

Desain dan Implementasi Aplikasi Mobile SpeedPay sebagai Antarmuka Pembayaran RFID pada Gerbang Tol Jakarta

1st Fany Fadilah Irwan
Fakultas Teknik Elektro
Telkom Univeristy
Jakarta, Indonesia

fanyfadilah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Kamelia Quzwain
Fakultas Teknik Elektro
Telkom Univeristy
Jakarta, Indonesia

kquzwain@telkomuniversity.ac.id

3rd Sevierda Raniprima
Fakultas Teknik Elektro
Telkom Univeristy
Jakarta, Indonesia

sevierdar@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Kemacetan di gerbang tol akibat sistem pembayaran manual menjadi masalah serius di Indonesia karena menimbulkan inefisiensi, kerugian ekonomi, dan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem identifikasi kendaraan otomatis berbasis Radio Frequency Identification (RFID) UHF untuk meningkatkan efisiensi transaksi tol. Sistem dirancang dengan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak. Dari sisi hardware, digunakan antena tag RFID pasif UHF yang divalidasi melalui simulasi CST, reader RFD182-USB yang terhubung ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266, serta perangkat pendukung seperti sensor ultrasonik, LCD, buzzer, dan servo. Data hasil pembacaan dikirimkan secara real-time ke server cloud Firebase. Dari sisi software, dikembangkan aplikasi mobile *SpeedPay* dengan fitur registrasi, login, top-up saldo, riwayat transaksi, serta website admin untuk manajemen data pengguna dan kendaraan. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja efektif dengan uptime 99%, QoE pengguna sangat baik, serta integrasi data real-time yang stabil. Meskipun jangkauan pembacaan fisik terbatas 8 cm dibanding simulasi 3–5 m, sistem tetap mampu mendeteksi tag secara konsisten dan menunjukkan potensi besar untuk diterapkan dalam pengurangan kemacetan gerbang tol.

Kata kunci— RFID, UHF, Antena Tag, Reader, Jalan Tol

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel telah memberikan kontribusi besar dalam mendukung otomatisasi dan efisiensi berbagai sistem, salah satunya melalui teknologi Radio Frequency Identification (RFID) [1], [2]. Teknologi ini memungkinkan identifikasi objek secara nirkabel dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk mentransfer data antara tag dan reader. Di antara berbagai frekuensi operasional RFID, Ultra High Frequency (UHF) menjadi pilihan utama untuk aplikasi yang membutuhkan jarak baca yang panjang, kecepatan pembacaan tinggi, dan kemampuan membaca banyak tag sekaligus (multi-tag reading) [3], [4].

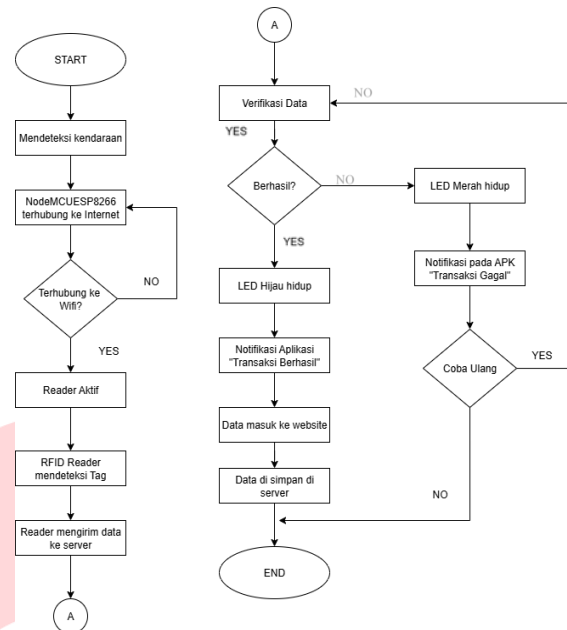
Salah satu penerapan yang potensial dari RFID UHF adalah pada sistem pembayaran tol tanpa henti atau Multi Lane Free Flow (MLFF) [5], [6], [7]. Sistem ini dirancang untuk mengatasi masalah kemacetan di gerbang tol dengan

memungkinkan kendaraan melintas tanpa berhenti, sehingga dapat mengurangi waktu antrean, menghemat konsumsi bahan bakar, dan meningkatkan kelancaran arus lalu lintas [8], [9]. Namun, keberhasilan implementasi MLFF sangat bergantung pada kinerja sistem RFID UHF, yang dipengaruhi oleh faktor jarak, kondisi lingkungan, potensi interferensi, dan kualitas perangkat keras, khususnya antena tag [10], [11].

Dalam konteks ini, perancangan antena tag RFID UHF menjadi bagian penting untuk memastikan transmisi dan penerimaan sinyal yang optimal. Desain antena harus mempertimbangkan parameter teknis seperti return loss, gain, dan pola radiasi agar mampu bekerja secara andal pada rentang frekuensi yang ditentukan. Selain itu, evaluasi performa sistem juga diperlukan untuk mengukur parameter kunci seperti Received Signal Strength Indicator (RSSI), Packet Error Rate (PER), Read Rate, daya pantulan (backscatter power), Propagation Delay, serta hubungan Signal-to-Noise Ratio (SNR) terhadap Bit Error Rate (BER). Pengukuran parameter-parameter ini tidak hanya memberikan gambaran mengenai kualitas komunikasi, tetapi juga membantu mengidentifikasi faktor pembatas dalam sistem.

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini berfokus pada bagaimana merancang antena tag RFID UHF yang optimal serta mengevaluasi performa sistem dalam berbagai kondisi operasional. Tujuannya adalah menghasilkan desain antena yang memiliki performa baik pada frekuensi kerja yang diinginkan, serta mendapatkan data kuantitatif mengenai performa transmisi sinyal untuk mendukung implementasi MLFF. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi teknis bagi pengembangan sistem RFID UHF yang efisien, handal, dan dapat diimplementasikan pada skala nasional.

Penelitian ini menggabungkan metode simulasi dan pengujian langsung untuk mencapai tujuan tersebut. Simulasi digunakan untuk memodelkan desain antena dan karakteristik sinyal pada kondisi ideal, sedangkan pengujian eksperimental dilakukan untuk memvalidasi hasil simulasi di lingkungan nyata. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi RFID UHF, khususnya dalam mendukung sistem pembayaran tol tanpa henti yang aman, cepat, dan efisien.

TABEL 1 Flowchart Keseluruhan Sistem

Radio Frequency Identification (RFID) merupakan salah satu teknologi identifikasi otomatis yang memanfaatkan gelombang radio untuk mentransfer data antara tag dan reader. Dibandingkan metode tradisional seperti barcode atau kartu elektronik, RFID memiliki sejumlah keunggulan, di antaranya kemampuan membaca tanpa kontak fisik, mendukung identifikasi beberapa objek sekaligus (multi-tag reading), serta cakupan jarak baca yang lebih luas [1], [2], [3].

Dalam penerapannya pada sistem tol, RFID dianggap sebagai solusi yang mampu mempercepat proses transaksi. Hal ini terutama berlaku pada RFID pasif dengan frekuensi Ultra High Frequency (UHF), yang dapat dibaca dari jarak beberapa meter sehingga kendaraan tidak perlu berhenti sepenuhnya di gerbang tol [5], [6], [12], [13]. Beberapa negara telah menerapkan sistem ini, misalnya Malaysia, Korea Selatan, dan Tiongkok, yang melaporkan keberhasilan dalam memperpendek waktu transaksi sekaligus mengurangi antrean kendaraan di jalan tol [7].

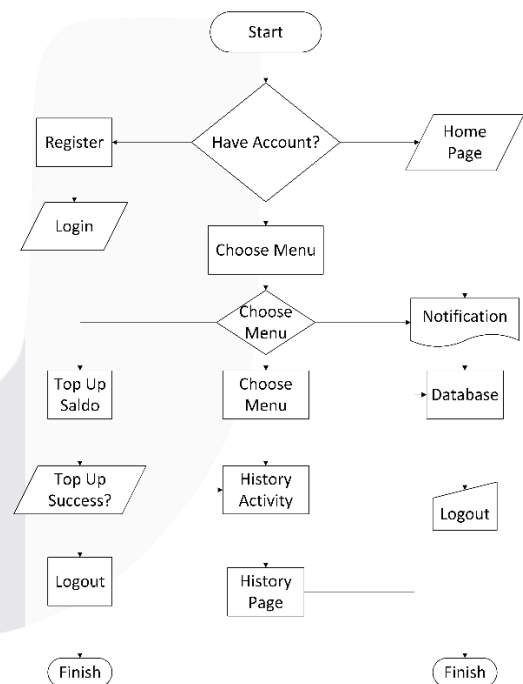
Kinerja RFID di jalan tol tidak hanya ditentukan oleh perangkat keras, tetapi juga oleh sistem backend yang mengelola data transaksi secara langsung. Begitu reader mendeteksi tag, identitas kendaraan akan diverifikasi, saldo dipotong otomatis, dan data transaksi tersimpan dalam hitungan detik. Mekanisme ini sesuai dengan konsep Multi Lane Free Flow (MLFF), yakni sistem pembayaran tol yang memungkinkan kendaraan melintas tanpa hambatan fisik.

Studi terdahulu menunjukkan bahwa RFID berbasis UHF memiliki tingkat akurasi identifikasi di atas 99% dengan waktu pembacaan yang sangat singkat. Temuan ini memperkuat landasan teoretis bahwa pemanfaatan RFID tag berpotensi menjadi alternatif efektif dalam mempercepat transaksi tol di Jakarta, sekaligus mendukung efisiensi lalu lintas dan pengembangan sistem transportasi berbasis cashless.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan teknis yang harus dipenuhi agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan sesuai dengan regulasi yang berlaku, dimana prosesnya meliputi perancangan, pembangunan, serta pengujian prototipe sistem untuk memperoleh data dan mengevaluasi kinerjanya. Aplikasi SpeedPay dikembangkan menggunakan Android Studio dengan bahasa pemrograman Java. Firebase digunakan sebagai basis data utama untuk autentikasi pengguna, penyimpanan saldo, serta pencatatan riwayat transaksi. Perancangan antarmuka mengacu pada prinsip user-centered design dengan menekankan kesederhanaan tampilan agar mudah digunakan oleh berbagai kalangan.

Pengujian aplikasi dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, dilakukan evaluasi fungsionalitas untuk memastikan seluruh fitur bekerja sesuai rancangan. Kedua, dilakukan uji performa yang meliputi kecepatan login, sinkronisasi riwayat transaksi, dan stabilitas layanan. Terakhir, kepuasan pengguna diukur menggunakan metode Quality of Experience (QoE) dengan skala penilaian 1–5.

TABEL 2 Flowchart Aplikasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan dalam lima tahap utama: antena, reader, sinyal, aplikasi, dan website. Hasil pengembangan aplikasi menunjukkan bahwa *SpeedPay* mampu berfungsi sebagai antarmuka yang memfasilitasi interaksi pengguna dengan sistem RFID secara efisien.

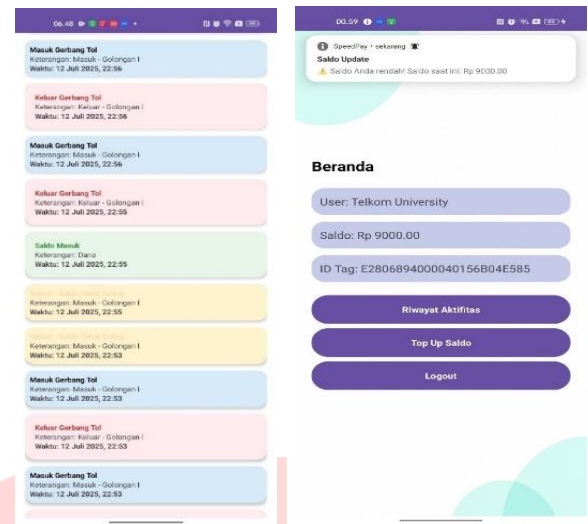


GAMBAR 1 Halaman Registrasi

Aplikasi tidak hanya menyediakan fitur dasar seperti registrasi dan login, tetapi juga mendukung pemantauan transaksi yang terintegrasi dengan perangkat keras RFID. Salah satu aspek penting adalah proses registrasi dan login yang dapat dilihat pada Gambar 1 yang menggunakan Firebase Authentication. Hal ini memberikan tingkat keamanan yang baik karena setiap akun pengguna terikat pada identitas unik berupa nomor RFID Tag dan password. Hasil uji performa menunjukkan bahwa rata-rata waktu login berada di bawah 1 detik, sehingga dapat dikategorikan sangat responsif.

Selanjutnya, fitur top-up saldo berfungsi sebagai simulasi penambahan dana pada akun pengguna. Pada tahap prototipe, top-up dilakukan secara manual melalui aplikasi dan data langsung tercatat di Firebase. Walaupun belum terintegrasi dengan layanan pembayaran elektronik seperti e-wallet atau perbankan, fitur ini telah berhasil menunjukkan mekanisme dasar pengelolaan saldo pengguna.

Fitur riwayat transaksi menjadi komponen penting yang mendukung transparansi sistem seperti yang terlihat di Gambar 3.4. Setiap kali kendaraan melewati gerbang tol dan RFID tag berhasil terbaca, data transaksi berupa waktu, lokasi, serta nominal biaya secara otomatis tercatat dan diperbarui pada aplikasi. Pengguna dapat memantau transaksi ini dalam waktu singkat, dengan keterlambatan rata-rata hanya 1–2 detik setelah pembacaan tag.



GAMBAR 2 History Page dan Beranda

Selain itu, aplikasi juga dilengkapi dengan notifikasi pembayaran. Setiap transaksi yang berhasil akan menampilkan pesan “Transaksi Berhasil”, sedangkan jika saldo tidak mencukupi akan muncul pesan “Saldo Tidak Mencukupi”. Kehadiran notifikasi ini meningkatkan kenyamanan pengguna karena memberikan kepastian bahwa sistem bekerja sesuai harapan.

Dari sisi kepuasan pengguna, hasil kuesioner menunjukkan bahwa aplikasi memperoleh skor rata-rata QoE sebesar 5, yang menandakan tingkat penerimaan sangat baik. Faktor yang paling diapresiasi adalah kemudahan penggunaan, kecepatan sistem, serta kejelasan informasi transaksi yang disajikan.

Secara keseluruhan, hasil implementasi ini membuktikan bahwa aplikasi *SpeedPay* berhasil mengintegrasikan teknologi RFID dengan antarmuka pengguna yang sederhana dan fungsional, serta berpotensi besar untuk mendukung modernisasi sistem pembayaran tol di Indonesia.

Pengujian bertujuan menampilkan seluruh aktivitas dan notifikasi di halaman riwayat, mencakup masuk/keluar gerbang tol, top up saldo, dan saldo tidak cukup. Notifikasi muncul ± 2 detik setelah tag dibaca. Seluruh riwayat tersimpan di database dengan baik. Selain itu, sistem menampilkan peringatan top up saat saldo $< \text{Rp}10.000$ beserta sisa saldo, meski pengguna berada di halaman utama aplikasi *SpeedPay*. Hasil uji availability dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

TABEL 3. Hasil uji availability Speedpay

Parameter	Kendala	Hasil
Register dan Login (Mengisi data untuk kebutuhan aplikasi dan melakukan login)	Tidak ada	Berhasil, menampilkan data yang sudah dimasukkan saat registrasi
Tampilan Beranda (Berhasilan menampilkan data)	Tidak ada	Berhasil, menampilkan data pemilik dan pilihan page
Ketersediaan Layanan API	Tidak ada	Berhasil, data dapat terupdate secara

(Berapa sering API merespon dengan benar)		langsung di database dan terhubung ke website
Konektifitas IoT (RFID) (Persentase keberhasilan komunikasi antara RFID dan aplikasi)	Tidak ada	Berhasil, saldo dapat terpotong ketika tag terbaca dan notifikasi dapat dilihat di aplikasi

TABEL 4. Availability Fungsi Aplikasi

Deskripsi	Ya	Tidak
Apakah dapat melakukan top up saldo?	-	✓
Apakah dapat terhubung ke email?	-	✓
Apakah mengirim OTP melalui nomor telepon?	-	✓
Apakah dapat notifikasi saat saldo tidak cukup?	✓	-
Apakah mendapat notifikasi peringatan saldo saat saldo kurang dari 10.000?	✓	-
Apakah muncul peringatan password atau pengguna tidak ditemukan saat salah memasukkan username dan password?	✓	-

TABEL 5. Pengujian Delay Aplikasi

Penilaian	Delay	Standar ITU-T	Keterangan
Registrasi	500 ms	< 1 detik	Sesuai standar aplikasi interaktif menurut ITU-T G.1010. Waktu respon tergolong baik, menunjukkan proses pendaftaran berjalan cepat dan efisien.
Login	222 ms	< 1 detik	Masuk dalam batas ideal respons aplikasi interaktif. Login terdeteksi cepat dan tidak mengganggu kenyamanan pengguna.

Reader ke Database	750 ms	< 2 detik	Meskipun sedikit lebih besar dari proses login/registrasi, delay ini masih sangat responsif dan berada dalam ambang toleransi komunikasi data perangkat ke server.
--------------------	--------	-----------	--

V. KESIMPULAN

Aplikasi mobile *SpeedPay* telah berhasil dikembangkan dan diintegrasikan dalam sistem pembayaran tol berbasis RFID. Aplikasi menyediakan fitur utama berupa registrasi, login, top-up saldo, riwayat transaksi, dan notifikasi pembayaran dengan performa yang optimal. Integrasi dengan Firebase memungkinkan pembaruan data secara real-time dengan tingkat keandalan tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi memiliki *uptime* 99% dan skor kepuasan pengguna (QoE) 5, sehingga dapat dinyatakan efektif dan layak untuk mendukung implementasi pembayaran tol otomatis di masa depan.

REFERENSI

- [1] K. Li and Y. Zhuang, "RFID-based Multi-Lane Free Flow tolling system," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 7, pp. 2201–2210, 2018.
- [2] Google Firebase, "Firebase Realtime Database Documentation," 2023. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/database>
- [3] Android Developers, "Android Studio Documentation," 2023. [Online]. Available: <https://developer.android.com/studio>
- [4] A. Bhaskar et al., "Compact meander-line antenna for UHF RFID applications," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2019, pp. 1–9, 2019.
- [5] A. Dix, J. Finlay, G. Abowd, and R. Beale, *Human-Computer Interaction*, 3rd ed. London, U.K.: Pearson, 2004.
- [6] J. Nielsen, *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 1994.
- [7] Y. Lu, C. Papagiannidis, and E. Alamanos, "Exploring the emotional antecedents and outcomes of technology acceptance," *Computers in Human Behavior*, vol. 90, pp. 153–169, Jan. 2019.
- [8] S. R. Hussain, A. S. Jalal, and M. A. Siddiqui, "Cloud based real-time mobile application for smart transportation system," *International Journal of Computer Applications*, vol. 180, no. 2, pp. 22–27, Dec. 2017.
- [9] A. Gunawan, D. H. Widyantoro, and A. Purwarianti, "Mobile payment application with NFC technology in transportation system," in *Proc.*

- Int. Conf. Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Bali, Indonesia, Oct. 2014, pp. 161–166.
- [10] M. Shorfuzzaman and M. S. Hossain, “Integration of mobile applications and cloud computing: Issues and challenges,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 9, pp. 2107–2114, Nov. 2013.
- [11] R. K. Lomotey and R. Deters, “Mobile application for real time data processing and cloud services,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Cloud Computing (CLOUD)*, Santa Clara, CA, USA, 2013, pp. 340–347. 2015.

