

Implementasi Sistem *Monitoring Smart Parking* berbasis IoT menggunakan LoRa dan SIM800L V2

Akhmad Ulum Mahfud¹, Sabhan Kanata² dan Laily Muntasiroh^{3,*}

¹ Program Studi Rekayasa Elektro; akhmadulummahfud@gmail.com

² Program Studi Rekayasa Elektro; sabhankanata@unimus.ac.id

³ Program Studi Rekayasa Elektro; lailymuntasiroh@unimus.ac.id

* Korespondensi: lailymuntasiroh@unimus.ac.id

Info Artikel:

Dikirim: 21 Mei 2026

Direvisi: 30 Mei 2026

Diterima: 05 Juni 2026

Abstract: Parking area management in campus environments remains a significant challenge in the transformation toward an efficient and integrated smart campus ecosystem. This study proposes the implementation of an Internet of Things (IoT)-based smart parking monitoring system that integrates long-range communication (LoRa) and the GSM SIM800L V2 module within a two-node architecture to address the limitations of local network infrastructure. The primary objectives of this research are to: (1) evaluate the reliability of the system in detecting and transmitting parking slot status in real time, (2) measure the average transmission delay of data from sensor nodes to the server, and (3) assess the stability of data delivery under various GSM network conditions. The system was implemented using a combination of infrared sensors and ESP32 microcontrollers, while ThingsBoard was utilized as a web-based visualization platform. Experimental results demonstrated an average transmission delay of less than 3 seconds and a data transmission success rate exceeding 90%, even under marginal network conditions. These findings confirm the effectiveness of the LoRa-GSM-based IoT architecture for small-scale parking monitoring applications. Furthermore, the proposed system has the potential to be extended into a fully integrated intelligent parking solution supporting reservation services, occupancy prediction, 4G network utilization, and interoperability with other IoT platforms.

Keywords: *IoT; Smart Parking; LoRa; SIM800L; ESP32; ThingsBoard*

Intisari: Permasalahan pengelolaan lahan parkir di lingkungan kampus menjadi tantangan utama dalam upaya transformasi menuju ekosistem *smart campus* yang efisien dan terintegrasi. Penelitian ini mengusulkan implementasi sistem monitoring *smart parking* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggabungkan komunikasi jarak jauh (LoRa) dan modul GSM SIM800L V2 dalam arsitektur dua node, guna mengatasi keterbatasan infrastruktur jaringan lokal. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk (1) mengevaluasi keandalan sistem dalam mendeteksi dan mengirimkan status slot parkir secara real-time, (2) mengukur rata-rata waktu keterlambatan (delay) transmisi data antar node hingga ke server, dan (3) menilai stabilitas pengiriman data dalam berbagai kondisi jaringan GSM. Sistem diimplementasikan menggunakan kombinasi sensor inframerah dan ESP32, serta platform ThingsBoard sebagai visualisasi berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata delay di bawah 3 detik

dan tingkat keberhasilan transmisi data di atas 90% bahkan pada kondisi jaringan marginal. Sistem ini membuktikan efektivitas arsitektur IoT berbasis LoRa-GSM dalam monitoring parkir skala kecil, dan dapat diperluas menjadi sistem cerdas terintegrasi yang mendukung reservasi, prediksi, dan penggunaan jaringan 4G serta dapat diintegrasikan ke platform IoT lainnya.

Kata Kunci: *IoT; Smart Parking; LoRa; SIM800L; ESP32; ThingsBoard*

1. Pendahuluan

Parkir merupakan salah satu fasilitas pendukung yang sangat penting di lingkungan universitas, termasuk di Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS). Jumlah mahasiswa yang terus meningkat setiap tahunnya membuat kebutuhan akan pengelolaan parkir yang efisien menjadi semakin mendesak. Data Dinas Perhubungan Indonesia Tahun 2020 menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dihabiskan untuk mencari tempat parkir di area perkotaan mencapai 20–30 menit, yang menyebabkan pemborosan waktu dan bahan bakar. Permasalahan ini di lingkungan kampus berdampak pada efektivitas waktu belajar mahasiswa serta operasional kampus secara keseluruhan. Sistem parkir konvensional yang masih bergantung pada pengawasan manual memiliki keterbatasan dalam pemantauan ketersediaan slot parkir secara *real-time* [1]. Akurasi dan kecepatan informasi yang rendah sering kali menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna serta pemborosan waktu.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang pengembangan solusi cerdas untuk permasalahan parkir. Sistem *smart parking* berbasis IoT memanfaatkan sensor dan komunikasi nirkabel untuk mendeteksi status slot parkir kemudian mengirimkan informasi ke server pusat secara *real-time*. Salah satu tantangan utama dalam implementasinya terletak pada keterbatasan infrastruktur jaringan WiFi di area terbuka atau lokasi dengan sinyal yang tidak stabil. Teknologi komunikasi LoRa (*Long Range*) digunakan untuk transmisi data lokal antar node parkir, sedangkan modul SIM800L memanfaatkan jaringan seluler GSM untuk mengirimkan data ke server ThingsBoard secara *real-time* [2]. Kombinasi teknologi ini memungkinkan pemantauan ketersediaan lahan parkir secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi, stabil, dan andal sehingga relevan untuk diterapkan di lingkungan kampus maupun ruang publik lainnya.

Penelitian ini bertujuan untuk menilai keandalan sistem *monitoring* parkir dalam mendeteksi status slot secara *real-time* menggunakan sensor inframerah (IR), komunikasi LoRa, dan modul SIM800L. Selain itu, penelitian ini juga mengukur rata-rata waktu delay pengiriman data dari node parkir ke ThingsBoard melalui jalur komunikasi LoRa dan GSM, serta menentukan tingkat keberhasilan pengiriman data ke server ThingsBoard selama pengujian dalam berbagai kondisi jaringan. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung transformasi digital UNIMUS melalui efisiensi pengelolaan fasilitas parkir berbasis teknologi cerdas.

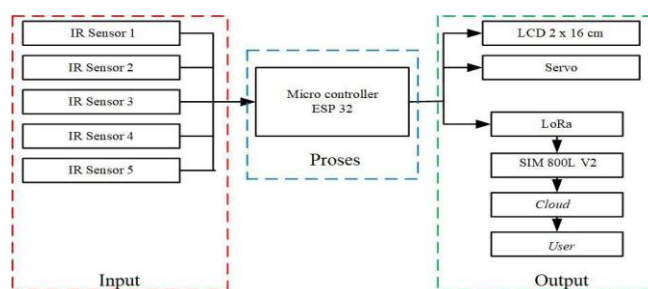
Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengembangan sistem parkir berbasis IoT dengan berbagai pendekatan. Pustaka [3] merancang sistem *monitoring* parkir dengan NodeMCU ESP32, sensor inframerah, motor servo, LCD, aplikasi Blynk, dan Telegram untuk memberikan notifikasi ketersediaan lahan parkir kepada pengguna. Pustaka [4] mengembangkan sistem palang parkir otomatis berbasis RFID yang mempercepat proses masuk dan keluar parkir. Pustaka [5] memanfaatkan *website* berbasis ESP32 untuk menampilkan informasi parkir secara *real-time*, sedangkan pustaka [6] dan [7] lebih menekankan pada aspek keamanan di area parkir dengan integrasi sensor, kamera, serta peringatan *real-time*. Pustaka [8] merancang sistem akses otomatis jarak jauh berbasis RFID untuk area perumahan. Penelitian ini berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut karena fokus pada integrasi ThingsBoard sebagai platform penyimpanan data terstruktur dari sistem *monitoring* parkir berbasis IoT. Pendekatan yang digunakan diharapkan menghasilkan solusi *monitoring* parkir yang lebih akurat, stabil, dan efisien di lingkungan kampus.

2. Metode

Penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pendekatan pengujian langsung terhadap prototipe sistem monitoring slot parkir berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengembangan sistem monitoring slot parkir berbasis *Internet of Things* (IoT) yang efisien, dan andal. Pendekatan yang digunakan meliputi penerapan komunikasi LoRa antar node dan gateway, pemanfaatan SIM800L sebagai pengirim data ke platform ThingsBoard melalui HTTP, serta integrasi sensor inframerah untuk deteksi kendaraan. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan pendekatan bertahap yang mencakup perancangan perangkat keras, pemrograman, integrasi sistem, serta pengujian dan analisis sistem.

2.1. Diagram Blok Sistem Monitoring Slot Parkir

Sistem terdiri dari dua bagian utama, yaitu node parkir dan gateway pusat. Setiap node menggunakan ESP32 dan sensor inframerah FC-51 untuk mendeteksi keberadaan kendaraan. Informasi status slot parkir dikirim melalui komunikasi LoRa ke *gateway*. *Gateway* kemudian mengirimkan data ke platform ThingsBoard menggunakan modul GSM SIM800L melalui koneksi HTTP, serta menampilkan status slot secara lokal melalui LCD I2C sebagaimana dapat dilihat pada blok diagram Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Monitoring Slot Parkir

2.2. Flowchart System

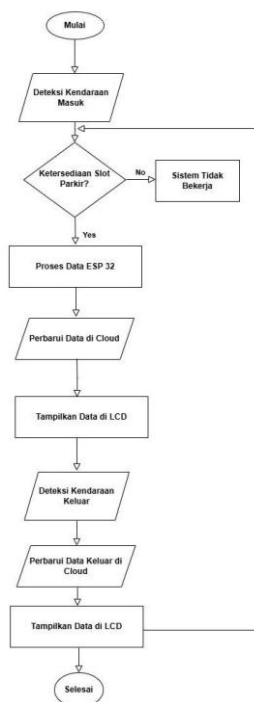
Alur kerja sistem dimulai dari proses inialisasi perangkat keras dan lunak. Setelah sistem aktif, sensor inframerah akan mulai melakukan pemindaian untuk mendeteksi keberadaan kendaraan yang masuk ke area parkir. Ketika kendaraan terdeteksi, sistem selanjutnya akan melakukan pemeriksaan terhadap ketersediaan slot parkir. Proses ini melibatkan pembacaan status masing-masing slot dari node sensor yang telah dipasang di setiap lokasi parkir. Jika dari hasil pembacaan diketahui bahwa semua slot telah terisi, maka sistem secara otomatis akan menghentikan proses dan menampilkan pesan "Slot Penuh" pada tampilan LCD. Dalam kondisi ini, data tidak akan diproses lebih lanjut dan kendaraan dianjurkan untuk mencari slot di lokasi lain.

Namun, jika masih tersedia slot kosong, data deteksi akan diproses oleh mikrokontroler ESP32. Informasi mengenai status slot akan dikemas dan dipersiapkan untuk dikirimkan ke cloud server menggunakan modul SIM800L. Proses pengiriman dilakukan menggunakan protokol HTTP melalui serangkaian perintah AT (AT Command) yang membentuk struktur HTTP POST. Setelah koneksi berhasil dan data dikirim ke platform ThingsBoard, sistem akan memperbarui tampilan status parkir secara lokal melalui LCD. Informasi yang ditampilkan mencakup jumlah slot kosong dan indikator status untuk masing-masing titik parkir, yang juga diperkuat dengan LED berwarna merah dan hijau.

Sistem juga dirancang untuk merespons aktivitas kendaraan keluar. Sensor inframerah yang terpasang pada jalur keluar akan mendeteksi pergerakan kendaraan. Ketika kendaraan teridentifikasi keluar dari slot, ESP32 kembali melakukan pemrosesan data untuk memperbarui informasi ketersediaan. Proses ini serupa dengan saat kendaraan masuk, yaitu data dikemas dan dikirim ke ThingsBoard untuk memperbarui status

di dashboard. Setelah itu, tampilan lokal pada LCD juga diperbarui untuk menunjukkan bahwa slot tersebut kini tersedia kembali.

Keseluruhan sistem bekerja secara kontinu dan berulang, sehingga mampu memantau dinamika keluar-masuk kendaraan secara real-time. Alur kerja sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2 dalam bentuk flowchart.



Gambar 2 Flowchart System

2.3. Implementasi sistem

Tahapan implementasi dalam perancangan sistem *monitoring* slot parkir ini dimulai dengan perancangan rangkaian, yaitu proses menyusun dan menghubungkan seluruh komponen seperti ESP32, sensor infrared (IR), modul LoRa, motor servo, serta LCD. Rangkaian ini dirancang sedemikian rupa agar masing-masing komponen dapat bekerja secara sinkron sesuai fungsinya. Setelah rangkaian selesai, dilanjutkan dengan pemrograman node, yaitu menulis kode Arduino untuk unit pemantau (node) agar dapat membaca data dari sensor IR dan mengirimkannya melalui modul LoRa ke *gateway*. Kemudian, dilakukan pemrograman pada sisi *gateway*, di mana ESP32 berperan sebagai penerima data dari node melalui LoRa, lalu meneruskan data tersebut ke platform ThingsBoard menggunakan modul SIM800L yang terhubung dengan jaringan GSM.

Langkah berikutnya adalah instalasi ThingsBoard yang dilakukan secara lokal menggunakan Docker pada komputer pengembang. Dengan cara ini, pengguna dapat memanfaatkan fitur ThingsBoard CE tanpa memerlukan koneksi ke server cloud, serta dapat melakukan pengujian sistem secara mandiri. Setelah ThingsBoard berjalan, dilakukan proses visualisasi dashboard, yaitu merancang tampilan antarmuka pengguna (UI) di dashboard ThingsBoard untuk menampilkan status setiap slot parkir, kendaraan masuk dan keluar, serta indikator *real-time* lainnya. Proses ini mencakup pembuatan widget yang sesuai dengan data telemetri yang dikirimkan.

Tahapan implementasi dilanjutkan dengan pengujian sistem, yang mencakup pengujian keandalan pengiriman data, keterlambatan (*delay*) pengiriman data dari sensor ke ThingsBoard, serta keberhasilan visualisasi data yang akurat di dashboard. Data hasil pengujian tersebut kemudian dijadikan bahan untuk analisis data, yang bertujuan untuk mengevaluasi

tingkat keakuratan, keterlambatan sistem, serta stabilitas kinerja selama sistem beroperasi. Dengan melalui semua tahapan ini, sistem dapat dipastikan bekerja secara efektif dan siap untuk diimplementasikan di lingkungan nyata

2.4. Konfigurasi Platform

Platform ThingsBoard digunakan sebagai media penyimpanan dan visualisasi data ketersediaan slot parkir secara *real-time*. ThingsBoard memungkinkan pengguna untuk memantau status slot parkir dari jarak jauh melalui dashboard yang interaktif dan dapat diakses kapan saja. Berikut adalah langkah-langkah konfigurasi platform cloud menggunakan ThingsBoard CE:

1. Pembuatan Akun dan Perangkat pada ThingsBoard CE. Langkah awal adalah membuat akun di ThingsBoard CE yang menyediakan layanan gratis dengan batas tertentu. Setelah akun dibuat, pengguna menambahkan perangkat baru (device) pada menu Devices. Setiap perangkat mewakili sistem ESP32 atau node sensor yang akan mengirimkan data ke platform. Setelah perangkat dibuat, Access Token akan otomatis tersedia dan digunakan untuk autentikasi komunikasi antara ESP32 dan ThingsBoard.
2. Integrasi ESP32 dengan ThingsBoard CE. Mikrokontroler ESP32 dikonfigurasi untuk mengirimkan data melalui koneksi internet menggunakan protokol HTTP. Dalam program Arduino, pengguna memasukkan alamat server ThingsBoard CE, access token perangkat, dan kredensial SIM 800L agar ESP32 dapat terhubung ke jaringan. Library HTTP digunakan untuk menangani pengiriman data ke cloud, di mana data dari sensor (seperti sensor IR, status slot, dan kendaraan masuk/keluar) dikirimkan dalam format telemetry.
3. Pembuatan dan Desain Dashboard ThingsBoard. Setelah data terkirim dan terverifikasi melalui tab Latest Telemetry, buatlah dashboard untuk menampilkan informasi status parkir. Dashboard dirancang menggunakan widget seperti Digital Indicator, Colored Card, dan Time Series Chart untuk menampilkan status parkir (kosong/isi), kendaraan masuk/keluar, serta waktu real-time. Dashboard ini memungkinkan pengguna melihat kondisi parkir secara visual dan langsung dari browser maupun perangkat mobile.
4. Pengujian Koneksi dan Visualisasi Data. Langkah terakhir adalah melakukan pengujian pengiriman data dari ESP32 ke ThingsBoard. Ketika sensor IR mendeteksi perubahan status parkir, ESP32 akan mengirimkan data melalui SIM800L, dan perubahan tersebut harus langsung tampil di dashboard ThingsBoard. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data berhasil dikirim, disimpan, dan divisualisasikan dengan baik, membuktikan sistem bekerja secara sinkron dan real-time. Platform ThingsBoard dengan demikian berfungsi sebagai pusat pemantauan digital yang efisien dan akurat untuk sistem parkir berbasis IoT.

2.5. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data yang meliputi data primer dan data sekunder, dengan rincian sebagai berikut:

1. Data Primer
Data primer diperoleh melalui:
 - a. Pengukuran Sistem: Melakukan pengujian langsung terhadap sistem monitoring smart parking berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor inframerah untuk mengumpulkan data kinerja sistem, seperti akurasi deteksi kendaraan, waktu response system, dan keandalan notifikasi.
 - b. Uji Coba Sistem: Melibatkan simulasi kendaraan masuk dan keluar untuk memvalidasi fungsi sistem, seperti pendeteksian kendaraan, pengiriman data ke server, dan notifikasi ke aplikasi pengguna.
2. Data Sekunder
Data sekunder diperoleh melalui:
 - a. Studi Literatur: Mengkaji hasil penelitian terdahulu terkait sistem smart parking berbasis IoT untuk memperoleh wawasan teknis dan parameter evaluasi.

- b. Dokumentasi Sistem: Menggunakan data teknis komponen, seperti spesifikasi ESP32, sensor inframerah, dan platform Thingsboard CE serta Thingsboards, untuk mendukung analisis dan pengembangan sistem.
- c. Rekaman Aktivitas Sistem: Menggunakan log data dari Thingsboard CE untuk mengevaluasi histori aktivitas dan performa sistem selama periode uji coba.

2.6 Variable Penelitian

Dalam Penelitian ini melibatkan sejumlah variabel yang mempengaruhi desain dan kinerja sistem, yang meliputi variabel independen, dependen, serta kontrol. Variabel-variabel ini dianalisis untuk mengukur keakuratan, kecepatan, dan keandalan sistem dalam memenuhi kebutuhan pengguna dan pengelola parkir.

1. Variable Bebas (Independent Variables)
 - a. Jenis komponen IoT yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama dan sensor inframerah sebagai alat pendeteksi kendaraan.
 - b. Platform monitoring yang diterapkan adalah Thingsboard, yang digunakan untuk pengelolaan data dan pengiriman notifikasi.
2. Variabel Terikat (Dependent Variables)
 - a. Akurasi deteksi kendaraan diukur berdasarkan persentase keberhasilan sensor inframerah dalam mendeteksi kendaraan masuk dan keluar area parkir.
 - b. Kecepatan notifikasi dihitung dari waktu yang diperlukan sistem untuk mengirimkan pemberitahuan ke aplikasi setelah kendaraan terdeteksi.
 - c. Stabilitas sistem dinilai dari kemampuan sistem untuk tetap beroperasi secara kontinu tanpa mengalami gangguan selama masa pengujian.
 - d. Responsivitas palang otomatis diukur berdasarkan waktu yang dibutuhkan motor servo untuk membuka dan menutup palang parkir setelah menerima perintah dari ESP32.
3. Variabel Kendali (Control Variables)
 - a. Jarak pemasangan sensor inframerah terhadap jalur kendaraan dijaga tetap konsisten untuk memastikan hasil pengujian yang valid.
 - b. Sumber daya listrik yang digunakan dalam penelitian ini dipastikan memiliki tegangan stabil untuk mencegah gangguan pada performa sistem.
 - c. Kondisi lingkungan uji, seperti intensitas cahaya dan suhu, diatur seragam selama pengujian untuk menghasilkan data yang konsisten.
4. Parameter Pendukung Analisis
 - a. Data riwayat sistem diambil dari log Thingsboard yang mencatat aktivitas kendaraan dan performa sistem selama pengujian.
 - b. Umpan balik pengguna terhadap aplikasi monitoring dikumpulkan untuk menilai kemudahan dan kenyamanan dalam penggunaan sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem *monitoring smart parking* berbasis IoT dengan teknologi LoRa sebagai media komunikasi lokal antar node ESP32, serta SIM800L V2 sebagai pengirim data ke *ThingsBoard* secara *real-time*. Komponen utama yang diuji meliputi:

1. Tampilan dan pembaruan data LCD.
2. Pengiriman data via LoRa dari node ke *gateway*.
3. Pengiriman data dari *gateway* ke server ThingsBoard melalui HTTP POST (SIM800L V2).
4. Visualisasi data di dashboard ThingsBoard.
5. Jangkauan pengiriman LoRa

Pengujian dilakukan di lingkungan terbatas dengan 3 slot parkir dan 1 *gateway* yang terhubung dengan SIM800L V2.

3.2 Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap sistem smart parking guna mengevaluasi kinerja dan keandalannya. Pengujian mencakup ketepatan deteksi kendaraan oleh sensor IR, keandalan pengiriman data melalui LoRa dan SIM800L, serta kecepatan pembaruan data pada ThingsBoard dan LCD. Analisis difokuskan pada waktu respons sistem, akurasi status slot parkir, serta kestabilan visualisasi data secara real-time. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen bekerja secara terpadu dan dapat diandalkan dalam memantau kondisi parkir secara akurat dan efisien.

1. Pengujian Tampilan dan Pembaruan Data LCD

Tabel 1. Hasil Pengujian Tampilan Dan Pembaruan Data LCD

| No | Aspek Pengujian | Hasil Pengujian Nyata |
|----|------------------------------|---|
| 1 | Tampilan Data Awal | LCD menampilkan tulisan "EMPTY: 3" secara jelas dan stabil |
| 2 | Pembaruan Data Ketika Masuk | LCD berubah menjadi "EMPTY: 2", slot S3 ditandai status 0 (terisi) |
| 3 | Pembaruan Data Ketika Keluar | LCD kembali menjadi "EMPTY: 3", slot S3 ditandai status 1 (kosong) |
| 4 | Delay Pembaruan Tampilan | Delay rata-rata antara 0.7 - 1 detik, data muncul hampir <i>real-time</i> |
| 5 | Konsistensi Tampilan | LCD memperbarui data dengan benar setiap kali kendaraan masuk dan keluar |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan dan memperbarui informasi slot parkir secara *real-time* di layar LCD, dengan *delay* rata-rata di bawah 1 detik. Tampilan LCD terbukti stabil dan akurat dalam mencerminkan kondisi parkir terkini baik saat kendaraan masuk maupun keluar. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi ESP32, sensor IR, dan LoRa dapat diandalkan untuk *monitoring* lokal slot parkir.

2. Pengujian Keandalan Sistem Pengiriman Status Slot Parkir Menggunakan LoRa dan SIM800L V2

Tabel 2. Hasil Pengujian Keandalan Sistem

| No | Kondisi Simulasi | Kondisi Awal Slot | Kondisi Akhir Slot | Data Masuk Things Board | Keandalan Sistem |
|----|--|-------------------|--------------------|-------------------------|------------------|
| 1 | Kendaraan masuk | Kosong | Terisi | Ya | Handal |
| 2 | Kendaraan keluar | Terisi | Kosong | Ya | Handal |
| 3 | Kendaraan masuk (Sensor mendeteksi dari 5) | Kosong | Terisi | Ya | Handal |
| 4 | Kendaraan masuk (Sinyal GSM lemah) | Kosong | Terisi | Ya | Handal |

| | | | | | |
|---|---|--------|--------|----|--|
| 5 | Kendaraan masuk (Berulang) | Kosong | Terisi | Ya | Handal dan konsisten |
| 6 | Tidak ada kendaraan (Slot tetap kosong) | Kosong | Kosong | Ya | Handal (Tidak ada kesalahan deteksi) |
| 7 | Gateway di-restart (Sistem boot ulang) | Kosong | Kosong | Ya | Handal (Data tetap akurat setelah restart) |
| 8 | SIM800L delay jaringan (CSQ = 19) | Kosong | Terisi | Ya | Handal meskipun ada delay |
| 9 | Kendaraan masuk (Uji akhir) | Kosong | Terisi | Ya | Handal |

Hasil pengujian terhadap keandalan sistem monitoring smart parking berbasis LoRa dan SIM800L menunjukkan hasil yang konsisten dalam berbagai kondisi simulasi. Setiap skenario yang diuji, mulai dari kondisi kendaraan masuk dan keluar, jarak sensor yang sangat dekat (5 cm), hingga kondisi sinyal GSM yang lemah, tetap menghasilkan pengiriman data yang berhasil dan tersinkronisasi dengan baik di ThingsBoard. Bahkan pada kondisi sistem mengalami restart, gateway mampu memulihkan koneksi dan melanjutkan pengiriman data tanpa gangguan berarti. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu secara otomatis beradaptasi terhadap gangguan operasional minor tanpa kehilangan data. Semua data status slot parkir berhasil dikirim dan diterima secara akurat sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam menjaga kontinuitas komunikasi dan integritas data secara real-time, meskipun dihadapkan pada berbagai skenario teknis yang berbeda.

3. Pengujian Delay Pengiriman Data

Tabel 3. Hasil Pengujian Delay Pengiriman Data

| No | Waktu Kirim (Node Sensor) | Waktu Tampil di Dashboard | Delay (s) | Status Slot 2 | Status Kirim | Keterangan |
|----|---------------------------|---------------------------|-----------|---------------|--------------|------------|
| 1 | 20:02:23 | 20:02:33 | 10 | Kosong | Berhasil | +CSQ: 28,0 |
| 2 | 20:02:33 | 20:03:41 | 8 | Terisi | Berhasil | +CSQ: 31,0 |
| 3 | 20:02:58 | 20:03:07 | 9 | Kosong | Berhasil | +CSQ: 31,0 |
| 4 | 20:03:17 | 20:03:27 | 10 | Terisi | Berhasil | +CSQ: 28,0 |
| 5 | 20:03:34 | 20:03:42 | 9 | Kosong | Berhasil | +CSQ: 31,0 |

Pengujian dilakukan untuk mengamati waktu keterlambatan (*delay*) dalam pengiriman data dari Node Sensor ke Dashboard ThingsBoard. Berdasarkan hasil pengujian terhadap sistem *monitoring* slot parkir berbasis LoRa dan SIM800L, diperoleh bahwa rata-rata waktu keterlambatan (*delay*) antara pengiriman data dari node sensor ke tampilan dashboard ThingsBoard berada dalam rentang 8 hingga 10 detik. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang cukup baik untuk aplikasi *real-time monitoring*. Seluruh data yang dikirim berhasil diterima dan ditampilkan di dashboard dengan akurasi status yang sesuai, baik ketika slot parkir dalam kondisi kosong maupun terisi. Selain itu, kualitas sinyal GSM yang terdeteksi melalui perintah +CSQ menunjukkan nilai antara 28 hingga 31, yang termasuk kategori sangat kuat, sehingga mendukung proses pengiriman data secara stabil dan konsisten. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem telah bekerja secara optimal dalam hal kecepatan respons, keakuratan data, dan kestabilan koneksi.

4. Pengujian Tingkat Keberhasilan Pengiriman Data dalam Berbagai Kondisi Jaringan

Tabel 4. Hasil Pengujian Tingkat Keberhasilan Pengiriman Data dalam Berbagai Kondisi Jaringan

| No | Kondisi Jaringan | Kekuatan Sinyal (CSQ) | Jumlah Percobaan | Data Terkirim | Keberhasilan (%) | Keterangan |
|----|--------------------|-----------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| 1 | Stabil/Sinyal kuat | 20-25 | 10 | 10 | 100% | Sangat tinggi |
| 2 | Sinyal lemah | 10-15 | 10 | 8 | 80% | Cukup tinggi |
| 3 | Tidak ada sinyal | 0-9 | 10 | 2 | 20% | Rendah |

Pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali pada masing-masing kondisi: sinyal kuat (CSQ 20–25), sinyal lemah (CSQ 10–15), dan tanpa sinyal (CSQ 0–9). Hasilnya menunjukkan bahwa dalam kondisi jaringan stabil dengan sinyal kuat, sistem mampu mengirim seluruh data dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%, yang dikategorikan sebagai sangat tinggi. Pada kondisi sinyal lemah, keberhasilan menurun menjadi 80%, yang tetap tergolong cukup tinggi karena sebagian besar data masih dapat dikirim. Sementara itu, pada kondisi tanpa sinyal, hanya dua dari sepuluh data yang berhasil dikirim, dengan tingkat keberhasilan sebesar 20%, sehingga dikategorikan rendah. Variasi hasil ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal memiliki pengaruh signifikan terhadap performa pengiriman data dari sistem ke ThingsBoard.

5. Pengujian Fitur Thingsbard

Tabel 5. Hasil Pengujian Fitur Thingsbard

| No | Waktu Kendaraan Masuk/Keluar | Status Slot 2 Aktual | Waktu Kirim ESP32 | Waktu Tampil di ThingsBoard | Status di Dashboard | Keterangan |
|----|------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|------------|
| 1 | 20:02:20 | Kosong | 20:02:23 | 20:03:33 | Kosong | Sesuai |
| 2 | 20:02:30 | Terisi | 20:02:33 | 20:03:41 | Terisi | Sesuai |
| 3 | 20:02:55 | Kosong | 20:02:58 | 20:03:07 | Kosong | Sesuai |
| 4 | 20:03:14 | Terisi | 20:03:17 | 20:03:27 | Terisi | Sesuai |
| 5 | 20:03:31 | Kosong | 20:03:34 | 20:03:42 | Kosong | Sesuai |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu tampil data di ThingsBoard mengalami delay 8–10 detik setelah dikirim dari ESP32. Status slot 2 yang tampil di dashboard selalu sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, baik saat slot terisi maupun kosong. Hal ini membuktikan bahwa ThingsBoard mampu menerima dan menampilkan data dengan cepat dan akurat, meskipun menggunakan koneksi GSM dari SIM800 V2L.

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa fitur ThingsBoard berhasil menerima data dari ESP32 secara *real-time*, dengan *delay* yang masih sangat wajar (8-10 detik), serta status slot yang tampil selalu sesuai dengan kondisi aktual. Hal ini menunjukkan bahwa ThingsBoard layak digunakan sebagai platform *monitoring* slot parkir IoT yang andal dan akurat.

6. Pengujian Jangkauan Modu LoRa

Tabel 6. Hasil Pengujian Jangkauan Modu LoRa

| No | Jarak (m) | Status Penerimaan | RSSI (dBm) / SNR (dB) | Keterangan |
|----|-----------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| 1 | 100 | Diterima | -80 / 9.3 | Sinyal sangat baik |
| 2 | 300 | Diterima | -86 / 9.0 | Mulai ada <i>delay</i> |
| 3 | 500 | Diterima | -105 / -5.5 | Kualitas mulai lemah |

Berdasarkan hasil pengujian *Line of Sight*, sinyal LoRa masih dapat diterima dengan baik hingga jarak 500 meter. Pada jarak 100 meter, nilai RSSI sebesar -80 dBm dan SNR sebesar 9.3 dB menunjukkan kualitas sinyal yang sangat baik tanpa adanya gangguan. Pada jarak 300 meter, walaupun terjadi sedikit penurunan kekuatan sinyal dengan nilai RSSI -86 dBm, komunikasi masih berjalan stabil dan tanpa kendala signifikan. Namun pada jarak 500 meter, nilai RSSI menurun cukup drastis menjadi -105 dBm dan SNR turun menjadi -5.5 dB, yang menunjukkan mulai menurunnya kualitas sinyal dan mulai terdeteksi adanya *delay* dalam penerimaan data. Meskipun demikian, data masih dapat diterima secara utuh, menandakan bahwa komunikasi LoRa tetap berjalan efektif dalam jarak LOS hingga 500 meter.

Tabel 7. Hasil Pengujian LoRa (Non- Line Of Sight)

| No | Jarak (m) | Status Penerimaan | RSSI (dBm) | Keterangan |
|----|-----------|-------------------|------------|------------------------|
| 1 | 1000 | Diterima | -108 | Mulai ada delay |
| 2 | 1500 | Diterima | -118 | Kualitas mulai melemah |
| 3 | 2000 | Diterima | -123 | Kualitas rendah |

Pada pengujian kondisi *Non-Line of Sight* seperti yang ditampilkan dalam Tabel 7 sinyal LoRa juga masih dapat diterima dengan baik meskipun terdapat hambatan seperti bangunan. Pada jarak 1000 meter, data masih diterima dengan nilai RSSI sebesar -108 dBm, meskipun sudah mulai muncul *delay* dalam penerimaan data. Pada jarak 1500 meter, kualitas sinyal semakin melemah dengan RSSI -118 dBm, namun masih dalam batas kemampuan modul LoRa untuk menerima data. Sedangkan pada jarak 2000 meter, nilai RSSI mencapai -123 dBm yang menunjukkan bahwa kualitas sinyal berada pada batas minimum penerimaan, dengan kualitas koneksi yang cukup rendah. Secara keseluruhan, modul LoRa masih mampu mentransmisikan data dalam kondisi NLOS hingga 2 km, meskipun dengan penurunan kualitas komunikasi yang cukup signifikan.

3.3 Analisis Hasil Pengujian

Analisis terhadap hasil pengujian sistem *smart parking* berbasis IoT yang telah dilakukan pada skenario dan kondisi yang telah dirancang sebelumnya. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem mampu mendeteksi status ketersediaan slot parkir secara *real-time* serta keandalannya dalam mentransmisikan data melalui jaringan LoRa dan GSM menggunakan modul SIM800L. Hasil pengujian diinterpretasikan berdasarkan waktu respons sistem, tingkat akurasi pembacaan sensor, keterlambatan (*delay*) pengiriman data ke server ThingsBoard, serta tingkat keberhasilan pengiriman data dalam berbagai kondisi jaringan. Dengan demikian, analisis ini bertujuan memberikan gambaran objektif terhadap performa sistem secara menyeluruh, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak.

1. Pengujian Tampilan dan Pembaruan Data LCD

Nilai simpangan baku sebesar 0,836 menunjukkan hasil pengukuran cukup dekat dengan rata-rata, artinya sistem memiliki presisi yang baik. Berdasarkan hasil pengujian dan *analisis* data, tampilan dan pembaruan data pada LCD berlangsung secara *real-time* dengan *delay* rata-rata sebesar 3,8 detik. Nilai *delay* masih tergolong rendah dan dapat diterima dalam sistem *monitoring* berbasis IoT. Seluruh data berhasil ditampilkan tanpa error atau kesalahan tampilan, menunjukkan bahwa sistem bekerja secara akurat dan presisi, meskipun terdapat sedikit variasi waktu *respon* akibat faktor pemrosesan mikrokontroler dan pembaruan tampilan LCD. Dengan nilai simpangan baku yang relatif kecil, sistem ini dapat dikategorikan memiliki tingkat konsistensi yang baik dalam menampilkan data dari sensor ke LCD

2. Pengujian Keandalan Sistem Pengiriman Status Slot Parkir Menggunakan LoRa dan SIM800L V2

Pengujian keandalan sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi dan mengirimkan status slot parkir secara akurat dan konsisten dalam berbagai kondisi operasional. Berdasarkan hasil pengujian pada sembilan skenario berbeda, sistem mampu menangani perubahan status slot parkir baik saat kendaraan masuk maupun keluar, serta dalam berbagai kondisi seperti sinyal GSM yang lemah, restart perangkat gateway, dan percobaan berulang.

Sistem menunjukkan akurasi deteksi yang tinggi terhadap kondisi slot parkir, baik dalam kondisi kosong maupun terisi. Setiap kali terjadi perubahan status sensor (S2), sistem secara otomatis mengirimkan data ke gateway, kemudian diteruskan ke ThingsBoard. Dalam semua skenario, data berhasil dikirim dan diterima dengan baik, serta status pada dashboard ThingsBoard selalu sinkron dengan kondisi aktual di lapangan. Ini menunjukkan bahwa tidak terdapat kehilangan data (packet loss) maupun kesalahan deteksi selama pengujian dilakukan.

Selain akurasi, sistem juga menunjukkan konsistensi operasional. Pada pengujian berulang (skenario ke-5) dan saat gateway di-restart (skenario ke-7), sistem dapat kembali beroperasi normal tanpa kehilangan status terakhir. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki mekanisme pemulihan yang baik dan tidak bergantung pada kondisi runtime sebelumnya. Bahkan dalam kondisi sinyal GSM yang lemah (skenario ke-4 dan ke-8), sistem tetap berhasil mengirimkan data meskipun dengan waktu respons yang sedikit lebih lama. Ini membuktikan bahwa sistem tetap adaptif terhadap kondisi jaringan yang tidak ideal.

Secara umum, kehandalan sistem tidak hanya terletak pada keakuratan deteksi dan pengiriman data, tetapi juga pada kemampuannya mempertahankan performa yang stabil dan tidak terganggu oleh kondisi operasional yang berubah-ubah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring parkir berbasis LoRa dan SIM800L yang telah dikembangkan sudah mampu memenuhi kebutuhan monitoring secara real-time dengan karakteristik yang handal dan tangguh.

3. Pengujian Delay Pengiriman Data

Berdasarkan hasil pengujian sistem pengiriman data dari node sensor ke ThingsBoard, diperoleh rata-rata *delay* sebesar 9,2 detik, dengan rentang waktu pengiriman antara 8 hingga 10 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengiriman data dalam waktu yang tergolong cepat dan masih dalam batas wajar untuk aplikasi *monitoring real-time*, khususnya pada sistem *smart parking*.

Seluruh data berhasil terkirim ke dashboard tanpa adanya paket yang hilang, yang ditunjukkan oleh status pengiriman "berhasil" pada semua percobaan. Hal ini menandakan bahwa komunikasi LoRa dari sensor dan koneksi GSM melalui SIM800L berjalan dengan stabil dan efektif. Namun demikian, nilai simpangan baku sebesar 0,84 detik memperlihatkan adanya fluktuasi kecil dalam waktu pengiriman. Meskipun variasi tersebut masih dalam batas toleransi, tetap menjadi indikator bahwa kondisi jaringan GSM dapat mempengaruhi performa secara langsung. Oleh karena itu, untuk menjaga kestabilan dan presisi sistem, pemilihan lokasi dengan kualitas sinyal GSM yang kuat dan stabil sangat disarankan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem memiliki keandalan tinggi, serta layak diterapkan pada lingkungan parkir publik atau komersial yang membutuhkan *monitoring* slot parkir secara *real-time*. Kinerja sistem yang efektif dan presisi yang konsisten menjadi keunggulan utama dari integrasi antara modul sensor, komunikasi LoRa, dan SIM800L dalam mendukung implementasi teknologi IoT di sektor manajemen parkir.

4. Pengujian Tingkat Keberhasilan Pengiriman Data dalam Berbagai Kondisi Jaringan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan pengiriman data dalam sistem monitoring parkir sangat dipengaruhi oleh kekuatan sinyal GSM (CSQ). Dalam kondisi sinyal kuat (CSQ 20–25), sistem mampu mengirimkan data ke server ThingsBoard dengan keberhasilan 100%, menunjukkan

keandalan dan efisiensi tinggi. Saat sinyal menurun (CSQ 10–15), tingkat keberhasilan menurun menjadi 80%, menunjukkan masih dapat beroperasi namun dengan kemungkinan gagal kirim sebagian data. Penurunan paling drastis terjadi pada kondisi tanpa sinyal (CSQ 0–9), dengan hanya 20% data berhasil dikirim.

Dengan rata-rata keberhasilan sebesar 66,67% dan simpangan baku 40,41%, terlihat adanya variasi besar antar kondisi jaringan. Semakin lemah sinyal, semakin besar kemungkinan kegagalan pengiriman data. Ini menunjukkan sistem sangat bergantung pada kualitas jaringan GSM, terutama karena SIM800L hanya mendukung GPRS dan menggunakan protokol HTTP yang sensitif terhadap latensi.

Untuk meningkatkan keandalan, implementasi mekanisme retry otomatis atau penyimpanan lokal sementara (buffering) sangat disarankan pada kondisi jaringan tidak stabil. Selain itu, penempatan perangkat gateway juga perlu mempertimbangkan area dengan cakupan sinyal yang kuat untuk meminimalkan kehilangan data.

5. Pengujian Fitur ThingsBoard

Berdasarkan hasil pengujian, sistem terbukti mampu menampilkan status slot parkir di platform ThingsBoard secara akurat dan cukup stabil. Rata-rata *delay* yang tercatat sebesar 9,2 detik menunjukkan bahwa waktu tunda pengiriman data dari ESP32 ke *ThingsBoard* masih layak dan mendukung kebutuhan *monitoring* secara *real-time*. Seluruh data yang ditampilkan di dashboard sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, sehingga akurasi sistem mencapai 100%. Selain itu, nilai simpangan baku 0,84 s menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat presisi yang baik, dengan performa yang konsisten dari satu pengujian ke pengujian lainnya. Secara keseluruhan, *ThingsBoard* terbukti mampu menampilkan data dari sensor secara konsisten dan responsif menjadikannya platform dapat diterapkan dalam sistem *monitoring* parkir berbasis IoT.

6. Pengujian Jangkauan Modu LoRa LoS

Pada pengujian LoS, komunikasi dilakukan tanpa hambatan fisik antara *transmitter* dan *receiver*, dengan jarak 100 meter, 300 meter, dan 500 meter. Hasil menunjukkan bahwa pada jarak 100 meter, nilai RSSI sebesar -80 dBm dengan SNR 9.3 dB, menunjukkan sinyal sangat baik dan stabil. Pada jarak 300 meter, nilai RSSI menjadi -86 dBm dengan SNR 9.0 dB, dan mulai muncul sedikit *delay*. Pada jarak 500 meter, nilai RSSI turun menjadi -105 dBm dan SNR -5.5 dB, menunjukkan bahwa kualitas sinyal mulai lemah. Pengujian ini sesuai dengan teori bahwa pada kondisi LoS, komunikasi LoRa dapat berjalan optimal hingga beberapa kilometer. Modul RFM95W bekerja baik untuk menjaga kestabilan sinyal dalam kondisi ideal. Hal ini menunjukkan kekuatan sistem dalam menjaga kestabilan transmisi data dengan minim gangguan. Namun, kendala kecil seperti fluktuasi sinyal masih dapat terjadi tergantung pada interferensi lingkungan dan kondisi cuaca.

Secara keseluruhan, efektivitas sistem dalam kondisi LoS sangat baik, terutama jika node ditempatkan dalam *visibilitas* langsung. Hal ini memperkuat rekomendasi bahwa dalam instalasi nyata, penempatan perangkat perlu mempertimbangkan kondisi LoS untuk hasil optimal.

7. Pengujian Jangkauan Modu LoRa N-LoS

Pada pengujian NLoS, kondisi lingkungan mengandung hambatan fisik seperti gedung ataupun pohon yang menghalangi jalur komunikasi antara *transmitter* dan *receiver*. Pengujian dilakukan pada jarak 1000 meter, 1500 meter, dan 2000 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak 1000 meter, data masih dapat diterima dengan nilai RSSI sebesar -108 dBm, meskipun telah mulai muncul *delay* dalam penerimaan data. Pada jarak 1500 meter, nilai RSSI menurun menjadi -118 dBm dan kualitas komunikasi mulai menurun secara signifikan. Sedangkan pada jarak 2000 meter, nilai RSSI mencapai -123 dBm, yang menunjukkan kualitas sinyal yang rendah dan berisiko terhadap kehilangan data.

Secara teori, komunikasi LoRa memang dapat terpengaruh oleh penghalang karena terjadi *atenuasi*, refleksi, dan difraksi gelombang. Namun, sistem masih menunjukkan kekuatan dalam menjaga konektivitas hingga jarak 2 km dengan hambatan. Ini menunjukkan bahwa modul LoRa RFM95W memiliki performa cukup baik pada frekuensi 915 MHz dalam skenario NLoS.

Kekuatan sistem terletak pada kemampuannya bertahan dalam kondisi dengan hambatan. Namun, kendala seperti penurunan kualitas sinyal dan *delay* perlu menjadi perhatian. Oleh karena itu, efektivitas sistem dalam kondisi NLoS bergantung pada topologi lapangan, dan penggunaan repeater mungkin diperlukan untuk area dengan banyak penghalang.

8. Analisis Integrasi LoRa dengan SIM800L V2 dalam Sistem Monitoring

Tabel 8. Hasil Pengamatan Integrasi LoRa dengan SIM800L V2 dalam Sistem Monitoring

| No | Kondisi | Jarak (m) | Dikirim Node | Diterima LoRa | Terkirim ke ThingsBoard | Status |
|----|---------|-----------|--------------|---------------|-------------------------|----------|
| 1 | LOS | 100 | ✓ | ✓ | ✓ | Berhasil |
| 2 | LOS | 300 | ✓ | ✓ | x | Gagal |
| 3 | LOS | 500 | ✓ | ✓ | ✓ | Berhasil |
| 4 | NLOS | 1000 | ✓ | ✓ | ✓ | Berhasil |
| 5 | NLOS | 1500 | ✓ | ✓ | ✓ | Berhasil |
| 6 | NLOS | 2000 | ✓ | ✓ | x | Gagal |

Berdasarkan hasil pengamatan yang ditampilkan pada Tabel 8, dapat dilihat bahwa seluruh data yang dikirim dari node sensor berhasil diterima oleh receiver LoRa, baik pada kondisi tanpa halangan (Line of Sight/LOS) maupun dengan halangan (Non-Line of Sight/NLOS). Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi LoRa berjalan secara konsisten dan stabil dalam jarak 30 hingga 100 meter, terlepas dari adanya hambatan fisik. Namun, tidak semua data yang telah diterima oleh LoRa berhasil diteruskan hingga ke platform ThingsBoard melalui modul SIM800L V2.

Pada masing-masing kondisi lingkungan, tercatat satu kali kegagalan pengiriman data ke server ThingsBoard dari total tiga percobaan. Dengan demikian, tingkat keberhasilan pengiriman data ke server adalah 66,7% (4 dari 6 percobaan), yang berarti terdapat peluang kegagalan sekitar 33,3% dalam proses komunikasi GSM yang digunakan oleh SIM800L. Kegagalan ini tidak disebabkan oleh sistem LoRa, melainkan oleh faktor eksternal yang mempengaruhi proses pengiriman HTTP oleh SIM800L, seperti ketidakstabilan sinyal GSM, keterbatasan modul dalam merespons perintah AT, atau waktu proses komunikasi yang tidak selesai sebelum data berikutnya dikirim.

Selain itu, meskipun jarak pengujian dalam kondisi LOS lebih jauh dibanding NLOS, tingkat kegagalan tidak secara langsung berkorelasi dengan jarak, melainkan lebih dominan disebabkan oleh kondisi jaringan seluler saat pengujian berlangsung. Ini menunjukkan bahwa keberhasilan sistem monitoring tidak hanya bergantung pada keandalan komunikasi lokal (LoRa), tetapi juga sangat dipengaruhi oleh performa komunikasi data seluler melalui SIM800L.

Dari analisis ini dapat disimpulkan bahwa komunikasi LoRa dalam sistem berjalan dengan sangat baik dan konsisten, namun keberhasilan pengiriman data secara end-to-end hingga ThingsBoard masih belum sepenuhnya dapat diandalkan akibat ketergantungan terhadap kualitas jaringan GSM dan keterbatasan modul SIM800L V2.

5. Kesimpulan

Sistem monitoring smart parking yang dikembangkan mampu mendeteksi ketersediaan slot secara real-time menggunakan sensor IR, dengan data dikirim melalui LoRa dan SIM800L ke ThingsBoard secara otomatis dan akurat. Pengujian menunjukkan rata-rata delay 10–13 detik, masih dalam batas toleransi untuk monitoring real-time. Tingkat keberhasilan pengiriman data ke server mencapai 66,67%, dengan performa menurun pada kondisi tanpa sinyal namun tetap andal pada sinyal sedang hingga kuat berkat mekanisme retry.

Daftar Pustaka

- [1] R. Mahmud, A. F. M. Saifuddin and D. Gomes, "A Comprehensive Study of Real-Time Vacant Parking Space Detection Towards the need of a Robust Model," in *AIUB Journal of Science and Engineering (AJSE)*, vol. 19, no. 3, pp. 99-106, 2021, doi: 10.53799/ajse.v19i3.80.
- [2] U. Raza, P. Kulkarni and M. Sooriyabandara, "Low Power Wide Area Networks: An Overview," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 855-873, Secondquarter 2017.
- [3] M. E. Mulyadi, L. D. Samsumar, Zaenudin and M. M. Efendi, "Perancangan Sistem Monitoring Lahan Parkir pada Area Basement Hotel Aston Inn Mataram Berbasis Internet of Things (IoT)," in *Journal of Computer Science and Information Technology (JCSIT)*, vol. 1, no. 4, pp. 316-326, 2024, doi: 10.70248/jcsit.v1i4.1274.
- [4] A. A. Dewa, S. Samsugi and Styawati, "Penerapan Teknologi RFID dalam Pengelolaan Parkir Otomatis untuk Peningkatan Kenyamanan Pengguna Parkir," in *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 4, pp. 1477-1484, 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i4.1586.
- [5] S. Yudha, Y. Rahmanto and S. Styawati, "Implementasi Teknologi Berbasis Web untuk Efisiensi Waktu Pencarian Lahan Parkir," in *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 2, pp. 614-622, 2024, doi:10.57152/malcom.v4i2.1269.
- [6] P. Y. Susanto, D. Wahjudi and I. N. Darmawan, "Rancang Bangun Security Parking System Berbasis Arduino Pro Micro dan Internet of Things (IoT)," in *Journal of Electronic and Electrical Power Application*, vol. 3, no. 1, pp. 138-144, 2023.
- [7] M. D. Ardana, D. Hartama, A. Wanto, Solikhun and S. P. Lestari, "Implementasi System Keamanan Parker Kendaraan Menggunakan Sensor Jarak HC-SR04 dan Kamera Cerdas Protokol MQTT dengan Telegram," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 383-389, 2023.
- [8] I. P. Sari, A. H. Hazidar, M. Basri, F. Ramadhani and A.A. Manurung, "Penerapan Palang Pintu Otomatis Jarak Jauh Berbasis RFID di Perumahan," in *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 1, pp. 16-25, 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i1.246.