

# Rancang Bangun Sistem Parkir Otomatis Berbasis RFID dan ESP32 Dengan Analisis Kinerja Komunikasi Data LoRa dan MQTT

Sultha Redysa<sup>1</sup>, Andi Ahmad Dahlan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang  
e-mail: [sultha.redysa3@gmail.com](mailto:sultha.redysa3@gmail.com), [aadfuty@gmail.com](mailto:aadfuty@gmail.com)

## Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor mendorong kebutuhan akan sistem parkir yang efisien, andal, dan mampu melakukan pemantauan secara *real-time*. Penelitian ini mengusulkan sistem parkir otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan RFID, komunikasi LoRa, MQTT, dan Node-RED untuk identifikasi pengguna, validasi akses, pengendalian palang, serta monitoring parkir. Sistem yang dikembangkan menggunakan node berbasis ESP32 untuk akuisisi data dan komunikasi nirkabel, sedangkan Raspberry Pi berperan sebagai server yang menjalankan MQTT, Node-RED, dan MySQL. Kinerja sistem dievaluasi melalui pengujian fungsional serta analisis performa komunikasi menggunakan parameter *delay*, *Round Trip Time* (RTT), *Quality of Service* (QoS), dan *packet loss*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata *delay* komunikasi LoRa meningkat dari 1,326 detik pada jarak kurang dari 5 m menjadi 2,056 detik pada jarak 200 m, sedangkan komunikasi MQTT menghasilkan *packet loss* sebesar 0% pada seluruh tingkat QoS. Sistem yang dikembangkan berhasil melakukan identifikasi kendaraan, validasi akses, dan monitoring secara *real-time* dengan performa komunikasi yang andal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi RFID, LoRa, MQTT, dan Node-RED layak diterapkan pada sistem *smart parking* berbasis IoT.

**Kata Kunci:** ESP32, IoT, LoRa, MQTT, Smart Parking

## Abstract

*The increasing number of motor vehicles has created a demand for parking systems that are efficient, reliable, and capable of providing real-time monitoring. This study proposes an Internet of Things (IoT)-based automatic parking system integrating RFID, LoRa communication, MQTT, and Node-RED for user identification, access validation, barrier control, and parking monitoring. The proposed system employs ESP32-based nodes for data acquisition and wireless communication, while Raspberry Pi serves as the server running MQTT, Node-RED, and MySQL. System performance was evaluated through functional testing and communication performance analysis using delay, Round Trip Time (RTT), Quality of Service (QoS), and packet loss. Experimental results show that the average LoRa delay increased from 1.326 s at a distance of less than 5 m to 2.056 s at 200 m, while MQTT achieved*

*0% packet loss across all QoS levels. The developed system successfully performed automatic vehicle identification, access validation, and real-time monitoring with reliable communication performance. These results demonstrate that the integration of RFID, LoRa, MQTT, and Node-RED is suitable for IoT-based smart parking applications.*

**Keywords :** ESP32, IoT, LoRa, MQTT, Smart Parking

## LATAR BELAKANG

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor meningkatkan kebutuhan akan sistem parkir yang efisien, andal, dan mampu menyediakan informasi secara *real-time*. Sistem parkir konvensional masih banyak bergantung pada proses manual sehingga sering menimbulkan antrean kendaraan, pemanfaatan ruang parkir yang kurang optimal, serta keterbatasan informasi mengenai ketersediaan lahan parkir. Kondisi tersebut berdampak pada menurunnya efisiensi operasional dan kenyamanan pengguna sehingga diperlukan sistem parkir yang lebih cerdas dan terintegrasi (Sarker et al., 2020).

Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi perangkat sensor, teknologi komunikasi, dan sistem pengolahan data dalam satu kesatuan. Pada sistem *smart parking*, IoT mendukung identifikasi kendaraan secara otomatis, pengiriman data, pemantauan, dan pengelolaan sistem secara *real-time* (Aditya et al., 2022). Salah satu teknologi identifikasi yang banyak digunakan adalah Radio Frequency Identification (RFID) karena mampu melakukan identifikasi tanpa kontak dengan waktu respons yang cepat dan tingkat keandalan yang tinggi (Ishaq & Bibi, 2023).

Selain identifikasi, komunikasi data menjadi faktor penting dalam sistem parkir berbasis IoT. Long Range (LoRa) sebagai salah satu teknologi Low Power Wide Area Network (LPWAN) mampu menyediakan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah sehingga sesuai untuk aplikasi smart parking (Alam et al., 2023; Bonilla et al., 2023). Di sisi lain, komunikasi antara perangkat lapangan dan server dapat diimplementasikan menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), sedangkan Node-RED berperan sebagai middleware untuk memproses, memvalidasi, dan mendistribusikan data secara real-time (Alfalouji et al., 2022; Nugroho et al., 2024; Petrescu et al., 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan sistem parkir berbasis IoT dengan memanfaatkan RFID, LoRa, maupun MQTT. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek identifikasi RFID, pemantauan area parkir, atau komunikasi LoRa secara terpisah (Balfaqih et al., 2021; Jabbar et al., 2024; Messina et al., 2025). Integrasi autentikasi pengguna berbasis RFID, komunikasi LoRa point-to-point, protokol MQTT, middleware Node-RED, dan validasi akses berbasis basis data dalam satu arsitektur masih relatif terbatas. Selain itu, evaluasi performa komunikasi menggunakan parameter delay, Round Trip Time (RTT), Quality of Service (QoS), dan packet loss juga belum banyak dibahas secara komprehensif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem parkir otomatis berbasis IoT yang mengintegrasikan RFID, ESP32, LoRa, MQTT, Node-RED, Raspberry Pi, dan MySQL dalam satu arsitektur. Sistem yang diusulkan tidak hanya menyediakan identifikasi

pengguna, validasi akses, pengendalian palang otomatis, dan pemantauan secara *real-time*, tetapi juga mengevaluasi kinerja komunikasi menggunakan parameter delay, RTT, QoS, dan packet loss. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem *smart parking* berbasis IoT yang andal, khususnya pada implementasi teknologi LoRa dan MQTT di bidang telekomunikasi.

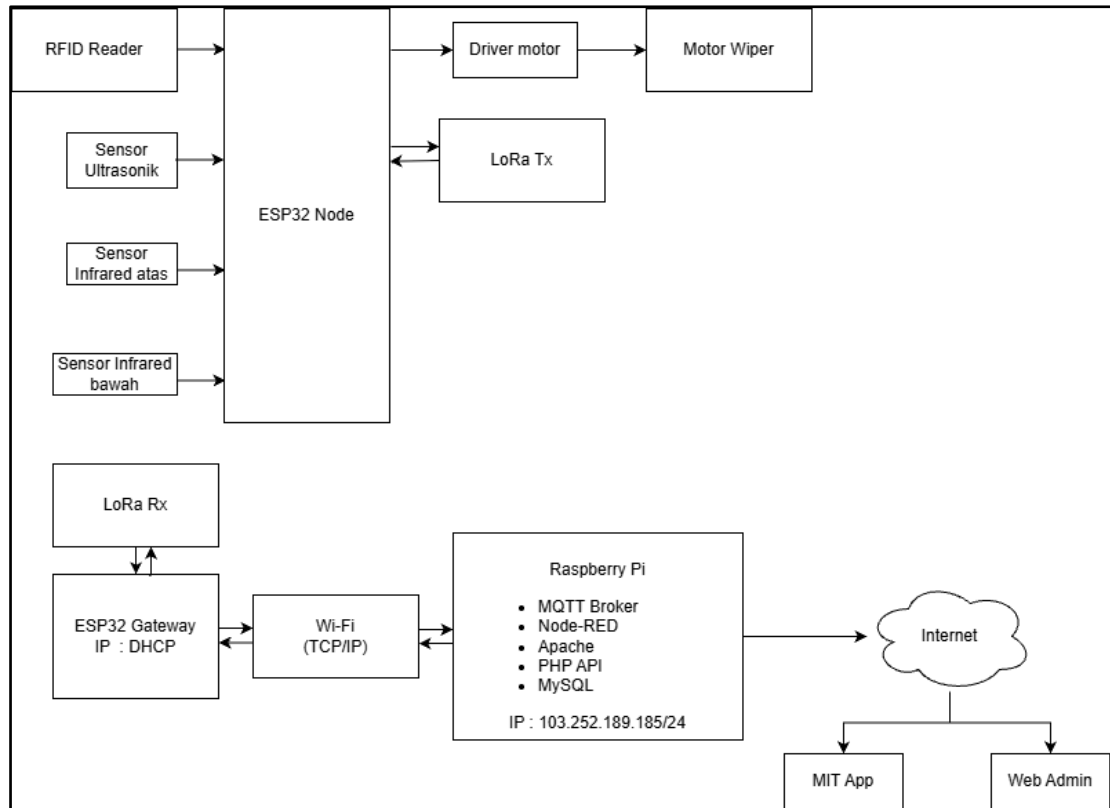
## METODE

Penelitian ini menggunakan metode perancangan sistem Internet of Things (IoT) untuk membangun sistem parkir otomatis berbasis RFID dan ESP32. Tahapan penelitian meliputi perancangan arsitektur sistem, integrasi perangkat, serta pengujian fungsional dan performa komunikasi.

### Arsitektur Sistem

Sistem terdiri atas ESP32 Barrier Node dan ESP32 Gateway yang berkomunikasi menggunakan modul LoRa E32-900T20D. Barrier Node membaca UID kartu RFID menggunakan MFRC522, mengendalikan mekanisme palang melalui driver BTS7960, serta menerima masukan dari sensor ultrasonik JSN-SR04T dan sensor inframerah E18-D80NK. Data UID kemudian dikirim ke Gateway melalui komunikasi LoRa. Pemanfaatan LoRa dipilih karena mampu menyediakan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah sehingga sesuai untuk aplikasi Internet of Things (Azim et al., 2024).

Gateway meneruskan data ke Raspberry Pi melalui protokol MQTT. Raspberry Pi menjalankan Mosquitto MQTT Broker, Node-RED, Apache, dan MySQL. Node-RED berfungsi sebagai middleware untuk memvalidasi UID terhadap basis data, mencatat aktivitas parkir, serta mengirimkan hasil validasi kembali ke Barrier Node melalui Gateway. Informasi parkir selanjutnya ditampilkan pada Web Admin dan aplikasi MIT App Inventor. Arsitektur tersebut mengintegrasikan komunikasi MQTT dan middleware Node-RED yang umum digunakan pada sistem IoT (Alfalouji et al., 2022; Petrescu et al., 2025; Tran & Cao, 2025). Arsitektur sistem yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 1.

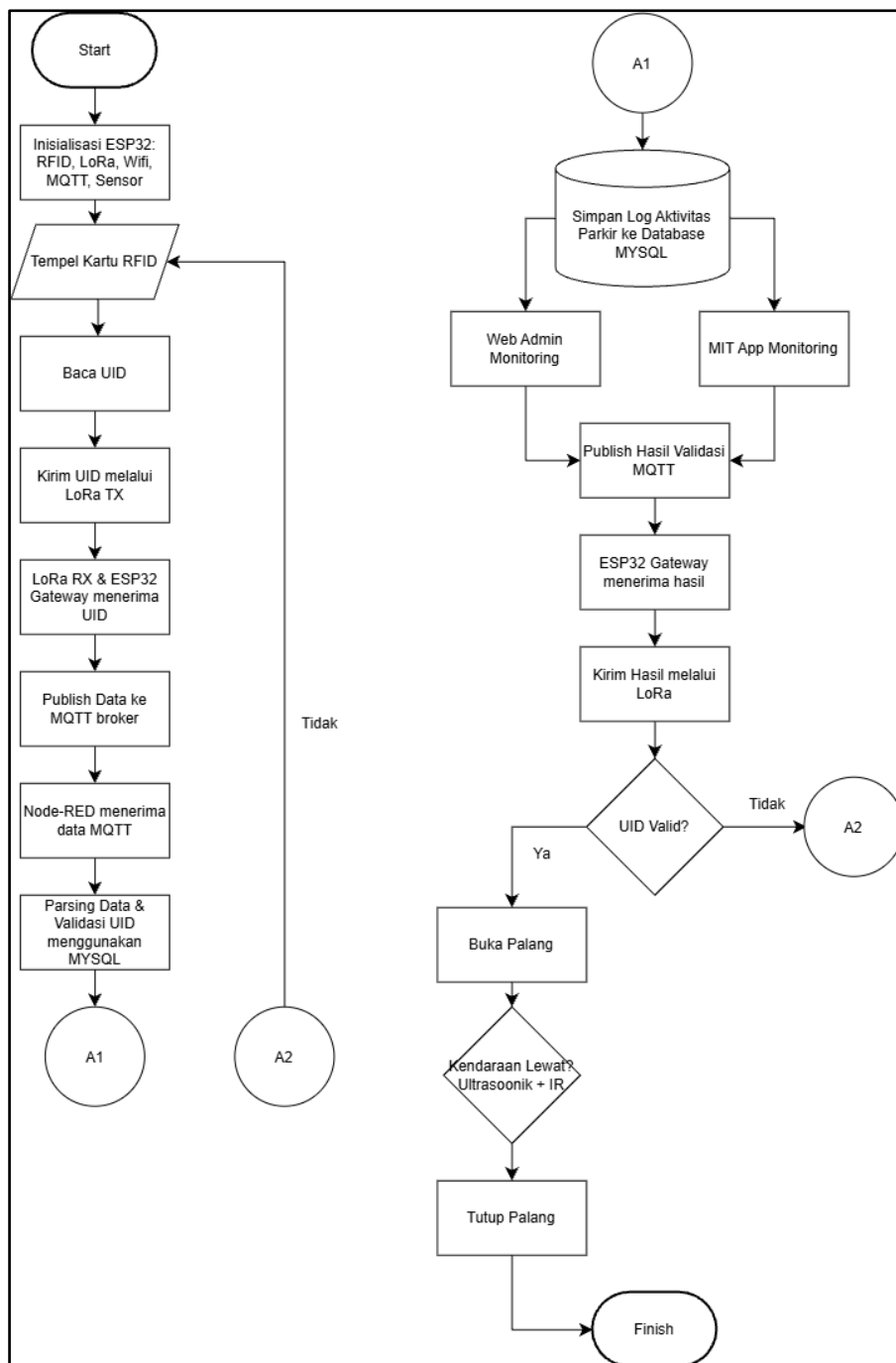


**Gambar 1 Arsitektur Sistem Smart Parking**

### Alur Operasi Sistem

Proses dimulai ketika pengguna menempelkan kartu RFID pada pembaca MFRC522. UID yang terbaca dikirim dari Barrier Node ke Gateway melalui LoRa, kemudian diteruskan ke Raspberry Pi menggunakan MQTT untuk divalidasi oleh Node-RED terhadap basis data MySQL.

Apabila UID dinyatakan valid, hasil validasi dikirim kembali melalui MQTT ke Gateway dan diteruskan melalui LoRa ke Barrier Node sehingga palang terbuka secara otomatis. Sensor ultrasonik mempertahankan palang tetap terbuka selama kendaraan masih berada pada area deteksi, sedangkan sensor inframerah digunakan sebagai pembatas posisi buka dan tutup palang. Seluruh aktivitas parkir disimpan pada basis data dan ditampilkan melalui Web Admin serta aplikasi MIT App Inventor secara *real-time*. Alur operasi sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Flowchart Sistem

### Metode Pengujian

Evaluasi sistem dilakukan melalui pengujian fungsional dan pengujian performa komunikasi. Pengujian fungsional meliputi pembacaan RFID, komunikasi LoRa, komunikasi MQTT, validasi UID oleh Node-RED, mekanisme buka-tutup palang, serta tampilan informasi pada Web Admin dan aplikasi mobile.

Pengujian performa komunikasi dilakukan pada komunikasi LoRa dan MQTT. Pada LoRa diukur parameter delay dan Round Trip Time (RTT) pada jarak kurang dari 5 m dan 200 m. Sementara itu, komunikasi MQTT dianalisis menggunakan QoS 0, QoS 1, dan QoS 2 dengan parameter delay dan packet loss berdasarkan hasil packet capture menggunakan Wireshark. Parameter tersebut umum digunakan untuk mengevaluasi performa komunikasi jaringan dan kualitas layanan pada sistem IoT (Hidayat et al., 2024; Kashyap et al., 2024; Martinez et al., 2024).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan ESP32 Barrier Node, ESP32 Gateway, modul RFID MFRC522, LoRa E32-900T20D, Raspberry Pi, MQTT, Node-RED, MySQL, Web Admin, dan aplikasi MIT App Inventor menjadi satu sistem parkir otomatis berbasis IoT. Pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat beroperasi sesuai dengan rancangan, mulai dari pembacaan UID RFID, transmisi data melalui LoRa, validasi akses oleh Node-RED, pengendalian mekanisme palang, hingga penyimpanan dan monitoring data secara real-time. Tabel 1 menyajikan ringkasan hasil pengujian implementasi seluruh komponen sistem.

| Tabel 1 Hasil Pengujian Implementasi |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Komponen                             | Hasil                      |
| RFID                                 | Berhasil membaca UID       |
| LoRa                                 | Berhasil mengirim UID      |
| MQTT                                 | Publish–Subscribe berhasil |
| Node-RED                             | Validasi UID berhasil      |
| Mekanisme Palang                     | Buka dan tutup otomatis    |
| Web Admin                            | Monitoring berhasil        |
| Mobile App                           | Monitoring berhasil        |

Seluruh komponen berhasil terintegrasi sehingga sistem mampu melakukan identifikasi kendaraan, validasi akses, pengendalian palang otomatis, dan monitoring secara real-time. Implementasi perangkat keras sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3 Implementasi Sistem Smart Parking**

### **Analisis Kinerja Komunikasi LoRa**

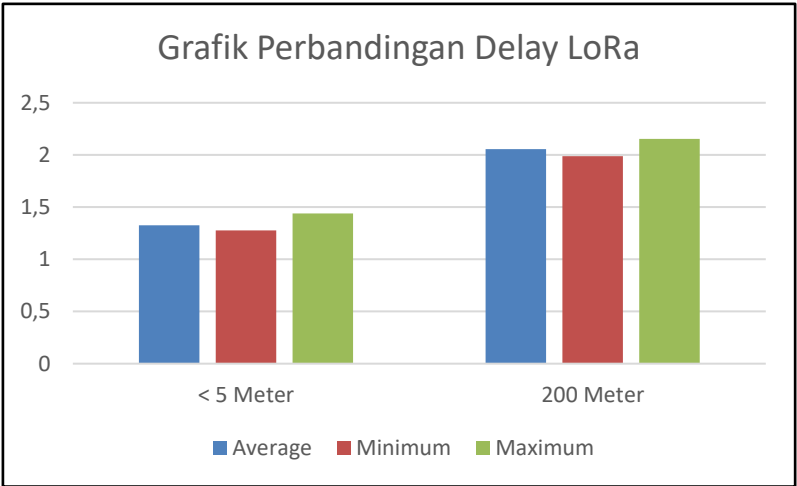
Kinerja komunikasi LoRa dievaluasi menggunakan parameter delay dan Round Trip Time (RTT) pada dua skenario pengujian, yaitu jarak kurang dari 5 m dan 200 m.

### **Delay Komunikasi LoRa**

Hasil pengukuran delay komunikasi LoRa ditunjukkan pada Tabel 2.

| <b>Tabel 2 Hasil Pengukuran Delay LoRa</b> |                 |              |
|--------------------------------------------|-----------------|--------------|
| <b>Parameter</b>                           | <b>&lt; 5 m</b> | <b>200 m</b> |
| Jumlah Pengujian                           | 50              | 50           |
| Delay rata-rata (detik)                    | 1,326           | 2,056        |
| Delay minimum (detik)                      | 1,276           | 1,989        |
| Delay maksimum (detik)                     | 1,438           | 2,153        |

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata delay meningkat seiring bertambahnya jarak pengujian. Meskipun demikian, rentang nilai delay pada kedua skenario relatif kecil sehingga komunikasi LoRa tetap menunjukkan performa yang stabil hingga jarak 200 m. Hasil tersebut sejalan dengan karakteristik komunikasi LoRa yang mampu mempertahankan kestabilan transmisi pada komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah (Azim et al., 2024; Bonilla et al., 2023). Perbandingan hasil pengukuran delay komunikasi LoRa ditunjukkan pada Gambar 4.



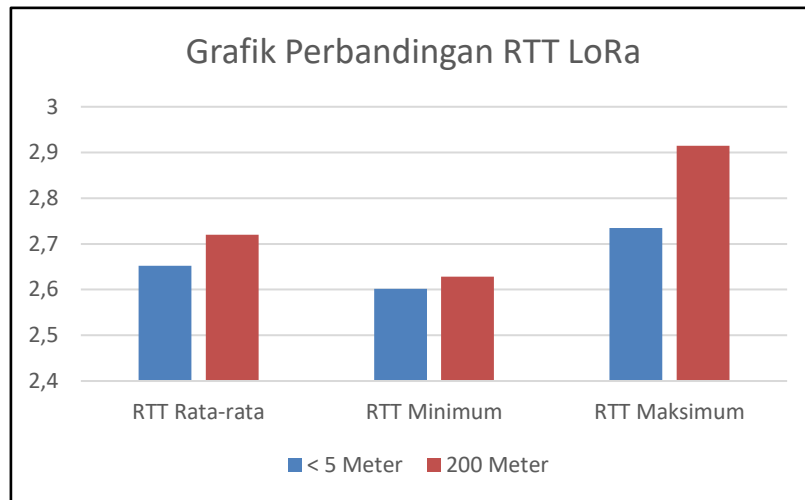
Gambar 4 Perbandingan Delay Komunikasi LoRa.

Round Trip Time (RTT)

Round Trip Time (RTT) digunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan sistem sejak data UID RFID dikirim hingga hasil validasi diterima kembali oleh ESP32 Barrier Node. Hasil pengukuran RTT pada dua skenario jarak pengujian disajikan pada Tabel 3.

| Tabel 3 Hasil Pengukuran RTT |       |       |
|------------------------------|-------|-------|
| Parameter                    | < 5 m | 200 m |
| Jumlah Pengujian             | 50    | 50    |
| RTT rata-rata (detik)        | 2,652 | 2,720 |
| RTT minimum (detik)          | 2,602 | 2,628 |
| RTT maksimum (detik)         | 2,735 | 2,915 |

Berdasarkan Tabel 3, nilai RTT hanya mengalami sedikit peningkatan pada jarak 200 m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem tetap mampu memberikan waktu respons yang relatif stabil selama proses komunikasi dan validasi data. RTT merupakan salah satu parameter penting untuk mengevaluasi latensi komunikasi dua arah pada suatu jaringan (Martinez et al., 2024) Perbandingan nilai Round Trip Time pada kedua skenario pengujian ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5 Perbandingan Round Trip Time (RTT).**

### Waktu Proses Sistem

Pengujian waktu proses dilakukan untuk mengukur lama satu siklus operasi sistem, mulai dari pembacaan kartu RFID hingga palang kembali menutup. Hasil pengukuran waktu proses sistem disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4 Hasil Pengukuran Waktu Proses Sistem**

| Parameter        | Nilai       |
|------------------|-------------|
| Jumlah Pengujian | 5           |
| Rata-rata        | 13,51 detik |
| Minimum          | 12,51 detik |
| Maksimum         | 14,33 detik |

Berdasarkan Tabel 4, sistem menyelesaikan satu siklus operasi dengan rata-rata waktu 13,51 detik. Variasi waktu yang relatif kecil menunjukkan bahwa sistem bekerja secara konsisten pada setiap pengujian.

### Analisis Komunikasi MQTT

Komunikasi MQTT dianalisis menggunakan hasil packet capture Wireshark pada tiga tingkat Quality of Service (QoS), yaitu QoS 0, QoS 1, dan QoS 2. Analisis dilakukan untuk membandingkan performa komunikasi berdasarkan mekanisme pengiriman pesan yang diterapkan pada masing-masing tingkat QoS sesuai konsep publish-subscribe pada MQTT (Petrescu et al., 2025). Mekanisme komunikasi MQTT pada setiap tingkat Quality of Service (QoS) ditunjukkan pada Gambar 6.

|                |                                |                                                      |
|----------------|--------------------------------|------------------------------------------------------|
| 3191 26.472514 | 114.10.95... 103.252.1... MQTT | 78 Publish Message [smartparking/rfid]               |
| 3193 26.472571 | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 111 Publish Message [smartparking/rfid]              |
| 1546 12.153398 | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 113 Publish Message (id=2) [smartparking/rfid]       |
| 1548 12.153439 | 103.252.1... 114.10.95... MQTT | 64 Publish Ack (id=3)                                |
| 1549 12.154135 | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 76 Publish Ack (id=2)                                |
| 1566 12.195917 | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 102 Publish Message (id=11666) [smartparking/result] |
| 1044 8.287009  | 103.252.1... 114.10.95... MQTT | 64 Publish Received (id=3)                           |
| 1089 8.583017  | 114.10.95... 103.252.1... MQTT | 66 Publish Release (id=3)                            |
| 1090 8.583074  | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 113 Publish Message (id=8) [smartparking/rfid]       |
| 1092 8.583113  | 103.252.1... 114.10.95... MQTT | 64 Publish Complete (id=3)                           |
| 1093 8.583415  | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 76 Publish Received (id=8)                           |
| 1094 8.583512  | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 76 Publish Release (id=8)                            |
| 1095 8.583773  | 103.252.1... 103.252.1... MQTT | 76 Publish Complete (id=8)                           |

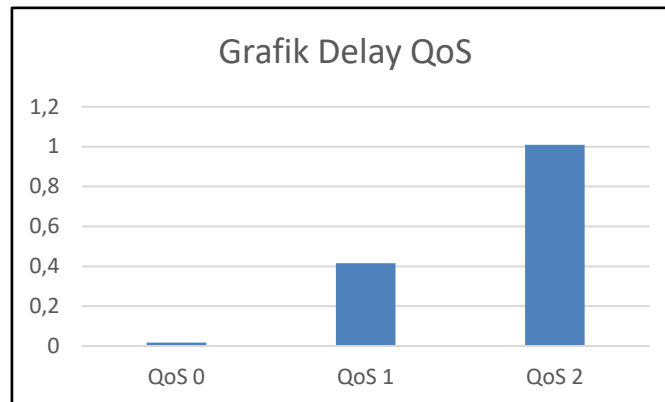
**Gambar 6 Mekanisme Komunikasi MQTT pada QoS 0, QoS 1, dan QoS 2 Delay MQTT**

Pengukuran *delay* MQTT dilakukan sebanyak 30 kali pada setiap tingkat Quality of Service (QoS). Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5.

| Tabel 5 Hasil Pengukuran Delay MQTT |                   |          |          |
|-------------------------------------|-------------------|----------|----------|
| QoS                                 | Rata-rata (detik) | Minimum  | Maksimum |
| 0                                   | 0,016589          | 0,001487 | 0,433894 |
| 1                                   | 0,415810          | 0,221273 | 0,612735 |
| 2                                   | 1,009787          | 0,338259 | 6,323752 |

Berdasarkan Tabel 9, nilai delay meningkat seiring kenaikan tingkat QoS. QoS 0 menghasilkan delay terendah, sedangkan QoS 2 menghasilkan delay tertinggi karena menggunakan mekanisme komunikasi yang lebih kompleks. Hasil tersebut menunjukkan adanya trade-off antara kecepatan komunikasi dan tingkat keandalan pengiriman data. Karakteristik tersebut sesuai dengan mekanisme QoS pada MQTT, di mana peningkatan tingkat layanan memerlukan proses acknowledgement yang lebih banyak (Kashyap et al., 2024; Petrescu et al., 2025). Perbandingan delay MQTT pada setiap tingkat QoS ditunjukkan pada

Gambar 7.



**Gambar 7 Perbandingan Delay MQTT pada QoS 0, QoS 1, dan QoS 2.**

## SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem parkir otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan RFID, ESP32, LoRa, MQTT, Node-RED, MySQL, Web Admin, dan aplikasi mobile. Sistem mampu melakukan identifikasi pengguna, validasi akses, pengendalian palang, dan monitoring secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata delay LoRa sebesar 1,326 detik (<5 m) dan 2,056 detik (200 m), sedangkan komunikasi MQTT menghasilkan packet loss 0% pada seluruh tingkat QoS. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja komunikasi yang andal untuk implementasi smart parking berbasis IoT. Saran: Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem pada area parkir berskala lebih besar serta mengevaluasi performa komunikasi pada kondisi lingkungan yang lebih beragam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, A., Anwarul, S., Tanwar, R., & Koneru, S. K. V. (2022). An Iot Assisted Intelligent Parking System (IPS) For Smart Cities. *Procedia Computer Science*, 218(2022), 1045–1054. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.084>
- Alam, M. R., Saha, S., Bostami, M. B., Islam, M. S., Aadeeb, M. S., & Islam, A. K. M. M. (2023). A Survey On Iot Driven Smart Parking Management System: Approaches, Limitations And Future Research Agenda. *IEEE Access*, 11(September), 119523–119543. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3327306>
- Alfalouji, Q., Schranz, T., Kümpel, A., Schraven, M., Storek, T., Gross, S., Monti, A., Müller, D., & Schweiger, G. (2022). Iot Middleware Platforms For Smart Energy Systems: An Empirical Expert Survey. *Buildings*, 12(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/Buildings12050526>
- Azim, A. W., Shubair, R., & Chafii, M. (2024). Chirp Spread Spectrum-Based Waveform Design And Detection Mechanisms For LPWAN-Based Iot: A Survey. *IEEE Access*, 12, 24949–25017. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3352591>
- Balfaqih, M., Jabbar, W., Khayyat, M., & Hassan, R. (2021). Design And Development Of Smart Parking System Based On Fog Computing And Internet Of Things. *Electronics*

- (Switzerland), 10(24), 1–18. <https://doi.org/10.3390/Electronics10243184>
- Bonilla, V., Campoverde, B., & Yoo, S. G. (2023). A Systematic Literature Review Of Lorawan: Sensors And Applications. *Sensors*, 23(20). <https://doi.org/10.3390/S23208440>
- Hidayat, R. B. N., Oktaviana, L. D., & Kuncoro, A. P. (2024). Quality Of Service Analysis Of Wico Network Grapari Telkom Analisis Quality Of Service Jaringan Wico Grapari Telkom. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, 5(4), 395–405.
- Ishaq, K., & Bibi, S. (2023). *IoT Based Smart Attendance System Using Rfid: A Systematic Literature Review*. <http://arxiv.org/abs/2308.02591>
- Jabbar, W. A., Tiew, L. Y., & Ali Shah, N. Y. (2024). Internet Of Things Enabled Parking Management System Using Long Range Wide Area Network For Smart City. *Internet Of Things And Cyber-Physical Systems*, 4(July 2023), 82–98. <https://doi.org/10.1016/j.lotcps.2023.09.001>
- Kashyap, M., Dev, A. K., & Sharma, V. (2024). Implementation And Analysis Of EMQX Broker For MQTT Protocol In The Internet Of Things. *E-Prime - Advances In Electrical Engineering, Electronics And Energy*, 10(November), 100846. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100846>
- Martinez, G., Hernandez, J. A., Reviriego, P., & Reinheimer, P. (2024). Round Trip Time (RTT) Delay In The Internet: Analysis And Trends. *IEEE Network*, 38(2), 280–285. <https://doi.org/10.1109/MNET004.2300008>
- Messina, F., Russo, M., Santoro, C., Santoro, F. F., & Tudisco, A. (2025). Evaluation Of A Lightweight IoT Protocol For Intelligent Parking Management In Urban Environments †. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(17), 1–22. <https://doi.org/10.3390/app15179621>
- Nugroho, W., Afianto, A., & Arifianto, M. J. F. (2024). Smart Parking Based On Car Detection Using Deep Learning Yolov8. *International Journal Of Electrical Engineering And Intelligent Computing*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.33387/ijeeic.V2i1.8692>
- Petrescu, I., Niculae, E., Vulturescu, V., Dimitrescu, A., & Ungureanu, L. M. (2025). Transport And Application Layer Protocols For IoT: Comprehensive Review. *Technologies*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/Technologies13120583>
- Sarker, V. K., Gia, T. N., Dhaou, I. Ben, & Westerlund, T. (2020). Smart Parking System With Dynamic Pricing, Edge-Cloud Computing And Lora. *Sensors (Switzerland)*, 20(17), 1–22. <https://doi.org/10.3390/S20174669>
- Tran, M., & Cao, X. (2025). A Distributed Edge Computing Prototype Using Raspberry Pis. *2025 IEEE 6th Annual World AI IoT Congress, Aiiot 2025*, 662–668. <https://doi.org/10.1109/Aiiot65859.2025.11105362>