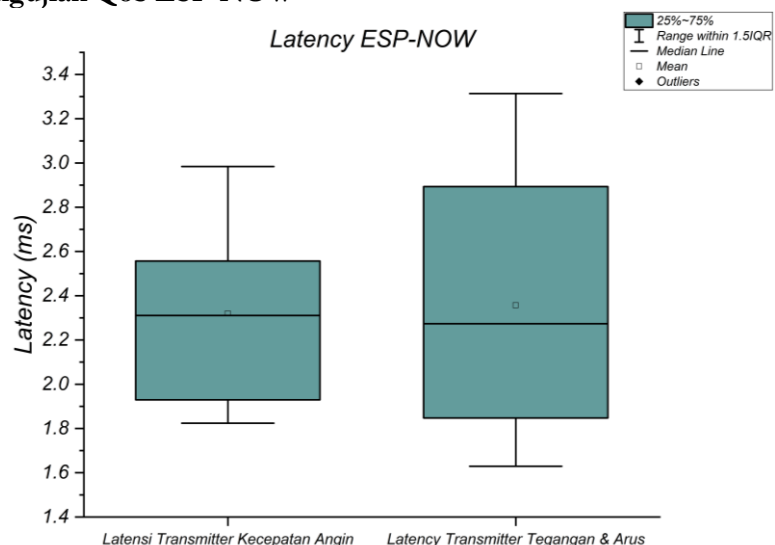


Gambar 7 Diagram alir pengujian QoS MQTT

Proses pengujian QoS MQTT dapat dilihat pada gambar 7, dilakukan menggunakan perangkat lunak *Wireshark* untuk menangkap lalu lintas paket MQTT pada sisi *subscriber*. Data sensor dikirimkan oleh *node receiver* melalui mekanisme publish ke *broker cloud MQTT*, kemudian diteruskan ke *subscriber*. Parameter *latency* didapatkan dari selisih waktu antara paket berhasil terpublish dan paket yang diterima oleh *subscriber*, sedangkan *jitter* dihitung dari variasi *latency* antar paket dan *packet loss* ditentukan berdasarkan jumlah paket yang hilang.

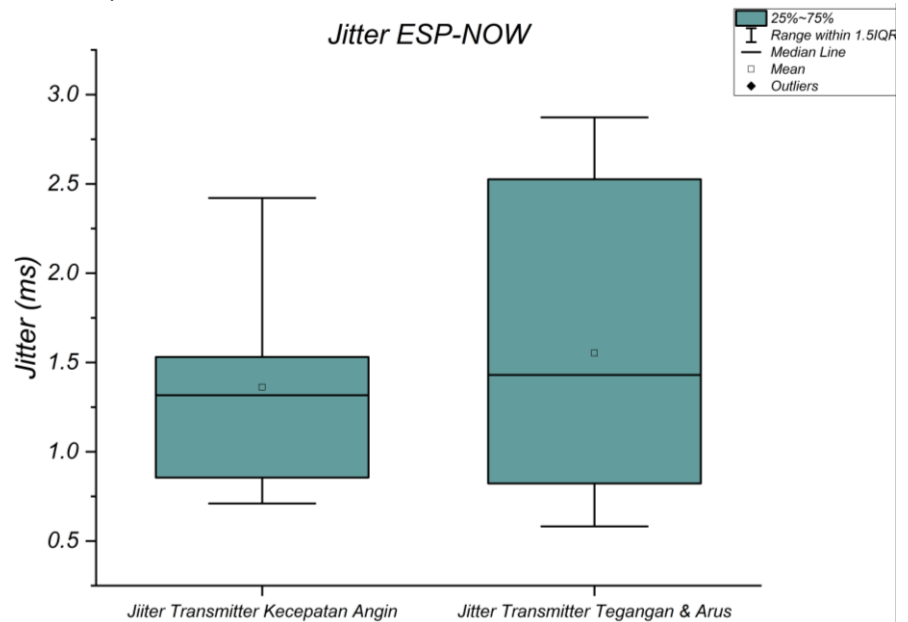
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil pengujian QoS ESP-NOW



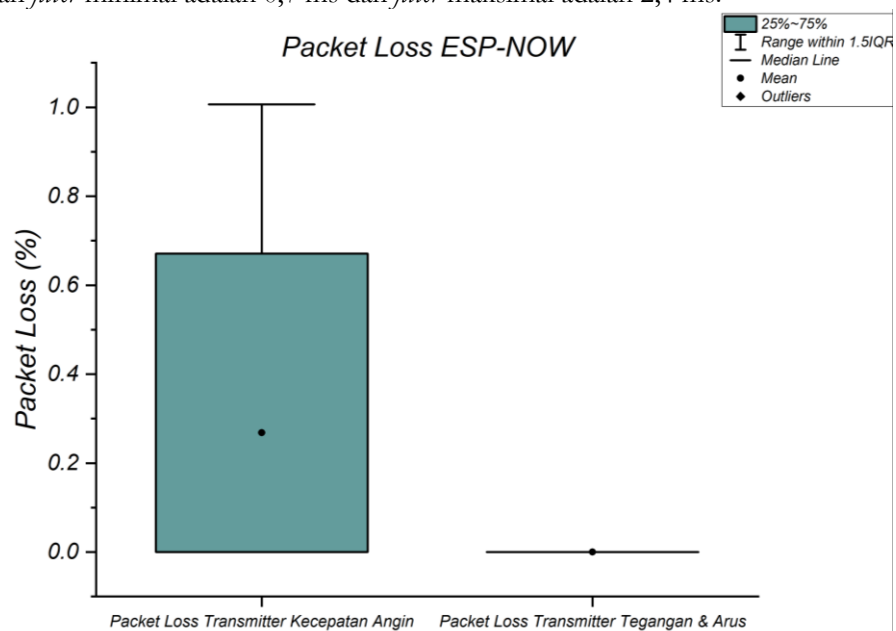
Gambar 8 Hasil pengujian QoS latency ESP-NOW

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian QoS *latency* pada ESP-NOW. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata *latency* ESP-NOW pada *transmitter* kecepatan angin adalah 2,31 ms dan rata-rata *latency* ESP-NOW pada *transmitter* tegangan & arus adalah 2,35 ms. Selisih 0,04 ms menunjukkan bahwa *latency* ESP-NOW pada kedua *transmitter* relatif setara. Namun, secara hasil pengujian, box plot *latency transmitter* tegangan & arus lebih lebar, menunjukkan hasil pengujian lebih variatif dengan minimal *latency* sebesar 1,62 ms dan maksimal *latency* sebesar 3,3 ms. Sedangkan *latency* minimal pada *transmitter* kecepatan angin adalah 1,8 ms dan *latency* maksimal adalah 2,9 ms.



Gambar 9 Hasil pengujian QoS *jitter* ESP-NOW

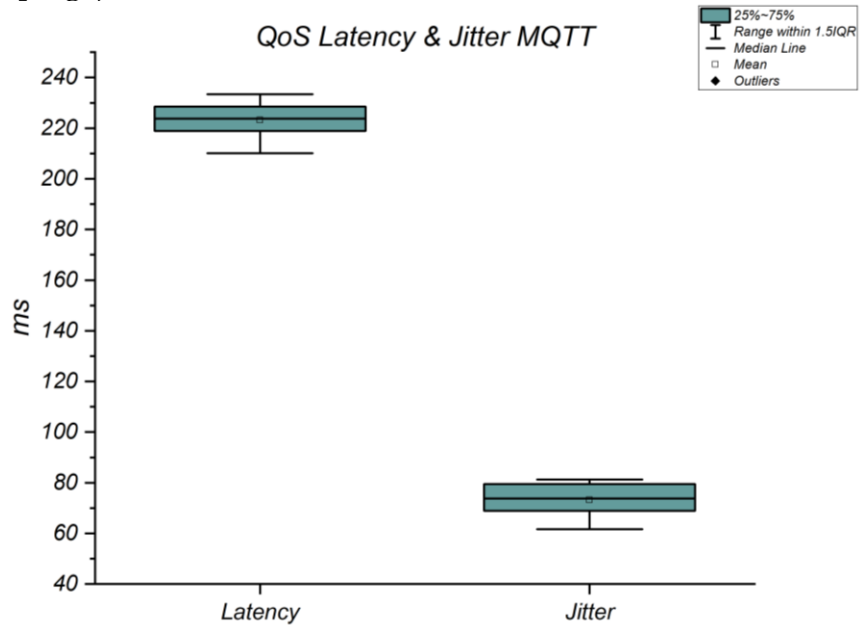
Kemudian hasil pengujian QoS *jitter* pada ESP-NOW yang ditunjukkan oleh gambar 6 menunjukkan rata-rata *jitter* ESP-NOW pada *transmitter* tegangan arus lebih besar, yaitu 1,5 ms, sedangkan rata-rata *jitter* pada *transmitter* kecepatan angin adalah 1,3 ms. Secara box plot, box plot *jitter transmitter* tegangan dan arus lebih besar dengan *jitter* minimal adalah 0,5 ms dan *jitter* maksimal adalah 2,8 ms. Sedangkan box plot *jitter transmitter* kecepatan angin lebih sempit, dengan *jitter* minimal adalah 0,7 ms dan *jitter* maksimal adalah 2,4 ms.



Gambar 10 Hasil pengujian QoS *packet loss* ESP-NOW

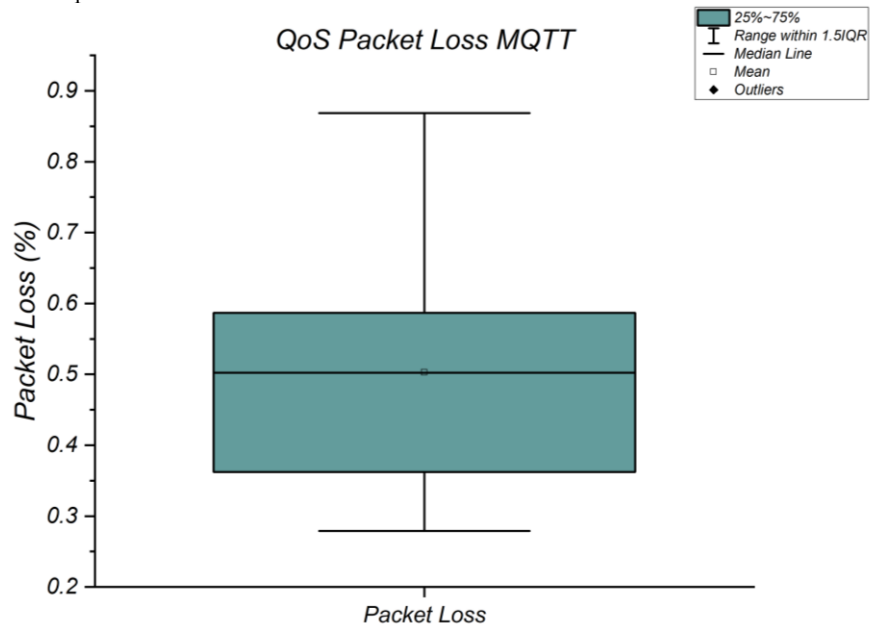
Kemudian hasil pengujian QoS *packet loss* pada ESP-NOW yang ditunjukkan oleh gambar 7 menunjukkan hasil pengujian pada *packet loss* lebih tidak variatif dengan rata-rata *packet loss* sebesar 0,2%, dengan *packet loss* minimal adalah 0% dan *packet loss* maksimal adalah 1%. Sedangkan rata-rata *packet loss* pada transmitter tegangan & arus adalah 0%.

4.2 Hasil pengujian QoS MQTT



Gambar 11 Hasil pengujian QoS *latency* dan *jitter* MQTT

Hasil pengujian QoS *latency* dan *jitter* pada MQTT di gambar 8 menunjukkan rata-rata *latency* sebesar 223,1 ms, dan rata-rata *jitter* sebesar 73,2 ms. *Latency* minimal pada MQTT adalah 210 ms dan *latency* maksimal adalah 233 ms, dengan rentang IQR 218 ms sampai 228 ms. Sedangkan *jitter* minimal adalah 61 ms dan *jitter* maksimal adalah 81 ms dengan rentang IQR 68 ms sampai 79 ms.



Gambar 12 Hasil pengujian QoS *packet loss* MQTT

Kemudian hasil pengujian *packet loss* pada MQTT di gambar 9 menunjukkan rata-rata *packet loss* sebesar 0,5%. *Packet loss* minimal pada MQTT adalah 0,2% dan *packet loss* maksimal adalah 0,8%, dengan rentang IQR dari 0,3% sampai 0,5%.

4.3 Analisis hasil QoS ESP-NOW dan MQTT pada sistem *monitoring* dan *data logger* di Lentera Bumi Nusantara

Berdasarkan hasil pengujian QoS ESP-NOW dan MQTT, rata-rata *latency*, *jitter*, dan *packet loss* pada ESP-NOW berada pada indeks sangat baik, baik, dan sangat baik berdasarkan standar TIPHON. Sedangkan rata-rata *latency*, *jitter*, dan *packet loss* pada MQTT berada pada baik, baik, dan sangat baik.

Berdasarkan hasil tersebut, secara *latency* dan *jitter*, sistem *monitoring* dan *data logger* pada PLTB di Lentera Bumi Nusantara dengan interval akuisisi data setiap 1 detik masih mampu menampilkan data real-time pada dashboard sistem *monitoring* dan *data logger* karena hasil *latency* pada QoS ESP-NOW dan MQTT masih di bawah 1 detik.

Kemudian, berdasarkan hasil pengujian *packet loss* pada ESP-NOW dan MQTT, penempatan atau orientasi *transmitter* kecepatan angin terhadap *receiver* harus dievaluasi agar stabil menjaga keutuhan data 100%, sebab berdasarkan hasil pengujian QoS *packet loss* pada ESP-NOW masih terdapat beberapa pengujian menunjukkan kehilangan data, meskipun kehilangan data di bawah 1%, namun akan berpengaruh terhadap akurasi data untuk analisis PLTB di Lentera Bumi Nusantara. Kehilangan data tersebut disebabkan jarak *transmitter* kecepatan angin terhadap *receiver* lebih jauh daripada *transmitter* tegangan & arus. Kemudian rata-rata *packet loss* pada MQTT menunjukkan potensi kehilangan data selalu ada meskipun di bawah 1%, hal ini disebabkan trafik pada *broker* MQTT cloud tergantung pada aktivitas pengguna *broker* cloud tersebut, dan dipengaruhi oleh kestabilan jaringan internet yang digunakan..

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi ESP-NOW dan MQTT pada sistem *monitoring* dan *data logger* PLTB skala mikro di Lentera Bumi Nusantara mampu mendukung komunikasi data dengan interval akuisisi 1 detik secara andal. ESP-NOW memberikan performa sangat baik dengan *latency* dan *jitter* yang rendah serta *packet loss* di bawah 1%, sehingga efektif sebagai komunikasi lokal antar node. Sementara itu, MQTT menunjukkan *latency* dan *jitter* yang lebih tinggi akibat ketergantungan pada jaringan internet dan *broker* cloud, namun tetap berada dalam kategori baik untuk kebutuhan *monitoring* jarak jauh. Meskipun tingkat *packet loss* pada kedua protokol relatif kecil, evaluasi terhadap optimasi penempatan node dan stabilitas jaringan tetap diperlukan untuk menjaga keutuhan data secara jangka panjang, agar keutuhan data dalam perekaman data pada terjaga baik, sehingga tidak merusak data untuk *data logger* analisis PLTB skala mikro di Lentera Bumi Nusantara.

Kontribusi Penulis: Penulis memberikan sumbangan penelitian terhadap kualitas protokol komunikasi nirkabel yang digunakan dalam pengintegrasian sistem *monitoring* dan *data logger* yang melakukan pengukuran pada beberapa titik secara lokal dan terhubung jaringan internet.

Pendanaan: Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal

Pernyataan Ketersediaan Data: Data yang mendukung hasil penelitian tersedia dari penulis korespondensi dan dapat diberikan atas permintaan yang wajar.

Ucapan Terima Kasih: Penulis menyampaikan ucapan terima kasih untuk semua pihak yang terlibat dalam proses penelitian dari awal sampai hasil penelitian dapat dibaca secara seksama.

Konflik Kepentingan: Penulis menegaskan tidak ada konflik kepentingan dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] S. A. Arsita, G. E. Saputro, and Susanto, "Perkembangan Kebijakan Energi Nasional dan Energi Baru Terbarukan Indonesia," *Jurnal Syntax Transformation*, vol. 2, no. 12, pp. 1779–1788, Dec. 2021, doi: 10.46799/jst.v2i12.473.
- [2] R. E. Kinasih, "Studi Literatur: Analisis Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada (PLTA) Pembangkit Listrik Tenaga Angin," *Jurnal Fisika dan Pembelajarannya (PHYDAGOGIC)*, vol. 6, no. 2, 2024, doi: 10.31605/phy.v6i2.3332.
- [3] P. Siagian and Fahreza, *Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle to Grid (V2G)*. 2020.
- [4] M. Abdillah, T. Mutia, T. A. Nugroho, and N. I. Pertiwi, "Design of Automatic Transfer Switch on A Renewable Energy Hybrid Grid System at PT Lentera Bumi Nusantara," 2022.
- [5] I. J. Simanjuntak and H. S. Pangaribuan, "Sistem Monitoring Data Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis Mikrokontroler Atmega32," 2020.
- [6] A. Laksana and F. M. S Nursuwars, "KONTROL SISTEM CHARGING PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU PT. LENTERA BUMI NUSANTARA BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT)," Oktober.
- [7] M. Singh and G. Baranwal, "Quality of Service (QoS) in Internet of Things," in *Proceedings - 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2018. doi: 10.1109/IoT-SIU.2018.8519862.
- [8] S. Carlos, G. Paulo, M. Carlos, and P. Jaime, "IOT quality of service based in link channel optimization in wireless sensor networks," in *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Smart Internet of Things, SmartIoT 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2018, pp. 172–177. doi: 10.1109/SmartIoT.2018.00032.
- [9] Mutiara, H. Arief Kusuma, and T. Suhendra, "Field Testing and QoS Analysis of ESP-NOW Communication on ESP32ESP32," 2024.
- [10] R. Anjasmoro, M. Hannats, H. Ichsan, and D. Syauqy, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Kotak Benih terhadap Ruang menggunakan Protokol ESP-NOW," 2024. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [11] A. Hanif and R. Amri, "Implementasi Internet Of Things Pada Protokol MQTT Dan HTTP Dalam Sistem Pendeteksi Banjir," 2023.
- [12] K. Mochammad *et al.*, "Analisa Quality of Service (QoS) Jaringan Internet di SMA Berbasis Aplikasi Wireshark," *NCDR*, vol. 3, no. 2, pp. 79–85, 2025, [Online]. Available: <https://journal.unusida.ac.id/index.php/ncdr/>