

Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Peminjaman Arsip Berbasis ESP32 Menggunakan Komunikasi LoRa

Irmayani Irmayani* ; Elsavanie Nadine; M. Fadhli Abdillah

Program studi Teknik Elektro, FSTT, Institut Sains dan Teknologi Nasional

e-mail: ir.irmayani@istn.ac.id

Abstrak

Proses peminjaman arsip di Arsip Nasional Republik Indonesia (ANRI) masih dilakukan secara konvensional sehingga memerlukan waktu relatif lama dan berpotensi menimbulkan kesalahan pencatatan. Selain itu, keterbatasan koneksi internet pada ruang penyimpanan arsip menjadi kendala dalam penerapan sistem berbasis jaringan umum. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan Sistem Monitoring Peminjaman Arsip berbasis mikrokontroler ESP32 dengan komunikasi Long Range (LoRa) dan teknologi Radio Frequency Identification (RFID) guna meningkatkan efisiensi, akurasi, serta keandalan transmisi data. Sistem bekerja dengan membaca identitas arsip menggunakan RFID, kemudian mengirimkan data melalui LoRa ke gateway yang terhubung dengan Firebase sebagai basis data terpusat untuk pemantauan secara real-time. Pengujian dilakukan melalui evaluasi parameter Quality of Service (QoS) antara LoRa Node dan LoRa Gateway pada jarak 100 meter menggunakan Wireshark berdasarkan standar TIPHON. Parameter yang diukur meliputi throughput, packet loss, delay, dan jitter. Hasil pengujian menunjukkan nilai packet loss sebesar 0%, rata-rata delay sebesar 0,48 ms, dan jitter sebesar 0 ms yang termasuk dalam kategori “Sangat Bagus”, serta rata-rata throughput sebesar 634,69 Kbps yang tergolong dalam kategori “Sedang”. Berdasarkan standar TIPHON, sistem memperoleh indeks rata-rata 3,5 dan termasuk dalam kategori “Bagus”. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan lebih efisien dibandingkan metode konvensional, mampu bekerja secara real-time, serta membantu meminimalkan potensi human error dalam proses monitoring peminjaman arsip pada lingkungan dengan keterbatasan jaringan internet.

Kata kunci: Peminjaman Arsip, ESP32, LoRa, RFID, Quality of Service.

Abstract

The archival borrowing process at the National Archives of the Republic of Indonesia (ANRI) is still carried out conventionally, resulting in relatively long processing times and potential recording errors. In addition, limited internet connectivity in archival storage rooms poses challenges for implementing systems based on public networks. This study aims to design and implement an Archive Borrowing Monitoring System based on the ESP32 microcontroller using Long Range (LoRa) communication and Radio Frequency Identification (RFID) technology to improve efficiency, accuracy, and data transmission reliability. The system identifies archives using RFID and transmits the data via LoRa to a gateway connected to Firebase as a centralized database for real-time monitoring. Testing was conducted by evaluating Quality of Service (QoS) parameters between the LoRa Node and LoRa Gateway at a distance of 100 meters using Wireshark, based on the TIPHON standard. The measured parameters include throughput, packet loss, delay, and jitter. The results show a packet loss of 0%, an average delay of 0.48 ms, and a jitter of 0 ms, all categorized as “Very Good,” while the average throughput of 634.69 Kbps falls into the “Moderate” category. Based on the TIPHON standard, the system achieved an average index score of 3.5 and is classified as “Good.” Overall, the developed system is more efficient than the conventional method, operates in real time, and helps minimize human error in monitoring archive borrowing in environments with limited internet connectivity.

Keywords: Archive Borrowing, ESP32, LoRa, RFID, Quality of Service.

1. PENDAHULUAN

Arsip Nasional Republik Indonesia (ANRI) merupakan lembaga pemerintah nonkementerian yang melaksanakan tugas negara di bidang kearsipan dan berkedudukan di ibu kota Negara. ANRI memiliki tanggung jawab dalam penyimpanan, pemeliharaan, dan penyelamatan arsip negara, serta menyediakan akses arsip bagi kepentingan pemerintahan, pembangunan, penelitian, dan pengembangan ilmu pengetahuan (Pemerintah Indonesia, 2024).

Proses peminjaman arsip di lingkungan ANRI masih dilakukan secara konvensional. Pengguna terlebih dahulu mengisi formulir peminjaman, kemudian petugas layanan menerima dan mencatat data tersebut ke dalam aplikasi yang terhubung dengan subdirektorat penyimpanan arsip. Selanjutnya, petugas penyimpanan mencari arsip dan membuat catatan menggunakan kertas Non Carbon Required (NCR) yang terdiri dari dua salinan, yaitu satu ditempelkan pada arsip yang dipinjam dan satu disimpan sebagai arsip data di unit penyimpanan. Alur kerja tersebut memerlukan waktu relatif lama dan berpotensi

menimbulkan ketidakefisienan maupun kesalahan pencatatan antarunit.

Selain itu, keterbatasan infrastruktur jaringan di ruang penyimpanan arsip menjadi tantangan tersendiri. Sinyal Wi-Fi pada ruang arsip sering kali tidak stabil akibat faktor struktural dan material penyimpanan, seperti penggunaan filling cabinet berbahan logam yang dapat menghambat propagasi sinyal. Kondisi ini menyulitkan penerapan sistem monitoring berbasis jaringan internet konvensional.

Teknologi Long Range (LoRa) menawarkan solusi komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah dan tidak bergantung pada koneksi internet publik, sehingga sesuai diterapkan pada lingkungan dengan keterbatasan jaringan. Sistem yang dirancang memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan data. Pemilihan ESP32 didasarkan pada kemampuannya dalam mendukung komunikasi nirkabel, memiliki prosesor dual-core dengan performa tinggi, konsumsi daya rendah, serta kompatibilitas yang baik dengan berbagai modul komunikasi seperti LoRa dan RFID. Selain itu, ESP32 memiliki fleksibilitas pengembangan pada sistem Internet of Things (IoT) dan mendukung komunikasi data yang andal pada berbagai topologi jaringan, termasuk pengembangan sistem mesh untuk memperluas cakupan area (Irmayani et al., 2025) (Abdillah et al., 2025). Keunggulan tersebut menjadikan ESP32 sebagai platform yang tepat untuk sistem monitoring yang membutuhkan efisiensi, skalabilitas, dan keandalan transmisi data.

Sebagai bagian dari sistem monitoring, diterapkan pula teknologi Radio Frequency Identification (RFID) untuk meningkatkan akurasi identifikasi arsip. Teknologi ini memungkinkan pencatatan peminjaman dan pengembalian arsip dilakukan secara otomatis dan meminimalkan kesalahan input manual. Data hasil identifikasi dan transaksi peminjaman kemudian dikirim melalui LoRa ke gateway dan disimpan secara terpusat pada Firebase Realtime Database, yaitu platform basis data berbasis cloud yang menyediakan sinkronisasi data secara real-time, autentikasi, serta akses berbasis web dan perangkat bergerak. Firebase dipilih karena kemudahan integrasi dengan ESP32, skalabilitas tinggi, serta dukungan komunikasi asynchronous yang sesuai dengan kebutuhan monitoring arsip yang bersifat dinamis dan tersebar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dirancang Sistem Monitoring Peminjaman Arsip berbasis mikrokontroler ESP32 dengan komunikasi LoRa yang terintegrasi teknologi RFID dan Firebase. Sistem ini diharapkan menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan akurasi dalam manajemen peminjaman arsip di lingkungan ANRI, khususnya pada kondisi keterbatasan infrastruktur jaringan.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Monitoring

Sistem monitoring merupakan proses pengumpulan data dari berbagai sumber secara real-time, yang selanjutnya dianalisis dan ditampilkan untuk tujuan pengawasan dan evaluasi. Secara umum, sistem monitoring memiliki tiga tahapan utama, yaitu: pengumpulan data, analisis data, dan penyajian hasil monitoring (Martin & Nilawati, 2024).

Tujuan utama sistem monitoring meliputi memastikan suatu proses berjalan sesuai prosedur, meningkatkan akurasi data, mendeteksi hasil yang tidak diinginkan dengan cepat, serta menumbuhkan motivasi dan kebiasaan positif pekerja. Efektivitas sistem monitoring dapat dicapai apabila dirancang sederhana dan mudah dipahami, fokus pada indikator utama, memiliki perencanaan teknis, serta prosedur pengumpulan data yang tepat agar menghindari kesalahan input dan output data (Martin & Nilawati, 2024).

Penelitian Martin dan Nilawati (2024) tentang sistem informasi peminjaman arsip berbasis web menunjukkan bahwa digitalisasi peminjaman arsip mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi kesalahan pencatatan dibandingkan metode manual. Persamaan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah sama-sama bertujuan mendigitalisasi proses peminjaman arsip, sedangkan perbedaannya terletak pada platform database yang digunakan MySQL, subjek penelitian Komisi Nasional HAM, teknologi yang diterapkan web, dan metode pengujian black box.

2.2 Peminjaman Arsip

Peminjaman arsip adalah proses keluarnya arsip dari unit penyimpanan karena dipinjam oleh pihak internal maupun eksternal organisasi, yang memerlukan pencatatan untuk mengetahui lokasi arsip, pihak yang meminjam, waktu peminjaman, dan batas pengembalian (Mulyono et al., 2011)(Sattar, 2019).

Cara paling efektif dalam mencatat peminjaman arsip adalah menggunakan lembar pinjam arsip (out slip). Lembar ini berfungsi sebagai bukti peminjaman, pengingat pihak yang meminjam dan batas waktu pengembalian, tanda bahwa arsip sedang dipinjam, pencegah kehilangan arsip, dan dasar untuk penilaian arsip (Tuginem & Trisiyani, 2018).

Di lingkungan ANRI, proses peminjaman arsip dimulai dari petugas layanan yang menerima formulir peminjaman dari pengguna dan memeriksa kesesuaian dokumen. Selanjutnya, petugas mencatat data ke aplikasi peminjaman yang terhubung dengan Subdirektorat Penyimpanan Arsip. Setelah arsip tersedia, petugas melakukan verifikasi dan mencatat kedatangan arsip sebelum menyerahkannya kepada pengguna (Pemerintah Indonesia, 2019). Proses manual ini memakan waktu dan berpotensi menimbulkan human error, sehingga digitalisasi dan penerapan sistem monitoring real-time diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi

peminjaman arsip (Martin & Nilawati, 2024) (Augustin et al., 2016).

2.3 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler generasi lanjutan dari ESP8266 yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dirancang dengan teknologi 40 nm untuk memberikan kinerja radio yang optimal pada Wi-Fi 2.4 GHz dan Bluetooth (Espressif, 2025). ESP32 memiliki kemampuan dual-core Tensilica Xtensa LX6 atau single-core dengan clock rate hingga 240 MHz, mendukung komunikasi nirkabel melalui Wi-Fi dan Bluetooth 4.2 Low Energy, serta memiliki konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk aplikasi Internet of Things (IoT) yang memerlukan efisiensi energi dan performa tinggi (Espressif, 2024) (Wismoyo & Nurwasito, 2023). Beberapa fitur penting ESP32 antara lain: (1) Dual-core atau single-core CPU dengan clock hingga 240 MHz. (2) Wi-Fi 2.4 GHz dan Bluetooth 4.2 LE untuk komunikasi nirkabel fleksibel. (3) GPIO lebih banyak dibanding ESP8266, mendukung input analog dan digital (Abdillah et al., 2025). (4) Memori internal lebih besar, memudahkan pemrosesan data lokal. (5) Konsumsi daya rendah, ideal untuk perangkat yang beroperasi terus-menerus. (6) Integrasi komponen RF seperti antena internal, power amplifier, low-noise receive amplifier, dan modul manajemen daya, memudahkan pembangunan modul IoT tanpa peralatan tambahan (Espressif, 2025).

Keluarga ESP32 mencakup chip seperti ESP32-D0WDQ6 (ESP32-D0WD), ESP32-D2WD, ESP32-S0WD, dan sistem dalam paket ESP32-PICO-D4. Espressif juga menyediakan beberapa model board, seperti ESP32 Development Kit (ESP32 DEVKIT V1), yang memungkinkan pengembangan proyek IoT dengan cepat karena sudah menyertakan modul ESP32 lengkap dengan pinout yang banyak dan dukungan pemrograman mudah (Espressif, 2025).

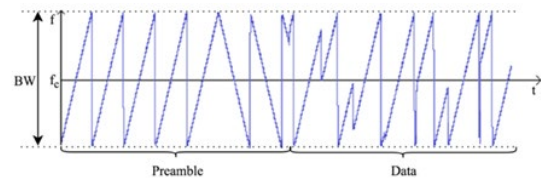
Dalam penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai unit pemrosesan lokal pada sistem monitoring peminjaman arsip. Data identifikasi arsip dari RFID dibaca dan diproses oleh ESP32 sebelum dikirim melalui komunikasi LoRa ke gateway. Keunggulan ESP32 dalam hal pemrosesan cepat, dukungan komunikasi nirkabel, dan konsumsi daya rendah membuat sistem mampu bekerja secara real-time dan andal, meskipun berada di ruang penyimpanan arsip dengan koneksi internet terbatas (Syaroni et al., 2025).

2.4 Teknologi LoRa

Long Range (LoRa) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang dikembangkan untuk transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. LoRa termasuk dalam keluarga Low Power Wide Area Network (LPWAN) dan menggunakan modulasi Chirp Spread Spectrum (CSS) yang memungkinkan pengiriman data melalui jarak

hingga beberapa kilometer, bahkan di lingkungan dengan kondisi geografis sulit (Augustin et al., 2016) (Ariman et al., 2022).

LoRa mendefinisikan spreading factor (SF) sebagai $\log_2$ dari jumlah kemungkinan simbol ($M = 2^{SF}$). Setiap simbol direpresentasikan oleh satu linear up-chirp yang mencakup seluruh bandwidth. Informasi dikodekan sebagai pergeseran siklik (cyclic time shift) dari chirp tersebut. Variasi frekuensi sinyal yang dipancarkan terlihat pada gambar 1. Frekuensi meningkat secara linear dan kembali ke frekuensi minimum ketika mencapai batas bandwidth. Pada sistem Lora terdapat 2^{SF} kemungkinan pergeseran, berarti satu simbol dapat membawa SF bit informasi.



Gambar 1. Variasi frekuensi sinyal pada pemancar LoRa

Beberapa karakteristik utama LoRa antara lain:

1. Jarak komunikasi panjang: LoRa dapat mentransmisikan data hingga 10 km di area terbuka dan beberapa ratus meter di lingkungan indoor dengan banyak hambatan fisik.
2. Konsumsi daya rendah: Cocok untuk perangkat IoT yang memerlukan operasi terus-menerus dengan energi terbatas.
3. Kapasitas data rendah hingga sedang: LoRa ideal untuk pengiriman data yang tidak memerlukan bandwidth tinggi, seperti status sensor atau identifikasi aset.
4. Tahan terhadap interferensi: Modulasi CSS membuat LoRa relatif stabil terhadap gangguan sinyal dari perangkat lain.
5. Topologi fleksibel: Mendukung peer-to-peer, star, maupun mesh network, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem (Berto et al., 2021)(Tan, 2021) (Robles et al., 2022).

Dalam penelitian ini, LoRa digunakan untuk menghubungkan LoRa Node yang terpasang pada unit peminjaman arsip dengan LoRa Gateway yang tersambung ke server Firebase. Pemilihan LoRa didasari keterbatasan jaringan Wi-Fi di ruang arsip ANRI, yang sering tidak stabil karena pengaruh material penyimpanan, seperti filling cabinet berbahan logam.

Dengan LoRa, data identifikasi arsip dari RFID dapat dikirim secara real-time tanpa bergantung pada jaringan internet konvensional, sehingga proses peminjaman dan pengembalian arsip dapat dimonitor secara efisien.

Kelebihan LoRa dibanding teknologi nirkabel lain seperti Wi-Fi atau Bluetooth dalam konteks sistem monitoring arsip meliputi:

1. Tidak tergantung pada infrastruktur internet yang stabil.
2. Mendukung komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah.
3. Fleksibel untuk integrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan sensor RFID.
4. Memungkinkan monitoring real-time secara terpusat melalui gateway dan database cloud.

2.5 Parameter Kinerja QoS

Quality of Service (QoS) adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang baik dengan menyediakan *bandwidth*, mengatasi *jitter* dan *delay*. QoS didesain untuk membantu *end user (client)* menjadi lebih produktif dengan memastikan bahwa *user* mendapatkan performansi yang handal dari aplikasi berbasis jaringan. QoS mengacu pada kemampuan jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik pada trafik jaringan tertentu melalui teknologi yang berbeda-beda.

Berdasarkan standar *Quality of Service* (QoS) yang mengacu pada rekomendasi ETSI (1999), nilai QoS yang diizinkan dan dikategorikan layak berada pada rentang indeks 3–4 atau memiliki persentase minimal 75%. Nilai tersebut termasuk dalam kategori “Bagus-Sangat Bagus”, sehingga sistem dapat dinyatakan memenuhi standar performansi jaringan apabila memperoleh indeks sekurang-kurangnya 3 atau persentase minimal 75%. Performansi jaringan berdasarkan standar TIPHON untuk parameter *throughput* dinyatakan layak berada pada rentang 600-2100 kbps (ETSI, 1999).

Parameter *Quality of Service* (QoS) seperti *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* dianalisis untuk mengevaluasi kinerja LoRa pada jarak berbeda, baik indoor maupun outdoor, sehingga sistem monitoring dapat dioptimalkan sesuai kondisi fisik ruang penyimpanan arsip.

2.6 Teknologi RFID

Radio Frequency Identification (RFID) adalah teknologi identifikasi otomatis yang menggunakan gelombang radio untuk membaca dan menyimpan data pada tag atau label yang ditempelkan pada objek (Laksanawati et al., 2024). RFID memungkinkan identifikasi aset secara cepat tanpa kontak langsung, sehingga sering digunakan untuk inventaris, manajemen logistik, dan monitoring barang atau dokumen.

Sistem RFID terdiri dari tiga komponen utama:

1. Tag RFID – media penyimpanan data yang menempel pada objek. Tag ini dapat berupa *passive*, *active*, atau *semi-passive*, tergantung sumber daya dan jangkauannya.
2. Reader (pembaca) – perangkat yang mengirim sinyal radio untuk membaca data pada tag RFID.
3. Antenna – memancarkan dan menerima sinyal radio antara reader dan tag.

Prinsip kerja RFID adalah tag yang melekat pada objek menangkap sinyal dari reader, lalu mengirimkan informasi identitas secara otomatis. Data yang diterima reader kemudian diproses oleh mikrokontroler seperti ESP32, dan dapat dikirim ke database atau sistem monitoring untuk dianalisis dan ditampilkan secara real-time.

Dalam penelitian ini, RFID digunakan untuk mengidentifikasi arsip secara otomatis saat peminjaman atau pengembalian. Setiap arsip diberi tag RFID, sehingga petugas tidak perlu mencatat secara manual menggunakan kertas atau NCR. Data dari RFID dibaca oleh ESP32, kemudian dikirim melalui komunikasi LoRa ke gateway, lalu tersimpan di *Firestore Realtime Database*. Dengan penerapan RFID, sistem monitoring:

1. Meningkatkan akurasi pencatatan arsip, mengurangi kesalahan manusia.
2. Mempercepat proses peminjaman dan pengembalian, karena identifikasi arsip bersifat otomatis.
3. Memungkinkan monitoring real-time dari berbagai lokasi di lingkungan ANRI.

Dibanding metode manual menggunakan formulir atau out slip, RFID memiliki beberapa keunggulan:

- Mengurangi human error dalam pencatatan.
- Mempercepat alur kerja antarunit.
- Mempermudah integrasi dengan sistem digital berbasis ESP32 dan LoRa.
- Mendukung pencatatan arsip yang tersebar di beberapa lokasi secara real-time.

2.7 Firestore Realtime Database

Firestore adalah platform layanan cloud yang dikembangkan oleh Google, menyediakan berbagai layanan untuk pengembangan aplikasi, termasuk database real-time, autentikasi, dan hosting. Salah satu fitur utamanya, *Firestore Realtime Database*, memungkinkan penyimpanan dan sinkronisasi data secara real-time antara perangkat dan server cloud (Dicoding.com, 2020).

Beberapa karakteristik utama *Firestore Realtime Database* yang relevan dengan penelitian ini adalah:

1. Data tersimpan secara real-time, setiap perubahan pada database dapat langsung terlihat di semua perangkat yang terhubung.
2. Berbasis cloud, data tersimpan secara terpusat, memungkinkan akses dari berbagai lokasi secara simultan.
3. Skalabilitas tinggi, dapat menangani jumlah data dan pengguna yang terus bertambah tanpa menurunkan performa.
4. Integrasi mudah dengan mikrokontroler, *firebase* menyediakan REST API dan SDK yang mendukung ESP32 serta perangkat IoT lainnya.

5. Keamanan dan autentikasi, mendukung pengaturan akses berbasis user, sehingga data hanya dapat diakses oleh pihak berwenang.

Dalam penelitian ini, Firebase Realtime Database digunakan untuk menyimpan data peminjaman arsip secara otomatis dari ESP32 yang membaca tag RFID. Setiap data peminjaman atau pengembalian arsip langsung dikirim melalui LoRa Gateway ke Firebase, sehingga semua informasi dapat dipantau secara real-time oleh petugas dari berbagai unit.

Penggunaan Firebase mempermudah:

1. Monitoring real-time.
Petugas dapat langsung melihat status arsip yang sedang dipinjam atau dikembalikan.
2. Pengurangan human error.
Tidak lagi bergantung pada catatan manual atau NCR, sehingga pencatatan menjadi lebih akurat.
3. Akses lintas lokasi.
Data yang tersentralisasi memungkinkan koordinasi antarunit penyimpanan arsip di ANRI.

Dibandingkan metode pencatatan manual atau database lokal, Firebase memiliki beberapa keunggulan yaitu: (1) Sinkronisasi real-time di semua perangkat. (2) Mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 dan komunikasi LoRa. (3) Skalabilitas dan fleksibilitas tinggi, sesuai untuk sistem monitoring arsip yang dinamis. (4) Keamanan data terjamin melalui autentikasi berbasis user dan aturan akses terkontrol.

3. METODE PENELITIAN

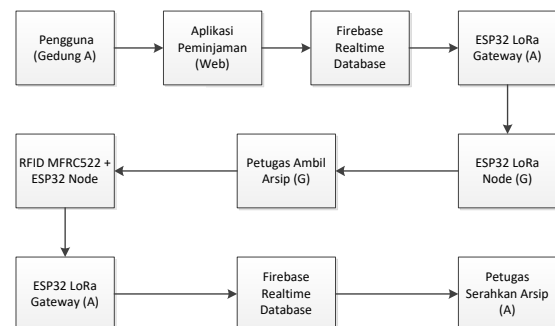
3.1 Model Perancangan Sistem

Konfigurasi sistem monitoring peminjaman arsip dirancang sesuai dengan kondisi di lingkungan Arsip Nasional Republik Indonesia (ANRI), khususnya pada Gedung A, Gedung F, dan Gedung G. Sistem menggunakan satu perangkat LoRa Node yang terhubung dengan RFID reader serta satu perangkat LoRa Gateway yang terhubung ke jaringan internet untuk mengakses Firebase Realtime Database. LoRa Gateway ditempatkan di Gedung A (Ruang Layanan) karena memiliki kualitas sinyal internet yang lebih stabil dan mendukung proses transmisi data jarak jauh, sedangkan LoRa Node dipasang di Gedung G sebagai lokasi penyimpanan arsip. Jarak antara Gedung A dan Gedung G sekitar ± 100 meter dengan posisi bangunan yang berurutan meskipun tidak berada pada satu garis lurus.

Pada sistem yang dirancang, proses peminjaman arsip diawali ketika pengguna datang ke Ruang Layanan di Gedung A dan mengisi formulir permintaan melalui aplikasi yang terintegrasi dengan Firebase Realtime Database. Setelah diverifikasi oleh petugas layanan, data

peminjaman secara otomatis tersimpan dan tersinkronisasi secara real-time ke seluruh sistem. Perangkat ESP32 yang berfungsi sebagai LoRa Gateway membaca data permintaan tersebut dari Firebase, kemudian mengirimkannya melalui komunikasi LoRa ke perangkat ESP32 pada LoRa Node di Gedung G. Penggunaan teknologi LoRa memungkinkan pengiriman data secara nirkabel tanpa ketergantungan pada sinyal Wi-Fi, sehingga efektif diterapkan pada area dengan keterbatasan jaringan seperti ruang arsip. Diagram alur komunikasi dapat dilihat pada gambar 2.

Setelah data diterima, LoRa Node di Gedung G menampilkan informasi arsip yang harus diambil melalui monitor petugas. Petugas penyimpanan kemudian mengambil arsip sesuai dengan data permintaan dan mengirimkannya ke Gedung A. Setibanya di Ruang Layanan, petugas melakukan verifikasi akhir dan memperbarui status arsip melalui aplikasi. Perubahan status tersebut secara otomatis tersimpan dan tersinkronisasi di Firebase, sehingga seluruh aktivitas peminjaman tercatat secara digital dan dapat dimonitor secara real-time.



Gambar 2. Diagram alur komunikasi sistem

Sebagai perbandingan, pada sistem konvensional proses peminjaman dimulai dari pengisian formulir oleh pengguna di Gedung A, kemudian diverifikasi oleh petugas layanan dan diteruskan ke Subdirektorat Penyimpanan Arsip di Gedung F melalui aplikasi. Petugas penyimpanan menerima notifikasi, lalu menuliskan data peminjaman pada kertas Non Carbon Required (NCR) yang terdiri atas dua salinan, yaitu satu ditempelkan pada arsip yang dipinjam dan satu disimpan sebagai arsip data di unit penyimpanan. Arsip kemudian diambil dari Gedung G dan dikirimkan ke Gedung A untuk diverifikasi kembali sebelum diserahkan kepada pengguna.

Melalui perancangan sistem berbasis LoRa ini, alur komunikasi dan pencatatan menjadi lebih terintegrasi, mengurangi proses manual berbasis kertas, serta

meningkatkan efisiensi dan kecepatan layanan peminjaman arsip di lingkungan ANRI.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada sistem monitoring peminjaman arsip ini terdiri atas integrasi mikrokontroler ESP32 dengan modul LoRa, modul RFID, dan buzzer. Perangkat dirancang dalam dua konfigurasi utama, yaitu sebagai LoRa Node dan LoRa Gateway. LoRa Node ditempatkan di ruang penyimpanan arsip (Gedung G), sedangkan LoRa Gateway ditempatkan di Ruang Layanan (Gedung A) yang memiliki koneksi internet lebih stabil untuk mengakses Firebase Realtime Database.

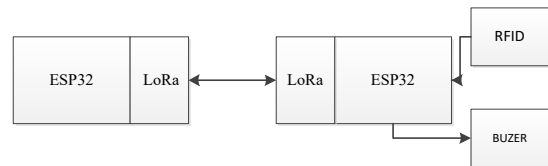
ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan seluruh sistem, melakukan pemrosesan data, serta mengatur komunikasi dengan modul LoRa, RFID reader, dan basis data. Pemilihan ESP32 didasarkan pada kemampuannya dalam mendukung komunikasi nirkabel, memiliki performa pemrosesan yang baik, serta menyediakan antarmuka komunikasi yang lengkap seperti SPI, UART, dan I2C sehingga memudahkan integrasi dengan berbagai modul pendukung.

Modul komunikasi yang digunakan adalah LoRa LILYGO T-Higrow Shield yang terhubung ke ESP32 melalui antarmuka Serial Peripheral Interface (SPI). Modul ini berfungsi sebagai media komunikasi nirkabel jarak jauh antara LoRa Node dan LoRa Gateway. Melalui komunikasi LoRa, data permintaan peminjaman maupun hasil verifikasi RFID dapat dikirimkan tanpa bergantung pada jaringan Wi-Fi, sehingga sistem tetap dapat beroperasi pada area dengan keterbatasan sinyal internet.

Untuk proses identifikasi arsip, sistem menggunakan modul RFID MFRC522 yang dihubungkan ke ESP32 melalui antarmuka SPI. Modul ini berfungsi membaca Unique Identifier (UID) dari kartu atau tag RFID yang terpasang pada arsip. UID yang terbaca akan diproses oleh ESP32 untuk diverifikasi dengan data permintaan yang telah diterima melalui LoRa maupun yang tersimpan pada sistem.

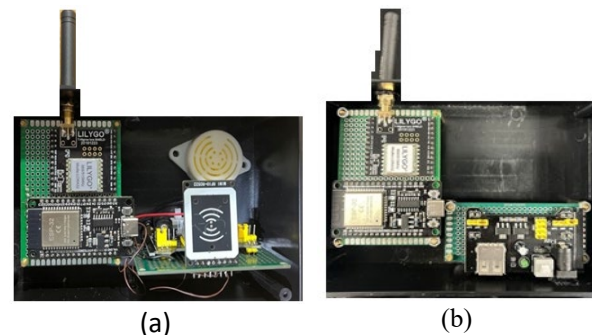
Sebagai indikator proses verifikasi, ditambahkan buzzer yang terhubung ke salah satu pin digital ESP32 pada perangkat LoRa Node. Buzzer berfungsi memberikan notifikasi suara sebagai tanda keberhasilan atau kegagalan pembacaan dan pencocokan UID RFID. Apabila UID yang terbaca sesuai dengan data yang diterima (verifikasi berhasil), buzzer akan berbunyi satu kali dengan durasi satu detik. Sebaliknya, apabila UID tidak sesuai (verifikasi gagal), buzzer akan berbunyi dua kali dengan interval 0,2 detik antar bunyi. Notifikasi ini memudahkan petugas dalam mengetahui status proses

tanpa harus selalu memantau layar sistem. Diagram blok rancangan sistem dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok rancangan sistem

Secara keseluruhan, integrasi ESP32, modul LoRa, modul RFID, dan buzzer membentuk suatu perangkat keras yang mendukung proses monitoring peminjaman arsip secara otomatis, real-time, dan andal, serta sesuai dengan kebutuhan operasional. Gambar 4 menunjukkan hasil rancangan alat yang dibuat.

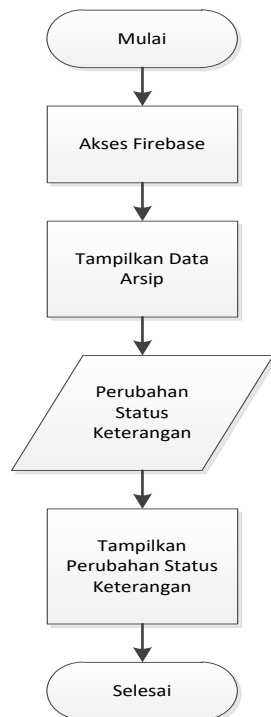


Gambar 4. *Prototype* Sistem Monitoring Peminjaman Arsip pada (a) LoRa Node dan (b) LoRa Gateway

3.3 Perancangan Perangkat Lunak (Firebase Realtime Database)

Pada perangkat lunak sistem monitoring peminjaman arsip, terdapat dua tampilan utama yaitu, satu untuk pengguna dan satu lagi untuk petugas layanan serta penyimpanan arsip. Tampilan untuk pengguna tidak memerlukan login. Sedangkan tampilan untuk petugas layanan dan penyimpanan arsip dilengkapi dengan informasi mengenai letak arsip, nama peminjam, tanggal peminjaman, dan petugas yang melayani.

Pada *database*, proses dimulai dengan inisialisasi dan akses ke Firebase. Data yang ada di Firebase akan ditampilkan dalam *database*. Pada pengujian, hanya 10 data UID arsip yang disimpan ke dalam *database*. Selanjutnya, perubahan status keterangan akan menunggu proses dari perangkat keras LoRa dan status akan ditampilkan di *database*. Diagram alir proses pada *database* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir proses pada database

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras yang digunakan dalam sistem monitoring peminjaman arsip berbasis IoT. ESP32 di program menggunakan Arduino IDE. Modul LoRa berkomunikasi dengan *Serial Peripheral Interface* (SPI). Setelah UID paket dikirim dari LoRa Gateway ke LoRa Node, LoRa Node akan memeriksa kesesuaian UID tersebut dengan hasil pemindaian pada RFID reader. Jika UID paket sesuai dengan UID yang terbaca oleh RFID reader, maka UID tersebut akan dikirimkan kembali ke LoRa Gateway.

Selama proses pertukaran data ini, status keterangan pada Firebase juga terjadi perubahan. Status keterangan yaitu “Proses Peminjaman” saat UID paket dikirimkan dari LoRa Gateway ke LoRa Node. Saat LoRa Node mengirimkan UID yang terbaca melalui RFID, status di Firebase berubah menjadi “Tidak Tersedia”, yang menandakan bahwa arsip sedang dipinjam dan tidak dapat dipinjamkan kepada pengguna lain.

4.2 Pengujian Pada Firebase *Realtime Database*

Pengujian pada *database* dilakukan dengan menginputkan sebanyak 30 data arsip yang terdaftar untuk proses pengujian ke dalam Firebase dengan 15 data untuk arsip foto dan 15 data untuk arsip tekstual. Pada

Gambar 6, ditunjukkan tampilan daftar arsip yang diakses oleh pengguna tanpa melakukan *login*. Sebelum arsip dipinjam, kolom keterangan akan bertuliskan “Tersedia”.

Pilih	Kode Khasanah	Nomor Arsip	Koleksi Arsip	Deskripsi Arsip	Keterangan
☐	F.22	R 580215 FG 2-17	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (berpeci, tampak samping) berjabat tangan dengan Presiden India Rajendra Prasad (tampak samping) saat tiba di Lapangan Udara Palam New Delhi, India. Tampak Perdana Menteri India Shri Jawaharlal Nehru (kiri, tampak samping) dan Menteri Luar Negeri Soebandrio (di atas tangga pesawat, paling bawah).	Tersedia
☐	F.22	KR 581111 FG 1-16	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	No. 2 dari kanan ke kiri: Panglima Komando Daerah Militer (Bukit Barisan Letnan Kolonel Djamin Ginting Suka, Menteri Pelayaran Komodor Mohammad Nazir, Panglima Komando Daerah Militer-Makuku Irian Barat (KDM-IMB) Letnan Kolonel Herman Piteras, dan Komud Jenderal RI untuk Jepang Iskandar Ishaq berfoto bersama saat mendampingi kunjungan Presiden di Jepang.	Tersedia
☐	F.22	KR 581111 FG 1-16	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Susana jamuan makan malam dalam rangka penyambutan kunjungan Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 5 dari bawah) di Tokyo, Jepang, 31 Januari 1958. Tampak Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fuyama (no. 3 dari kiri) dan Menteri Pelayaran Komodor Mohammad Nazir (no. 2 dari kiri).	Tersedia
☐	F.22	R 580331 FG 2-7	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Susana pertemuan Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 5 dari kanan bawah) dan rombongan dengan pejabat pemerintah Jepang pada kunjungan ke Jepang. Tampak Komud Jenderal Jepang untuk Indonesia Hiroshi Tagaki (sisi kanan, no. 4 dari kanan bawah), Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fuyama (sisi kiri, no. 5 dari kiri bawah), dan Menteri Pelayaran Komodor Mohammad Nazir (sisi kiri, no. 4 dari kiri bawah).	Tersedia
☐	F.22	R 580331 FG 2-8	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 3 dari kanan) berbicara di suatu pertemuan dengan pejabat pemerintah Jepang pada kunjungan ke Jepang. Tampak Komud Jenderal Jepang untuk Indonesia Hiroshi Tagaki (sisi kanan, no. 2 dari kanan, mendiri), Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fuyama (sisi kiri, no. 5 dari bawah, wajah terhalang), dan Menteri Pelayaran Komodor Mohammad Nazir (sisi kiri, no. 4 dari bawah), dan Direktur Kabinet Presiden Tami (sisi kiri, no. 6 dari bawah, berkaumudi).	Tersedia
☐	F.22	R 580331 FG 2-8	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (sisi kanan) beramah-tamah dengan dua orang perwakilan Japan Federation of Economic	Tersedia

Gambar 6. Tampilan *Database*: Daftar Arsip Statis untuk Pengguna

Pengguna memilih arsip yang akan dipinjam dan memilih “Pengajuan Peminjaman” pada atas kanan dashboard dan beralih ke formulir peminjaman dengan mengisi nama, email, nomor handphone, dan tanggal peminjaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Tampak juga daftar arsip yang telah dipilih oleh Pengguna, setelah itu mengklik “Pinjam”.

Gambar 7. Tampilan Formulir Peminjaman

Setelah melakukan mengisi “Formulir Peminjaman”, keterangan pada daftar arsip berubah menjadi “Proses Peminjaman” seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Pilih	Kode Khasanah	Nomor Arsip	Koleksi Arsip	Deskripsi Arsip	Keterangan	
☐	F22	R 580215 FG 2-17	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (berpakaian), tampak samping) berangkat tangan dengan Presiden India Rajendra Prasad (tampak samping) saat tiba di Lapangan Udara Palam New Delhi, India. Tampak Perdana Menteri India Shri Jawaharlal Nehru (kiri, tampak samping) dan Menteri Luar Negeri Soebandrio (di atas tangga pesawat, paling bawah).	Proses Peminjaman	
☐	F22	KR 581111 FG 1-56	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	No. 2 dari kanan ke kiri: Panglima Komando Daerah Militer (Bukit Barisan Letnan Kolonel Djani Ginting Suka, Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir, Panglima Komando Daerah Militer-Maluku Irian Barat (KDM-MIB) Letnan Kolonel Herman Pieters, dan Konsul Jenderal RI untuk Jepang Iskandar Ithik berfoto bersama saat mendampingi kunjungan Presiden di Jepang.	Tersedia	
☐	F22	KR 581111 FG 1-62	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Susana jamuan makan malam dalam rangka penyambutan kunjungan Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 5 dari bawah) di Tokyo, Jepang, 31 Januari 1958. Tampak Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fujiyama (no. 3 dari kiri) dan Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir (no. 2 dari kiri).	Tersedia	
☐	F22	R 580321 FG 2-7	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Susana pertemuan Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 5 dari kanan bawah) dan rombongan dengan pejabat pemerintah Jepang pada kunjungannya di Jepang. Tampak Konsul Jenderal Jepang untuk Indonesia Hiroshi Tagaki (sisi kanan, no. 4 dari kanan bawah), Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fujiyama (sisi kiri, no. 5 dari kiri bawah), dan Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir (sisi kiri, no. 4 dari kiri bawah).	Tersedia	
☐	F22	R 580321 FG 2-8	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 3 dari kanan) berbicara di suatu pertemuan dengan pejabat pemerintah Jepang pada kunjungannya di Jepang. Tampak Konsul Jenderal Jepang untuk Indonesia Hiroshi Tagaki (sisi kanan, no. 2 dari kanan, menoleh), Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fujiyama (sisi kiri, no. 5 dari bawah, wajah terbelah), dan Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir (sisi kiri, no. 4 dari bawah), dan Direktur Kabinet Presiden Tami (sisi kiri, no. 6 dari bawah, berakutata).	Tersedia	

Gambar 8. Perubahan Keterangan Menjadi "Proses Peminjaman"

Pada Gambar 9. menunjukkan tampilan *database* petugas layanan dan penyimpanan arsip. Perbedaannya terletak pada informasi mengenai letak arsip, nama peminjam, tanggal peminjaman dan nama petugas yang melayani serta tidak adanya kolom "Pengajuan Peminjaman".

Pilih	Kode Khasanah	Nomor Arsip	Koleksi Arsip	Deskripsi Arsip	Keterangan	Letak Arsip	Identitas Peminjam	Tanggal Peminjaman	Identitas Petugas	Konfirmasi Penerimaan
☐	F22	R 580215 FG 2-17	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (berpakaian), tampak samping) berangkat tangan dengan Presiden India Rajendra Prasad (tampak samping) saat tiba di Lapangan Udara Palam New Delhi, India. Tampak Perdana Menteri India Shri Jawaharlal Nehru (kiri, tampak samping) dan Menteri Luar Negeri Soebandrio (di atas tangga pesawat, paling bawah).	Proses Peminjaman	F3 Rak 107	Elsavanie Nadine e.nadine@gmail.com 089652624598	28 Agustus 2025	Echa	☐
☐	F22	KR 581111 FG 1-56	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	No. 2 dari kanan ke kiri: Panglima Komando Daerah Militer (Bukit Barisan Letnan Kolonel Djani Ginting Suka, Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir, Panglima Komando Daerah Militer-Maluku Irian Barat (KDM-MIB) Letnan Kolonel Herman Pieters, dan Konsul Jenderal RI untuk Jepang Iskandar Ithik berfoto bersama saat mendampingi kunjungan Presiden di Jepang.	Tersedia	F3 Rak 107				☐
☐	F22	KR 581111 FG 1-62	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Susana jamuan makan malam dalam rangka penyambutan kunjungan Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 5 dari bawah) di Tokyo, Jepang, 31 Januari 1958. Tampak Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fujiyama (no. 3 dari kiri) dan Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir (no. 2 dari kiri).	Tersedia	F3 Rak 107				☐

Gambar 9. Tampilan Database Daftar Arsip Statis untuk Petugas

Pada dashboard petugas, jika Pengguna telah melakukan "Pengajuan Peminjaman", maka data akan masuk ke daftar "Verifikasi Peminjaman Arsip", dimana terlihat notifikasi yang masuk pada ikon "bel". Lalu petugas akan melakukan "Verifikasi" yang ada pada kolom "Aksi" ditunjukkan pada Gambar 10.

No	Kode Khasanah	Nomor Arsip	Koleksi Arsip	Deskripsi Arsip	Identitas Peminjam	Aksi
1	F22	R 580215 FG 2-17	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (berpakaian), tampak samping) berangkat tangan dengan Presiden India Rajendra Prasad (tampak samping) saat tiba di Lapangan Udara Palam New Delhi, India. Tampak Perdana Menteri India Shri Jawaharlal Nehru (kiri, tampak samping) dan Menteri Luar Negeri Soebandrio (di atas tangga pesawat, paling bawah).	Elsavanie Nadine e.nadine@gmail.com 089652624598	Verifikasi

Gambar 10. Tampilan Verifikasi Peminjaman Arsip

Petugas melakukan "Verifikasi", sehingga tampil halaman untuk pengisian identitas petugas yang melakukan verifikasi.

Setelah proses pemindaian RFID berhasil, maka status keterangan akan berubah menjadi "Tidak Tersedia" dan petugas akan melakukan konfirmasi dengan mengklik tombol yang tersedia pada database untuk menandakan bahwa arsip telah sampai seperti yang terlihat pada Gambar 11.

Pilih	Kode Khasanah	Nomor Arsip	Koleksi Arsip	Deskripsi Arsip	Keterangan	Letak Arsip	Identitas Peminjam	Tanggal Peminjaman	Identitas Petugas	Konfirmasi Penerimaan
☐	F22	R 580215 FG 2-17	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Presiden Sukarno (berpakaian), tampak samping) berangkat tangan dengan Presiden India Rajendra Prasad (tampak samping) saat tiba di Lapangan Udara Palam New Delhi, India. Tampak Perdana Menteri India Shri Jawaharlal Nehru (kiri, tampak samping) dan Menteri Luar Negeri Soebandrio (di atas tangga pesawat, paling bawah).	Tidak Tersedia	F3 Rak 107	Elsavanie Nadine e.nadine@gmail.com 089652624598	28 Agustus 2025	Echa	☒
☐	F22	KR 581111 FG 1-56	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	No. 2 dari kanan ke kiri: Panglima Komando Daerah Militer (Bukit Barisan Letnan Kolonel Djani Ginting Suka, Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir, Panglima Komando Daerah Militer-Maluku Irian Barat (KDM-MIB) Letnan Kolonel Herman Pieters, dan Konsul Jenderal RI untuk Jepang Iskandar Ithik berfoto bersama saat mendampingi kunjungan Presiden di Jepang.	Tersedia	F3 Rak 107				☐
☐	F22	KR 581111 FG 1-62	Arsip Foto Kementerian Penerangan Tahun 1958	Susana jamuan makan malam dalam rangka penyambutan kunjungan Presiden Sukarno (sisi kanan, no. 5 dari bawah) di Tokyo, Jepang, 31 Januari 1958. Tampak Menteri Luar Negeri Jepang Aichiro Fujiyama (no. 3 dari kiri) dan Menteri Pelayaran Komodor Muhammad Nazir (no. 2 dari kiri).	Tersedia	F3 Rak 107				☐

Gambar 11. Perubahan Keterangan Menjadi "Tidak Tersedia" dan Konfirmasi Penerimaan Arsip

4.3 Pengukuran waktu Peminjaman Arsip

Pada skenario pertama, sistem monitoring peminjaman arsip yang menggunakan LoRa akan dibandingkan dengan sistem peminjaman arsip konvensional yang saat ini masih diterapkan. Proses pengambilan data dilakukan mulai dari pengisian formulir oleh pengguna di Gedung A secara manual, kemudian petugas mencatatnya pada aplikasi internal, sedangkan peneliti menginput data pengguna ke dalam database. Selanjutnya, mengambil arsip yang akan dipinjam di Gedung G. Pada sistem yang konvensional petugas menuliskan informasi berupa nama peminjam, tanggal peminjam, khasanah, nomor arsip, dan petugas yang mengambil arsip pada kertas NCR, sedangkan peneliti hanya melakukan pemindaian RFID tag yang ada pada contoh arsip menggunakan RFID reader. Setelah itu, arsip diantarkan dari Gedung G menuju Gedung A. Sesampainya di ruang layanan, dilakukan verifikasi arsip kembali, dimana petugas layanan harus mencatat ke komputer, sedangkan peneliti hanya melakukan konfirmasi melalui database sebelum arsip dipinjamkan ke pengguna.

Hasil pengujian dari segi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap proses peminjaman arsip secara konvensional dengan komunikasi LoRa terdapat perbedaan selisih waktu 8 menit.

Pada pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa penggunaan sistem monitoring peminjaman arsip

dengan komunikasi LoRa mampu memberikan efisiensi waktu yang lebih baik dibandingkan dengan sistem peminjaman arsip konvensional. Efisiensi ini diperoleh karena sistem monitoring dapat mengurangi proses berulang, seperti *entry* data formulir pengguna pada aplikasi, penulisan ulang pada kertas NCR yang kemudian dicantumkan pada arsip, serta pencatatan kembali saat arsip datang ke ruang layanan sebelum arsip diserahkan ke pengguna. Dengan demikian, alur peminjaman arsip menjadi lebih ringkas, cepat, dan akurat.

4.4. Pengukuran Parameter *Quality of Service* (QoS)

Pada skenario kedua, sistem monitoring peminjaman arsip dengan komunikasi LoRa dilakukan dengan mengukur parameter QoS yang meliputi *throughput*, *delay*, *packet loss*, dan *jitter*.

Pada pengujian ini, LoRa *node* ditempatkan di Gedung G lantai 1, sedangkan LoRa *gateway* berada di Gedung A lantai 1 dengan jarak 100 meter.

Pengujian dilakukan dengan konfigurasi LoRa sebagai berikut: Spreading Factor (SF) 12, Coding Rate (CR) 4/8, dan Bandwidth (BW) 125 kHz. Pemilihan parameter ini bertujuan untuk memaksimalkan jangkauan komunikasi dan meningkatkan keandalan penerimaan paket. SF 12 dipilih karena menghasilkan sensitivitas penerimaan yang tinggi sehingga sinyal masih dapat diterima pada jarak jauh. CR 4/8 digunakan untuk meningkatkan kemampuan koreksi kesalahan (*error correction*), sehingga mengurangi kemungkinan *packet loss*. Sementara itu, BW 125 kHz dipilih karena sesuai dengan standar umum LoRa untuk mencapai kompromi antara jangkauan, sensitivitas, dan konsumsi daya.

Tujuannya untuk mendapatkan hasil yang cukup dalam mengevaluasi pengiriman data dari sistem secara kuantitatif. Proses pengujian dimulai dari pengisian formulir peminjaman di database dan melakukan pemindaian RFID tag menggunakan RFID reader. Setelah itu, terjadi perubahan status pada Firebase, yaitu dari keterangan awal “proses peminjaman” menjadi “tidak tersedia” setelah dilakukan pemindaian RFID. Pengujian juga bertujuan untuk memantau apakah perubahan status tersebut benar-benar berlangsung secara *real-time* pada sistem. Hasil dari pengukuran disajikan pada Tabel 1.

No	Throughput (KBps)	Delay (ms)	Packet Loss (%)	Jitter (ms)
1	809,68	0,48	0	0
2	875,6	0,45	0	0
3	748,24	0,45	0	0
4	655,84	0,45	0	0
5	618,8	0,47	0	0
6	627,52	0,49	0	0
7	561,88	0,52	0	0
8	497,52	0,54	0	0
9	413,3	0,49	0	0
10	535,53	0,49	0	0
Rata-rata	634,391	0,483	0	0
Indeks	2	4	4	4
Kategori	sedang	sangat bagus	sangat bagus	sangat bagus

Berdasarkan hasil pengukuran *Quality of Service* (QoS) pada sistem yang dirancang, diperoleh nilai *throughput* rata-rata sebesar 634,39 Kbps yang termasuk dalam kategori “Sedang” menurut standar TIPPHON. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi LoRa yang digunakan pada perangkat ESP32 mampu mentransmisikan data dengan kapasitas yang cukup stabil untuk kebutuhan monitoring peminjaman arsip. Kategori “Sedang” pada *throughput* masih tergolong memadai, mengingat sistem ini tidak memerlukan pengiriman data berukuran besar secara kontinu, melainkan hanya data identifikasi dan status peminjaman. Selain itu, karakteristik LoRa yang dirancang untuk komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah memang berfokus pada efisiensi dan jangkauan dibandingkan kecepatan transmisi tinggi.

Nilai *packet loss* sebesar 0% yang termasuk kategori “Sangat Bagus” menunjukkan bahwa tidak terdapat paket data yang hilang selama proses pengujian. Hal ini menandakan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan transmisi yang sangat baik serta minim gangguan pada lingkungan pengujian. Dengan tidak adanya kehilangan paket, data peminjaman arsip dapat diterima secara utuh dan akurat oleh sistem penerima.

Rata-rata *delay* sebesar 0,48 ms yang juga berada dalam kategori “Sangat Bagus” menunjukkan bahwa waktu tunda pengiriman data dari pengirim ke penerima sangat kecil. Nilai ini mengindikasikan bahwa sistem mampu memberikan respons yang cepat, sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara *real-time* atau mendekati *real-time* tanpa hambatan berarti.

Selain itu, nilai *jitter* sebesar 0 ms yang termasuk kategori “Sangat Bagus” menunjukkan bahwa variasi waktu tunda antar paket tidak terjadi selama pengujian. Kondisi ini menandakan kestabilan komunikasi yang

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter QoS

sangat baik, di mana setiap paket data dikirim dan diterima dengan konsistensi waktu yang sama. Stabilitas ini sangat penting untuk menjaga sinkronisasi dan keakuratan data pada sistem monitoring.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem Monitoring Peminjaman Arsip berbasis ESP32 dengan komunikasi LoRa telah memenuhi parameter QoS dengan performa yang sangat baik pada aspek keandalan, delay, dan kestabilan transmisi, serta cukup baik pada aspek throughput. Dengan demikian, sistem dinilai layak dan optimal untuk diimplementasikan pada lingkungan operasional.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, Sistem Monitoring Peminjaman Arsip berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan modul LoRa sebagai media komunikasi nirkabel untuk memonitor proses peminjaman arsip di ANRI secara real-time dengan basis data Firebase. Pemanfaatan komunikasi LoRa memungkinkan sistem tetap beroperasi secara optimal meskipun koneksi internet di ruang penyimpanan arsip terbatas, sehingga sistem tetap andal dalam kondisi jaringan yang kurang mendukung.

Hasil pengujian parameter Quality of Service (QoS) antara LoRa Node dan LoRa Gateway pada jarak 100 meter menunjukkan nilai packet loss sebesar 0%, rata-rata delay sebesar 0,48 ms, dan jitter sebesar 0 ms yang termasuk dalam kategori “Sangat Bagus”, serta rata-rata throughput sebesar 634,69 Kbps yang tergolong dalam kategori “Sedang”. Berdasarkan standar TIPHON, sistem memperoleh indeks rata-rata 3,5 dan termasuk dalam kategori “Bagus”. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan transmisi yang tinggi, waktu tunda yang sangat rendah, serta kestabilan komunikasi yang baik.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan lebih efisien dibandingkan metode konvensional dalam hal waktu dan kemudahan monitoring. Data tersimpan secara terpusat dan dapat diakses secara real-time oleh petugas lintas lokasi, sehingga membantu meminimalkan potensi human error dalam proses peminjaman arsip serta meningkatkan efektivitas pengelolaan arsip.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, H. R., Abrianto, H., Sidik, A. D., & Irmayani. (2025). Rancang Bangun Sistem Auto dan Manual Pompa untuk Monitor dan Kontrol Level Air Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP 8266 dan Aplikasi Blynk. *Journal Scientific of Mandalika (JSM)*, 6(5), 543–2809. <https://doi.org/https://doi.org/10.36312/10.36312/vol6iss5pp1124-1135>
- Ariman, Darmana, T., & Annas, F. (2022). Implementasi Sistem Monitoring Bus Trans Semarang Berbasis Lora (Long Range). *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 32(1).
- Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors (Switzerland)*, 16(9), 1–18. <https://doi.org/10.3390/s16091466>
- Berto, R., Napoletano, P., & Savi, M. (2021). A LoRa-Based Mesh Network for Peer-to-Peer Long-Range Communication. *Sensors*, 21(13), 4314. <https://doi.org/10.3390/S21134314>
- Dicoding.com. (2020). *Apa itu Firebase? Pengertian, Jenis-Jenis, dan Fungsi Kegunaannya*. https://doi.org/https://www.dicoding.com/blog/apa-itu-firebase-pengertian-jenis-jenis-dan-fungsi-kegunaannya/?utm_source
- Espressif. (2024). ESP32-S2 Series Datasheet v1.6. *Espressif Systems*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf
- Espressif. (2025). *ESP32 Series Datasheet Version 4.9 2.4 GHz WiFi + Bluetooth® + Bluetooth LE SoC Including No Title*. <https://doi.org/www.espressif.com>
- ETSI. (1999). *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)*. <https://doi.org/http://www.etsi.org>
- Irmayani, I., Marwita, F., Newton, I., & Hakim, L. (2025). Prototipe Sistem Komunikasi Data Text Wireless Topologi Mesh Untuk meningkatkan area Cakupan Berbasis ESP 32. *Sinusoida: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Elektro*, 27(1), 1–12. <https://doi.org/10.37277/s.v27i1.2417>
- Laksanawati, E. K., Nindhia, T. G. T., Sudarma, M., & Susihono, W. (2024). *Implementasi RFID Pada Industri Manufaktur Sepatu Selama Pandemi Covid-19* (N. Purnawa (ed.)). CV. Mega Press Nusantara.
- Martin, M., & Nilawati, L. (2024). Rancang Bangun Sistem Informasi Peminjaman Arsip Berbasis Web. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(3), 427–434. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v6i3.1326>
- Mulyono, Sularso, Partono, & Dkk. (2011). *Manajemen Kearsipan*. Semarang: Unnes Press.
- Pemerintah Indonesia. (2019). *SOP Operasional*

-
- Prosedur tentang Layanan Peminjaman Arsip Konvensional dan Media Baru.*
Pemerintah Indonesia. (2024). *Peraturan Arsip Nasional Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2024 Tentang Organisasi dan Tata Kerja Arsip Nasional Republik Indonesia.*
- Robles, E., Fernandez, P., & Liu, X. (2022). ESP-NOW Protocol in Peer-to-Peer Communication for IoT Networks: Low-Latency and Low-Power Solutions. *Journal of Internet of Things and Applications*, 25(4), 101–114.
<https://doi.org/10.5678/jita.2022.254>
- Sattar. (2019). *Manajemen Kearsipan*. Deepublish Yogyakarta.
- Syaroni, A., Abrianto, H., Sidik, A. D., & Irmayani. (2025). Rancang Bangun Pintu Gerbang Secara Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Aplikasi Blynk. *Journal Scientific of Mandalika (JSM)*, 6(5), 1136–1158.
<https://doi.org/10.36312/10.36312/vol6iss5pp1136-1158>
- Tan, J. (2021). *What is Peer-To-Peer (P2P) LoRa Communication*.
[https://doi.org/https://www.seeedstudio.com/blog/2021/04/26/what-is-peer-to-peer-p2p-lora-communication/?srsltid=AfmBOopp9KVzra3oEcU](https://doi.org/https://www.seeedstudio.com/blog/2021/04/26/what-is-peer-to-peer-p2p-lora-communication/?srsltid=AfmBOopp9KVzra3oEcUuN5ATG0yeqZJGHIKS45qX9h1Py%E2%80%A6)
- uN5ATG0yeqZJGHIKS45qX9h1Py%E2%80%A6
Tuginem, & Trisiyani, R. (2018). *Kearsipan SMK untuk SMK/MAK Kelas X* (Tim Grasin). Gramedia Widiasarana.
- Wismoyo, B. A., & Nurwasito, H. (2023). Implementasi Sistem Monitoring Sungai berbasis LoRa-MQTT Gateway. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(4), 1689–1698.
<https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/12562>
-