

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan mobilitas masyarakat, volume kendaraan di Indonesia terus mengalami peningkatan yang signifikan. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah kendaraan di Indonesia meningkat sebesar 4,05% setiap tahunnya dari rentang 2018 hingga 2022 [1]. Peningkatan ini telah mengakibatkan kemacetan yang semakin parah di berbagai kota besar dan jalan-jalan bebas hambatan di seluruh Indonesia, terutama pada hari-hari besar seperti libur hari raya ketika banyak masyarakat melakukan perjalanan pulang ke kampung halaman.

Dengan meningkatnya jumlah kendaraan selaras dengan meningkatnya pengguna jalan tol, hal ini bisa dilihat dari catatan PT Jasa Marga (Persero) Tbk mengenai volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) hingga Juni 2023 mencapai 3,47 juta kendaraan setiap harinya, antrean kendaraan di pintu masuk dan keluar tol semakin sering terjadi [2]. Pada waktu tertentu, antrean pada gerbang tol dapat menyebabkan kemacetan panjang sehingga mengganggu aktivitas pengendara yang menggunakan jalan tol. Hal ini disebabkan oleh lamanya waktu yang dibutuhkan setiap pengendara untuk melakukan transaksi. Pada dasarnya, jalan tol dirancang untuk bebas hambatan, sehingga pelayanan harus cepat, aman, dan nyaman bagi pengguna. Proses transaksi pembayaran harus dilakukan dengan cepat serta memastikan bahwa pengguna tol telah membayar sesuai tarif yang ditetapkan oleh Jasa Marga, dengan integrasi teknologi dan sumber daya manusia yang sudah ada.

Salah satu faktor yang menyebabkan munculnya antrean panjang di gerbang tol adalah pemanfaatan teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID) yang diterapkan pada kartu *e-money* untuk proses pembayaran. RFID berfungsi melalui gelombang radio, yang dapat mengidentifikasi dan melacak tag pada objek tertentu [3]. Dalam konteks pembayaran tol, RFID digunakan pada kartu *e-card* atau stiker yang ditempelkan pada kendaraan. Meskipun teknologi ini dirancang untuk memudahkan transaksi, pengguna jalan tol masih dihadapkan pada situasi di mana kendaraan perlu berhenti sejenak saat melewati gerbang tol. Kondisi ini sering kali

menjadi penyebab kemacetan di pintu tol. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk melakukan pendekatan yang dapat mendukung mobilitas yang lebih efisien dan mengurangi waktu yang dihabiskan pengendara saat melewati gerbang tol, sehingga kenyamanan pengguna jalan dapat ditingkatkan tanpa harus terganggu oleh antrean panjang.

1.2 Analisa Masalah

Dalam merancang sistem pembayaran tol otomatis yang lebih cepat, akurat, dan efisien, diperlukan analisis menyeluruh terhadap berbagai aspek yang selama ini menjadi hambatan dalam penerapan sistem konvensional. Permasalahan dalam sistem pembayaran tol tidak hanya berasal dari keterbatasan teknologi yang digunakan, tetapi juga dari faktor ekonomi dan efisiensi operasional yang secara langsung mempengaruhi kualitas layanan kepada pengguna jalan tol. Oleh karena itu, dalam Tugas Akhir ini, analisis permasalahan difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu aspek teknis, aspek ekonomi, dan efisiensi waktu.

1.2.1 Aspek Teknis

Sistem pembayaran tol di Indonesia saat ini didominasi oleh teknologi RFID, yakni pada *e-card* dan RFID Sticker. Sistem RFID, meskipun menawarkan teknologi transaksi tanpa kontak, masih menghadapi tantangan signifikan dalam implementasinya. Pengendara tetap harus memperlambat atau bahkan berhenti sejenak untuk memastikan transaksi berhasil, yang ironisnya mengurangi efektivitas sistem ini dalam mengurangi antrean. Masalah pembacaan tag RFID pada kecepatan tinggi juga menjadi kendala, terutama ketika volume lalu lintas meningkat pada jam sibuk. Selain itu, interferensi sinyal yang dapat terjadi pada kondisi cuaca tertentu, seperti hujan lebat atau kabut tebal, menambah kompleksitas penggunaan teknologi ini. Di sisi lain, sistem *e-card* yang telah menjadi metode pembayaran dominan, menawarkan peningkatan kecepatan transaksi dibandingkan dengan pembayaran tunai konvensional. Namun, sistem ini masih jauh dari sempurna. Salah satu masalah utama adalah insiden saldo tidak cukup yang sering terjadi, menyebabkan penundaan dan kemacetan yang tidak perlu.

1.2.2 Aspek Ekonomi

Implementasi teknologi RFID sebagai sistem pembayaran di jalan tol memiliki pertimbangan terkait biaya dan operasional. Dalam pengembangannya perangkat RFID memiliki umur pakai yang relatif pendek, hanya sekitar 2-3 tahun. Ini berarti bahwa biaya penggantian dan pemeliharaan harus diperhitungkan secara berkala, yang dapat menambah beban finansial bagi operator tol. Setiap kali perangkat harus diganti atau diperbaiki, ada biaya tambahan yang harus dikeluarkan, yang dapat mempengaruhi anggaran jangka panjang dan efisiensi biaya keseluruhan dari sistem tol [4].

1.2.3 Efisiensi Waktu

Efisiensi waktu mungkin merupakan aspek yang paling terasa langsung oleh pengguna jalan tol. Waktu tunggu *e-card* memiliki waktu transaksi rata-rata sekitar 5 detik per kendaraan, tetapi kendaraan harus berhenti untuk melakukan transaksi, yang dapat memperpanjang waktu tunggu selama jam sibuk [5]. Sistem RFID, meskipun secara teoritis dapat memproses transaksi dalam waktu 2-5 detik, dalam praktiknya sering mengalami kendala yang menyebabkan waktu tunggu serupa dengan *e-card*. Hal ini terutama disebabkan oleh kebutuhan untuk memperlambat kendaraan untuk memastikan pembacaan tag yang akurat [6].

1.3 Analisis Solusi yang Ada

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem pembayaran tol yang lebih cepat dan efisien, berbagai solusi telah dikembangkan guna menggantikan metode pembayaran konvensional. Tujuan utama dari pengembangan sistem ini adalah untuk mengurangi antrean, mempercepat proses transaksi, dan meningkatkan kenyamanan pengguna jalan tol. Beberapa solusi yang telah diimplementasikan antara lain penggunaan kartu elektronik (*e-card*), stiker RFID, serta sistem berbasis GNSS yang masing-masing memiliki karakteristik, keunggulan, dan tantangan tersendiri dalam penerapannya.

1.3.1 E-Card

E-card merupakan sebuah sistem transaksi yang memanfaatkan *smart card* yang memiliki fungsi sebagai uang digital. Kartu *e-card* termasuk dalam kartu prabayar, kartu tersebut memiliki saldo yang tersimpan secara elektronik dalam

media server atau chip. Penggunaan *e-card* mulai diberlakukan di Indonesia pada 31 Oktober 2017 menggantikan transaksi dengan uang tunai [7]. Salah satu kelebihan dari transaksi menggunakan *e-card* yaitu pengguna hanya membutuhkan waktu sekitar 5 detik saja, jauh lebih cepat daripada transaksi non-tunai dengan sistem yang sama (kendaraan harus berhenti saat transaksi) [5]. Namun, salah satu permasalahan dari penggunaan kartu *e-card* adalah pengguna tidak dapat mengetahui jumlah saldo yang dimiliki sehingga dapat menambah penumpukan kendaraan pada saat saldo yang dimiliki pengguna tidak mencukupi.

1.3.2 RFID Sticker

Radio Frequency Identification (RFID) merupakan sebuah sistem identifikasi yang memanfaatkan gelombang radio yang memiliki rentang frekuensi 860-960 MHZ dan memerlukan minimal dua buah perangkat, yaitu *Tag* dan *Reader*. Stiker *Tag* diletakkan pada kendaraan dan *Reader* terletak pada gerbang tol yang akan membaca tag pada jarak tertentu. Teknologi ini sudah digunakan di Amerika, Asia, dan beberapa titik di Indonesia seperti Bali serta Jabotabek [4]. RFID memiliki kinerja dan reliabilitas yang cukup tinggi serta tidak terganggu oleh faktor cuaca. Namun, kinerja dari RFID *sticker* akan terganggu ketika kendaraan berkecepatan tinggi lebih dari sekitar 30 km/jam[5].

1.3.3 GNSS

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan sebuah sistem navigasi untuk melacak posisi pengguna berbasis satelit. Sistem GNSS menjamin ketersediaan sinyal yang cukup luas untuk daerah yang sulit mengakses sinyal seluler karena satelit memiliki jangkauan yang cukup luas [8]. Selain itu, GNSS memberikan informasi waktu dan lokasi yang akurat sehingga teknologi ini tepat untuk digunakan pada sebuah sistem kendaraan. Pada *automatic toll payment*, sistem ini memerlukan sebuah OBU (*On Board Unit*) yang dipasang pada kendaraan pengguna untuk menerima sinyal dari satelit. Dengan menggunakan OBU dan GNSS, pengguna dapat membayar tol secara otomatis tanpa harus berhenti di gerbang tol dengan perhitungan tarif biaya berdasarkan lokasi dan perjalanan yang dilakukan [9]. Teknologi ini sudah digunakan di beberapa negara seperti Jepang, Singapura, dan China [8]. Namun, dalam aplikasi yang membutuhkan akurasi dan keandalan yang tinggi seperti *automatic toll payment*,

GNSS memerlukan sebuah sistem augmentasi. Sistem augmentasi tentu akan menambah permasalahan baru dari implementasi GNSS karena memerlukan biaya tambahan untuk pembangunan infrastruktur penunjang [8].

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tugas Akhir ini disusun sebagai bentuk kontribusi terhadap pemenuhan kebutuhan sistem transportasi cerdas di Indonesia, khususnya dalam mengoptimalkan proses pembayaran tol yang selama ini menjadi salah satu penyebab kemacetan. Sejalan dengan kebijakan pemerintah dalam mendorong digitalisasi transaksi jalan tol, seperti tercantum pada Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2024 tentang Jalan Tol dan Peraturan Menteri PUPR Nomor 16/PRT/M/2017, maka sistem pembayaran yang lebih efisien dan tidak mengharuskan kendaraan berhenti menjadi hal yang mendesak untuk direalisasikan. Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendukung implementasi kebijakan pemerintah terkait sistem transaksi tol nirsentuh dan tanpa berhenti melalui pengembangan solusi berbasis komunikasi V2I.
2. Menjawab permasalahan antrean dan keterbatasan efisiensi waktu pada sistem RFID dan *e-card* saat ini, khususnya saat kendaraan harus melambat atau berhenti saat transaksi.
3. Merancang sistem komunikasi antara kendaraan dan infrastruktur yang mampu bekerja dalam rentang kecepatan tertentu tanpa degradasi kinerja signifikan.
4. Menyediakan solusi alternatif hasil pengembangan dari sistem yang sudah ada, yang dapat diimplementasikan secara modular dan bertahap tanpa ketergantungan terhadap operator jaringan seluler.
5. Membangun sistem transaksi yang aman, terautentikasi, serta dilengkapi pencatatan log berbasis *database* sebagai pendukung sistem *monitoring* dan evaluasi.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Agar pengembangan sistem tetap terfokus dan dapat diimplementasikan dalam skala prototipe yang realistis, Tugas Akhir ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

1. Pengujian sistem dilakukan dalam lingkungan terkendali dan belum mencakup uji lapangan pada ruas tol aktif.
2. Rentang kecepatan kendaraan yang digunakan dalam pengujian sistem dibatasi pada 20 km/jam hingga 40 km/jam untuk menjamin kestabilan koneksi.
3. Komunikasi V2I yang digunakan berbasis protokol IEEE 802.11 (Wi-Fi), dan belum mencakup integrasi dengan teknologi seluler seperti LTE atau GNSS.
4. Sistem autentikasi jaringan menggunakan metode WPA2-Enterprise dengan server freeRADIUS yang berjalan pada virtual machine.
5. Kartu pengguna yang digunakan terbatas pada jenis kartu RFID MIFARE Classic, dengan struktur data statis yang menyimpan informasi saldo dan ID pengguna.
6. Backend server dan *database* dirancang menggunakan platform lokal tanpa koneksi *cloud* untuk menjaga kesederhanaan dan kemudahan pengujian.
7. Visualisasi transaksi hanya tersedia melalui antarmuka web sederhana dan belum terintegrasi dengan *dashboard* analitik berskala besar.