

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenaikan jumlah kendaraan bermotor setiap tahun di Indonesia secara tidak langsung telah mengubah jalan tol menjadi titik kemacetan baru, khususnya di area gerbang pembayaran. Badan Pusat Statistik Indonesia mencatat bahwa permasalahan yang muncul tidak hanya terletak pada kapasitas ruas jalan, tetapi juga pada efisiensi sistem transaksi di gerbang tol yang masih memicu antrean panjang pada jam sibuk akibat waktu layanan yang belum responsif [1].

Meskipun sistem pembayaran telah beralih ke metode elektronik (*e-toll*), berbagai kendala teknis masih sering terjadi di lapangan. Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya faktor penghambat transaksi seperti kegagalan *tapping*, *error reader*, pemotongan saldo yang tidak sesuai, hingga kerusakan sistem [2]. Kondisi nyata di lapangan juga mengonfirmasi bahwa waktu pelayanan yang lama, kendala pada mesin *reader* maupun *Automatic Lane Barrier* (ALB), serta saldo *e-toll* yang tidak mencukupi turut menjadi faktor utama penyebab antrean panjang [3]. Di sisi lain, dalam praktiknya masih sering terjadi keterlambatan transaksi yang melebihi regulasi standar pelayanan minimal jalan tol yang ditetapkan pemerintah [4]. Keterbatasan ini terjadi karena proses transaksi saat ini masih mengandalkan interaksi langsung dan *tapping* fisik di gerbang tol, terutama saat volume kendaraan tinggi.

Permasalahan yang ada di Indonesia terkait sistem gerbang tol *free flow* dan transaksi elektronik juga dipengaruhi oleh beberapa faktor kontekstual dan faktor kelembagaan. Kajian sistem antrean penggunaan *e-toll* menunjukkan bahwa antrean kendaraan masih terjadi pada kondisi volume tinggi. Evaluasi terhadap pemenuhan Standar Pelayanan Minimal jalan tol di Indonesia juga menunjukkan bahwa masih ada indikator pelayanan yang belum selalu terpenuhi pada beberapa ruas tol. Selain itu, rencana penerapan sistem *Multi Lane Free Flow* (MLFF) menegaskan bahwa kebutuhan untuk menghilangkan hambatan berhenti di gerbang

tol memang semakin mendesak, tetapi tetap memerlukan kesiapan perangkat dan sistem validasi yang andal [46].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang untuk mengatasi masalah ini melalui integrasi perangkat fisik dengan sistem digital. Penggunaan mikrokontroler seperti ESP32 menjadi solusi yang relevan karena performanya yang baik dan dilengkapi dengan fitur *Wi-Fi* internal dengan biaya yang relatif rendah. Namun, dalam membangun sistem gerbang tol otomatis, aspek terpenting terletak pada logika sistem yang mengatur proses transaksi dan pengurangan saldo agar tidak terjadi kehilangan data (*data loss*).

Beberapa penelitian terdahulu tentang sistem gerbang tol otomatis masih memiliki keterbatasan. Penelitian oleh Pratama dkk. menggunakan sensor ultrasonik dengan logika yang masih sederhana sehingga kurang stabil [5]. Penelitian oleh Rahman telah menerapkan IoT, namun pengolahan datanya belum terstruktur untuk keperluan *tracking* transaksi [6]. Sementara itu, penelitian oleh Robby dkk. dan Khaery dkk. baru mampu mengontrol aspek fisik, tetapi belum terintegrasi dengan *cloud database* [7][8]. Akibatnya, integrasi antara sistem transaksi, logika pengolahan data, dan penyimpanan data secara *real-time* belum berjalan optimal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan sistem yang mampu mengintegrasikan perangkat, logika sistem, dan pengelolaan data secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perancangan sistem transaksi dan pengolahan data menggunakan Firebase Realtime Database untuk meningkatkan transparansi serta sinkronisasi data secara *real-time*. Untuk memperkuat logika sistem dan mencegah kesalahan seperti pemotongan saldo ganda, diterapkan metode *Finite State Machine* (FSM) untuk mengatur alur proses secara terstruktur. Dengan menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan sensor ultrasonik, RFID, dan motor servo, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi gerbang tol berbasis *free flow* yang akurat, aman, transparan, dan terintegrasi.

Penelitian ini melibatkan kerja sama dengan Muhammad Ceo Kautsar dalam studi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kendali *Automatic Line Barrier*

(ALB) Berbasis *Finite State Machine* (FSM) menggunakan Sensor Ultrasonik pada Prototipe Gerbang Tol *Free Flow*” serta dengan Muhammad Dava Samudra dalam studi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Identifikasi *Sticker Tag* UHF RFID pada Prototipe Gerbang Tol *Free Flow*”. Mikrokontroler ESP32 menerima data hasil pemrosesan yang dikirimkan oleh Firebase Realtime Database berupa informasi status validasi akun dan sisa kecukupan saldo kendaraan. Berdasarkan informasi tersebut, ESP32 menghasilkan sinyal kendali berupa *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk menggerakkan aktuator dan motor servo pada palang gerbang agar dapat membuka secara otomatis serta melakukan proses perizinan akses jalan. Selain itu, sensor ultrasonik mengirimkan sinyal status ke ESP32 ketika tidak ada kendaraan yang terdeteksi secara fisik di area gerbang pembacaan. Sinyal status itu digunakan sebagai indikator bahwa proses melintas telah selesai dan motor servo dapat menutup kembali palang gerbang untuk berpindah ke kondisi *standby* berikutnya. Dengan mekanisme ini, sistem mampu mengolah data transaksi tol *free flow* secara otomatis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan yang dapat dirumuskan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem transaksi berbasis IoT yang mampu mengurangi saldo secara akurat dan menghindari kesalahan transaksi seperti *double payment* atau kegagalan pemotongan saldo?
2. Bagaimana mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan Firebase Realtime Database agar data transaksi dapat disimpan, diproses, dan dipantau secara *real-time* tanpa kehilangan data (*data loss*)?
3. Bagaimana penerapan metode *Finite State Machine* (FSM) dalam mengatur alur sistem agar proses transaksi berjalan terstruktur dan meminimalkan kesalahan logika sistem?
4. Bagaimana mengimplementasikan sinkronisasi antara deteksi kendaraan menggunakan sensor ultrasonik, pembacaan RFID, dan proses transaksi agar sistem dapat bekerja secara stabil dan efisien?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem transaksi berbasis IoT yang mampu mengurangi saldo secara akurat serta menghindari kesalahan transaksi.
2. Mengimplementasikan integrasi antara ESP32 dan Firebase Realtime Database untuk mendukung penyimpanan dan *monitoring* data transaksi secara *real-time*.
3. Menerapkan metode *Finite State Machine* (FSM) untuk mengatur alur sistem agar proses transaksi dapat berjalan secara terstruktur dan minim kesalahan.
4. Mewujudkan sinkronisasi antara deteksi kendaraan, pembacaan RFID, dan proses transaksi agar sistem dapat bekerja secara stabil dan efisien.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah:

1.4.1 Manfaat untuk Akademik

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang sistem *embedded* dan *Internet of Things* (IoT). Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi mahasiswa maupun peneliti lain yang ingin mengembangkan sistem serupa, terutama yang berkaitan dengan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem transaksi otomatis berbasis *cloud*. Adapun manfaat yang diharapkan dari sisi akademik adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman mengenai penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem transaksi otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 dan database *cloud*.
2. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem berbasis Firebase Realtime Database yang membutuhkan sinkronisasi data secara *real-time*.
3. Menambah kajian terkait integrasi antara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dalam sistem transaksi otomatis.
4. Menjadi dasar pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya dalam pengembangan sistem tol berbasis *free flow* dan *smart transportation*.

1.4.2 Manfaat untuk Implementasi

Selain memberikan kontribusi secara akademik, penelitian ini juga diharapkan memiliki manfaat praktis, terutama dalam memberikan gambaran awal mengenai penerapan sistem transaksi tol berbasis IoT yang lebih efisien dan terintegrasi. Sistem yang dirancang diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan teknologi gerbang tol modern yang mampu meningkatkan kualitas pelayanan serta transparansi data. Adapun manfaat implementasi yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran sistem transaksi tol yang lebih efisien dengan meminimalkan antrean kendaraan di gerbang tol.
2. Meningkatkan transparansi data transaksi karena seluruh data tersimpan secara *real-time* di *cloud database*.
3. Mengurangi potensi kesalahan transaksi seperti kegagalan *tapping* atau pemotongan saldo yang tidak sesuai.
4. Membantu pengelola dalam *memonitoring* data transaksi dan arus kendaraan secara lebih terpusat dan mudah diakses.
5. Menjadi model awal (*prototype*) pengembangan sistem gerbang tol berbasis *free flow* yang lebih modern dan terintegrasi.

1.5 Batasan Masalah

Agar Tugas Akhir ini lebih berfokus dan tidak meluas dari tujuan yang telah ditetapkan, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem menggunakan koneksi *Wi-Fi* untuk berkomunikasi dengan Firebase Realtime Database, sehingga kinerja sistem bergantung pada kestabilan jaringan internet.
2. Identifikasi kendaraan dilakukan menggunakan *RFID tag (UHF sticker)* sebagai simulasi kartu *e-toll*.
3. Sistem hanya menggunakan skema tarif *flat* (satu harga) dan tidak mencakup perhitungan tarif berdasarkan jarak (*closed system*).

4. Penentuan tarif tol dalam sistem transaksi ini dibatasi hanya untuk 1 golongan kendaraan.
5. Sistem transaksi yang dirancang pada Tugas Akhir ini terbatas pada proses identifikasi otomatis ID kendaraan, pengecekan kecukupan saldo, eksekusi pemotongan tarif tol secara otomatis, serta pembaruan sisa saldo secara *real-time*. Sistem tidak melayani pengisian ulang (*top-up*) saldo secara langsung pada prototipe gerbang.
6. Penelitian ini difokuskan pada integrasi sistem transaksi dan pengolahan data, sehingga tidak membahas aspek keamanan jaringan secara mendalam seperti enkripsi tingkat lanjut.
7. Pengujian sistem dilakukan dalam skala prototipe pada lingkungan *indoor*, sehingga tidak mempertimbangkan pengaruh kondisi lingkungan nyata seperti cuaca atau gangguan eksternal.
8. Sistem masih menggunakan simulasi gerbang (palang) sebagai representasi, sehingga belum sepenuhnya menerapkan konsep *free flow* tanpa hambatan fisik.

1.6 Sistematika Laporan Tugas Akhir

Laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab yang saling berhubungan. Sistematika penulisan dan pembahasan dalam penulisan ini yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada BAB ini akan dibahas hal-hal yang melatarbelakangi pembuatan suatu alat atau sistem pada Tugas Akhir, rumusan masalah alat atau sistem, tujuan alat atau sistem, manfaat alat atau sistem, batasan masalah alat atau sistem, serta sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada BAB ini akan dibahas tinjauan pustaka yang berisikan mengenai penelitian terdahulu yang memiliki relevansi serta teori-teori tentang komponen atau *tools* yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada BAB ini akan dibahas mengenai komponen-komponen yang dibutuhkan untuk pembuatan alat, BAB ini juga membahas tentang bagaimana sistem berjalan dan spesifikasi sistem.

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada BAB ini membahas terkait pengujian alat dan sistem serta analisa alat yang sudah dirancang sebelumnya

BAB 5 PENUTUP

BAB ini membahas kesimpulan yang didapatkan dari hasil yang telah diuji dan dianalisis serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini memuat referensi penulisan serta sumber yang dikutip oleh penulis.

LAMPIRAN

Bagian ini berisi hal-hal sisipan dan keterangan oleh penulis yang berisi tentang apa yang penulis tulis.