

PERANCANGAN PROTOTIPE SISTEM GERBANG TOL CERDAS BERBASIS RFID DAN NOTIFIKASI PEMBAYARAN VIA *SOCIAL MESSENGER*

Muhammad Arief Fatkhurrahman^{*)}, Wahyul Amien Syafei, and Darjat

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jln. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: *research@ariefatkhur.web.id*

Abstrak

Jalan tol merupakan jalan yang dirancang untuk bebas hambatan. Pada perkembangannya, jalan tol kini juga mengalami kemacetan, terutama pada waktu pulang-pergi kerja. Salah satu penyebab kemacetan ini adalah sistem pembayaran di gerbang tol yang memakan waktu. Gerbang Tol Otomatis, sebuah sistem *Electronic Toll Collection* yang diterapkan di Indonesia, belum dapat mengatasi masalah ini. Ini disebabkan pengguna jalan tol masih harus menempelkan kartu ke alat pembaca kartu elektronik untuk melakukan transaksi, sehingga kendaraan tetap harus berhenti sejenak. Selain itu, bukti pembayaran masih menggunakan kertas tercetak yang sebagian besar hanya dibuang dan akhirnya menjadi sampah di sekitar gerbang tol. Penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe sistem Gerbang Tol Cerdas berbasis teknologi RFID dan notifikasi pembayaran melalui *social messenger*. Hasil dari pengujian prototipe sistem Gerbang Tol Cerdas ini menunjukkan bahwa sistem mampu melayani kendaraan melaju melewati gerbang tol dengan kecepatan hingga 40 km/jam dengan jarak antara gerbang tol dan kendaraan sejauh 3 meter. Notifikasi pembayaran berhasil dikirim kepada smartphone pelanggan melalui *social messenger* Telegram dalam waktu 22,7 detik setelah kendaraan terdeteksi. Sistem ini diharapkan dapat mengatasi kemacetan di gerbang tol karena tidak ada lagi kendaraan berhenti saat memasuki gerbang tol dan menghilangkan penggunaan kertas sebagai pembayaran tercetak sehingga lebih hemat.

Kata Kunci : ETC, GTO, Gerbang Tol Cerdas, RFID, Social Messenger

Abstract

Highway is a public road built as a traffic-free road. Traffic in highway are often jammed these days, especially during rush hour. One of the reasons is the payment system takes too long time to finish. Gerbang Tol Otomatis (GTO) is an Electronic Toll Collection system which is implemented in Indonesia to resolve this problem. However, the traffic in highway is still often jammed. It happens because the customers need to tap the electronic card to its reader which require vehicles to stop a while. The receipt for every transaction is still printed on a piece of paper which is eventually wasted and harm the environment. This research goal is to design a prototype system based on RFID technology with payment notification via social messenger. This prototype could detect vehicles with speed up to 40 km/h. The distance between vehicle and toll gate is 3 meters. Payment notification is successfully sent to customer's smartphone via Telegram social messenger in 22.7 seconds after the vehicle is detected. This system is expected to be a solution to resolve traffic jam in highways because the vehicles do not need to stop when entering toll gate and paper usage is eliminated.

Keywords : ETC, GTO, RFID, Social Messenger

1. Pendahuluan

Jalan Tol merupakan jalan yang dirancang untuk bebas hambatan. Hadirnya jalan tol diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan dan memperpendek waktu perjalanan dibandingkan jika melalui jalan di luar tol yang dipadati oleh berbagai jenis kendaraan dan para pejalan kaki. Namun, kenyamanan ini sering sekali tidak dirasakan oleh

pengguna jalan tol di kota-kota besar. Hal ini terjadi karena sering terjadi antrean yang panjang di gerbang tol yang disebabkan oleh laju kendaraan yang datang di gerbang tol lebih besar daripada laju kendaraan yang dapat dilayani gerbang tol. Kemacetan di gerbang tol akan merugikan pengendara karena adanya waktu yang terbuang percuma, pembakaran bahan bakar yang sia-sia, pengotoran udara (polusi) dan gas buang kendaraan yang dapat mengganggu

lingkungan sekitar. Efek ini langsung atau tidak langsung dapat menyebabkan gangguan kesehatan [1].

Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), banyaknya kendaraan bermotor yang terdaftar pada kepolisian daerah Jawa Tengah pada Tahun 2015 berjumlah 82.624 kendaraan dengan kategori Mobil Penumpang, 4.011 untuk kategori Mobil Bus, dan 33.512 untuk kategori Mobil Barang [2]. Sedangkan, jalan tol pada Jawa Tengah banyak digunakan tidak hanya oleh penduduk Jawa Tengah sendiri, tetapi juga penduduk dari provinsi lain. Dengan melihat dokumen dari Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga mengenai Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol [3], terdapat spesifikasi kapasitas gerbang tol dengan jumlah gerbang sebanyak 15 gerbang adalah 5.310 kendaraan per jam dengan waktu pelayanan 10 detik. Melihat perbedaan yang jauh dari angka jumlah kendaraan dan angka kapasitas gerbang tol ini, maka dapat dipastikan akan terdapat penumpukan pada gerbang tol pada waktu-waktu kritis seperti waktu pulang pergi kerja dan mudik, khususnya di daerah Jawa Tengah.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah kemacetan pada jalan tol ini adalah dengan menggunakan gerbang tol elektronik. Manfaat gerbang tol elektronik mempunyai banyak keuntungan yaitu efisiensi aliran kendaraan, menghemat waktu, dan mengurangi polusi. Negara maju telah mengembangkan gerbang tol elektronik yang biasa disebut dengan *Electronic Toll Collection* (ETC). Sistem ini telah banyak digunakan oleh berbagai negara di Amerika, Eropa, Asia, dan Australia. Sistem ETC di Amerika dikenal dengan sebutan EZ-Pass, di Australia dikenal dengan istilah Citylink, sedangkan di Asia dikenal dengan D-Link. Semua mempunyai makna yang sama yaitu gerbang pelayanan jalan tol dengan menggunakan sistem ETC [4].

Gerbang tol di Indonesia mulai menerapkan teknologi serupa yang disebut dengan Gerbang Tol Otomatis (GTO). Penggunaan sistem GTO memungkinkan adanya peningkatan kualitas pelayanan pintu tol sehingga dapat meningkatkan kepuasan pelanggan jalan tol. GTO masih menggunakan kertas sebagai bukti pembayaran. Struk tersebut pada akhirnya akan dibuang dan tidak terpakai lagi. Struk ini dapat mengotori jalan tol sehingga tidak ramah lingkungan. GTO dalam perkembangan masih menggunakan smart card untuk proses identifikasi. Proses ini mengharuskan para pengendara menempelkan smart card pada smart card reader. Proses ini tidak lebih cepat dari cara pembayaran manual, sehingga menjadi penyebab aliran di gerbang tol masih terhambat.

ETC yang dikembangkan saat ini sudah menggunakan teknologi RFID dan dapat memberikan notifikasi melalui SMS [5], sehingga dapat menghilangkan penggunaan kertas

yang akan berdampak pada berkurangnya pengotoran lingkungan. Namun, biaya untuk mengirim SMS masih terbilang mahal. Solusi untuk ini adalah dengan menggunakan notifikasi melalui *social messenger* yang menggunakan paket data internet yang lebih murah daripada SMS [6].

Penelitian ini membahas perancangan prototipe sistem Gerbang Tol Cerdas berbasis RFID dan notifikasi *social messenger*. Prototipe sistem ini diharapkan dapat mengatasi kemacetan di gerbang tol karena tidak ada lagi kendaraan berhenti saat memasuki gerbang tol dan menghilangkan penggunaan kertas sebagai pembayaran tercetak sehingga lebih hemat. Topik penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak sistem GTC. Topik yang dibahas pada makalah ini adalah perancangan perangkat keras prototipe sistem GTC.

2. Metode

Tujuan utama dari sistem Gerbang Tol Cerdas adalah menghilangkan antrean di gerbang tol untuk mengurangi kemacetan dan menghilangkan penggunaan kertas untuk mengurangi sampah kertas. Untuk mencapai tujuan ini, teknologi RFID digunakan. Penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Akbar Fitra Listyono, menggunakan *tag* RFID aktif [7]. Sistem yang dirancang oleh Akbar mampu melayani kendaraan dengan kecepatan hingga 20 km/jam dan memberikan notifikasi melalui SMS.

Penelitian mengenai ETC telah banyak dilakukan. Salah satunya dilakukan Sana Said Al-Ghawi, dkk dengan menggunakan mikrokontroler MSP430 [8]. Data dari *tag* RFID yang dibaca oleh mikrokontroler melalui RFID *reader*, dikirimkan ke sebuah *server* basis data. *Server* basis data yang berupa PC ini kemudian mengirimkan notifikasi SMS menggunakan modul GSM yang terhubung. Di Kroasia, lajur ETC yang diimplementasikan oleh ARZ (Autocesta Rijeka-Zagreb) dan HAC (Hrvatske autoceste) menggunakan OBU. ARZ dan HAC melakukan penambahan perangkat ETC pada lajur tol dengan pembayaran manual. Digunakan teknologi RFID pada sistem ini [9].

Prototipe sistem GTC yang dirancang pada penelitian ini menggunakan *tag* RFID pasif dengan teknik deteksi kendaraan yang lebih bebas dan notifikasi pembayaran melalui *social messenger* Telegram. Cara ini digunakan agar kemampuan dari sistem yang dirancang oleh Akbar Fitra Listyono dapat dikembangkan dan menurunkan biaya operasional dari sistem tersebut.

Sistem GTC memiliki dua blok utama, yaitu blok proses identifikasi kendaraan dan blok pemroses dan penyimpanan

diharapkan. Struktur frame informasi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.

| | | | | | | | |
|------|------|-----|-----|----|-----|----|-----|
| 0x00 | 0xFF | LEN | DIR | D0 | ... | Dn | DCS |
|------|------|-----|-----|----|-----|----|-----|

Gambar 4. Struktur frame informasi yang digunakan untuk komunikasi antara OBU dan OBU Reader

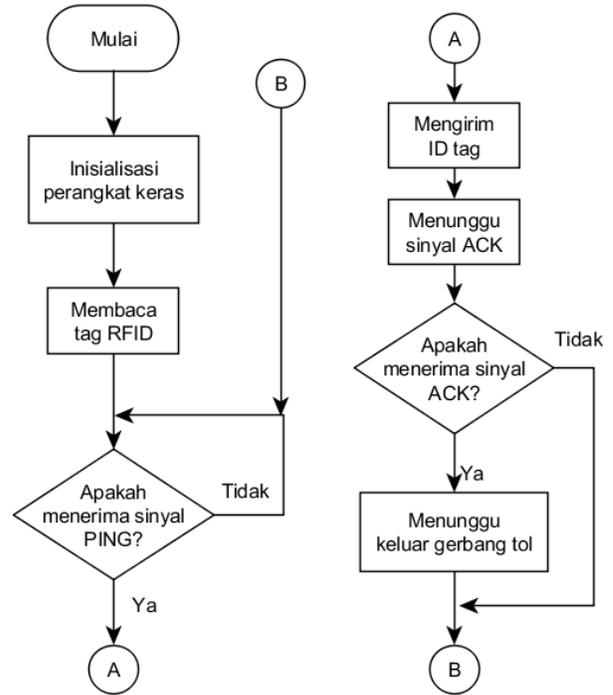
Struktur frame informasi untuk komunikasi OBU Reader dengan OBU memiliki struktur sebagai berikut.

- Awal frame yang terdiri dari 2 byte berisi 0x00FF.
- LEN yang berisi panjang paket dari DIR hingga Dn.
- DIR yang berisi kode yang menyatakan arah paket. 0xA1 jika arah paket berasal dari OBU Reader, 0xA2 jika arah paket berasal dari OBU.
- DATA yang berisi data yang ingin dikirimkan dengan panjang [LEN-1] byte. Pada OBU Reader, D0 merupakan maksud dari paket yang dikirimkan, yang bisa memiliki arti sebagai berikut.
 - Jika D0 bernilai 0x01, maksud paket adalah sinyal PING dan byte data selanjutnya adalah dua byte data berisi identitas gerbang tol.
 - Jika D0 bernilai 0xFF, maksud paket adalah sinyal ACK dan byte data selanjutnya adalah satu byte panjang identitas RFID diikuti dengan byte-byte identitas RFID yang telah berhasil diterima oleh OBU Reader.

Pada OBU, D0 merupakan panjang byte identitas RFID. D1 hingga Dn merupakan byte-byte identitas RFID.

- DCS yang berisi checksum data dengan relasi $[DIR+D0+\dots+Dn+DCS]=0$.

OBU berjalan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 5.

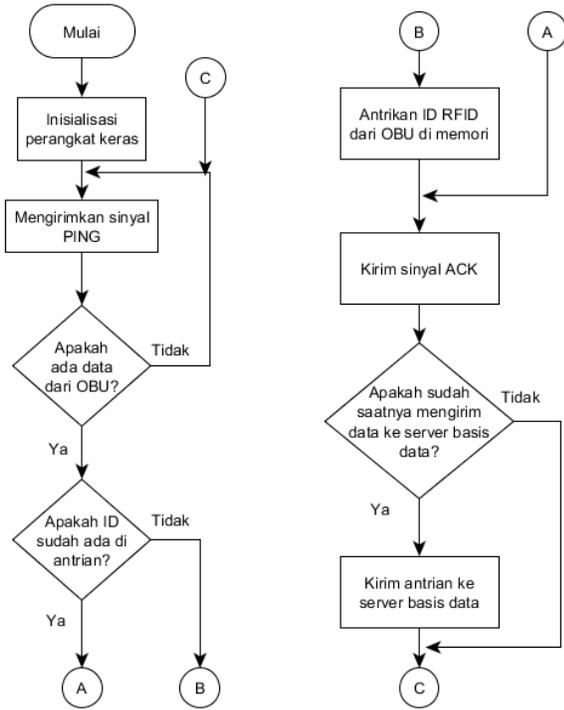


Gambar 5. Diagram alir program OBU

Gambar 5 menunjukkan program pada OBU berjalan dengan algoritma sebagai berikut.

1. OBU dinyalakan.
2. Inisialisasi perangkat keras meliputi modul RF HC-11, modul RFID Reader PN532, dan blok pewaktu ATmega8.
3. Membaca tag RFID yang terpasang pada OBU.
4. Menunggu sinyal PING dari OBU Reader.
5. Jika sinyal PING sudah diterima,
 - a. Mengirim identitas tag RFID.
 - b. Menunggu sinyal ACK.
 - c. Jika sinyal ACK diterima,
 - i. Menunggu kendaraan keluar gerbang tol.
 - ii. Kembali ke langkah 3.
 - d. Jika sinyal ACK tidak diterima dalam waktu satu detik,
 - i. Kembali ke langkah 3.

OBU Reader berjalan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 6.

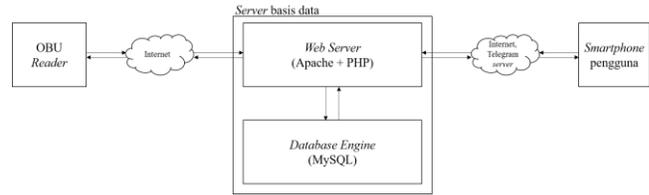


Gambar 6. Diagram alir program OBU Reader

Gambar 6 menunjukkan program OBU Reader berjalan dengan algoritma sebagai berikut.

1. OBU Reader dinyalakan.
2. Inisialisasi perangkat keras meliputi modul RF HC-11, modul GSM/GPRS SIM900A, blok USB dan blok pewaktu dari STM32F103C8T6. Pada proses ini juga dilakukan sinkronisasi waktu *Real-time Clock* (RTC) dengan waktu server.
3. Mengirimkan sinyal PING setiap 0,5 detik.
4. Jika ada data yang diterima dari OBU,
 - a. Memeriksa apakah identitas OBU sudah ada di antrian di memori.
 - b. Jika belum ada,
 - i. Antrikan identitas OBU di antrian di memori.
 - c. Mengirimkan sinyal ACK.
5. Setiap 30 detik, OBU Reader mengirim data yang ada di antrian di memori ke blok pemroses dan penyimpanan data.

Blok pemroses dan penyimpanan data terdiri dari *server* basis data yang berfungsi untuk melakukan validasi data, penyimpanan data, dan pengiriman notifikasi pembayaran melalui Telegram. Gambar 7 menunjukkan diagram blok dari blok pemroses dan penyimpanan data.



Gambar 7. Diagram blok pemroses dan penyimpanan data

Server basis data dan OBU Reader berkomunikasi melalui Internet. Pengiriman data dilakukan dengan protokol HTTP. Data kendaraan yang memasuki gerbang dari OBU Reader terdiri dari identitas gerbang, identitas RFID kendaraan, dan waktu kendaraan memasuki gerbang. Data ini dikemas dalam format JSON. *Server* memilah data JSON ini, melakukan validasi untuk setiap identitas RFID, menyimpan data di basis data, dan mengirim notifikasi pembayaran ke akun Telegram yang terdaftar dengan setiap identitas RFID tersebut.

Sistem GTC mengirim pesan notifikasi menggunakan *social messenger* Telegram. Pesan notifikasi Telegram dikirim menggunakan *Application Programming Interface* (API) Telegram yang tersedia pada layanan Telegram. Notifikasi yang dikirim berisi informasi tarif, nama gerbang tol, dan waktu memasuki gerbang tol.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengaruh Pengaturan Daya Terhadap Jarak Pembacaan

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan variasi pengaturan daya dan melihat pengaruhnya pada jarak maksimum pembacaan OBU oleh OBU Reader. HC-11 memiliki 8 mode pengaturan daya. Pengujian ini dilakukan menggunakan 4 pengaturan daya, yaitu 0 dBm, 5 dBm, 7 dBm, dan 10 dBm. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian pengaruh daya terhadap jarak komunikasi.

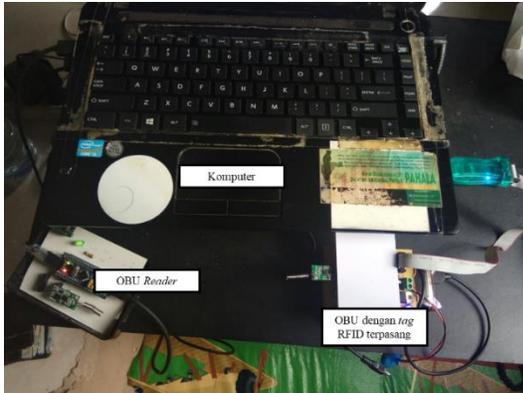
Tabel 1. Hasil pengujian pengaruh daya terhadap jarak komunikasi.

| Daya | Jarak Maksimum |
|--------|----------------|
| 0 dBm | 0,7 m |
| 5 dBm | 1,3 m |
| 7 dBm | 4,5 m |
| 10 dBm | 6,7 m |

Tabel 1 menunjukkan pengaruh daya terhadap jarak komunikasi. Jarak terdekat didapatkan pada daya 0 dBm, yaitu 0,7 meter. Jarak terjauh didapatkan pada daya 10 dBm, yaitu 6,7 meter.

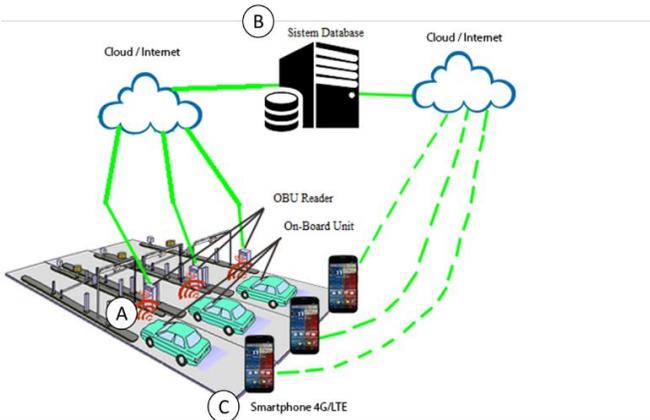
3.2. Waktu yang Dibutuhkan dari OBU Dideteksi hingga Notifikasi Diterima Pelanggan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dari OBU dideteksi oleh OBU Reader hingga notifikasi Telegram diterima oleh pelanggan. Pengujian dilakukan dengan mengamati aktivitas OBU Reader melalui PuTTY. Kondisi saat pengujian ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kondisi saat pengujian waktu yang dibutuhkan dari OBU dideteksi hingga notifikasi diterima pelanggan.

Waktu-waktu yang diamati pada pengujian ini diilustrasikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Waktu-waktu yang diamati pada pengujian waktu yang dibutuhkan dari OBU dideteksi hingga notifikasi diterima pelanggan.

Gambar 9 menunjukkan bahwa pengujian ini memiliki tiga waktu yang diamati, yaitu waktu OBU dideteksi OBU Reader (A), waktu OBU Reader mengirim data ke server (B), dan waktu notifikasi Telegram diterima oleh pelanggan (C). Dari waktu-waktu tersebut, akan didapat waktu yang

dibutuhkan dari OBU dideteksi hingga data dikirim ke server (B – A), waktu yang dibutuhkan dari data diterima server hingga notifikasi diterima pelanggan (C – B), dan waktu yang dibutuhkan dari OBU dideteksi hingga notifikasi diterima oleh pelanggan (C – A). Waktu A dan B diamati dari PuTTY, sedangkan waktu C diamati dari waktu notifikasi diterima dari smartphone pelanggan. Gambar 10 menunjukkan aktivitas OBU Reader yang ditampilkan pada komputer dan Gambar 11 menunjukkan notifikasi Telegram yang diterima pelanggan.

```
COM14 - PuTTY
[Thu Jan 1 00:00:04 1970] Memulai sinkronisasi waktu...
[Sun Nov 19 06:32:25 2017] Sinkronisasi waktu selesai.
[Sun Nov 19 06:32:25 2017] RFID Detected: e2960207
[Sun Nov 19 06:32:38 2017] Mengirim data...
[Sun Nov 19 06:32:40 2017] Selesai mengirim data.
[Sun Nov 19 06:33:06 2017] RFID Detected: e2960207
[Sun Nov 19 06:33:08 2017] Mengirim data...
[Sun Nov 19 06:33:15 2017] Selesai mengirim data.
[Sun Nov 19 06:33:29 2017] RFID Detected: e2960207
[Sun Nov 19 06:33:38 2017] Mengirim data...
[Sun Nov 19 06:33:40 2017] Selesai mengirim data.
[Sun Nov 19 06:33:50 2017] RFID Detected: e2960207
```

Gambar 10. Aktivitas OBU Reader yang ditampilkan PuTTY.



Gambar 11. Notifikasi yang diterima pelanggan.

Hasil pengujian waktu yang dibutuhkan dari OBU dideteksi oleh OBU Reader hingga notifikasi Telegram diterima oleh pelanggan ditunjukkan oleh Tabel 2 yang diambil pada tanggal 19 November 2017.

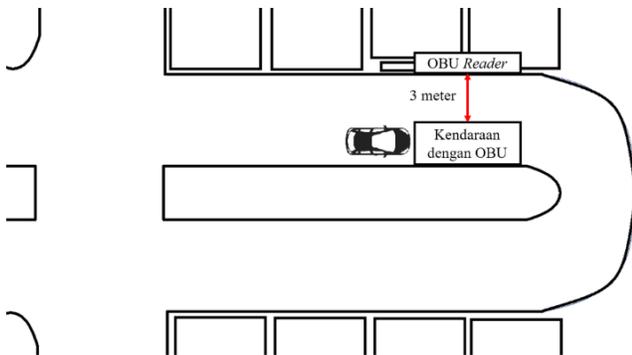
Tabel 2 menunjukkan waktu yang dibutuhkan dari OBU dideteksi oleh OBU Reader hingga notifikasi Telegram diterima oleh pelanggan. Waktu rata-rata yang dibutuhkan dari OBU dideteksi hingga data dikirim ke server (B – A) adalah 16,6 detik. Waktu ini dapat diterima karena interval waktu pengiriman data ke server adalah 30 detik. Waktu rata-rata yang dibutuhkan dari data diterima server hingga notifikasi diterima pelanggan (C – B) adalah 6,1 detik. Waktu rata-rata yang dibutuhkan dari OBU dideteksi hingga notifikasi diterima oleh pelanggan (C – A) adalah 22,7 detik.

Tabel 2. Hasil pengujian waktu yang dibutuhkan dari OBU dideteksi oleh OBU Reader hingga notifikasi Telegram diterima oleh pelanggan. (A) Waktu OBU dideteksi OBU Reader, (B) Waktu OBU Reader mengirim data ke server, (C) Waktu notifikasi Telegram diterima oleh pelanggan.

| Pengujian ke- | (A) | (B) | (C) | (B)-(A) | (C)-(B) | (C)-(A) |
|---------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| 1 | 06:32:25 | 06:32:40 | 06:32:47 | 15 detik | 7 detik | 22 detik |
| 2 | 06:33:06 | 06:33:15 | 06:33:21 | 9 detik | 6 detik | 15 detik |
| 3 | 06:33:29 | 06:33:40 | 06:33:46 | 11 detik | 6 detik | 17 detik |
| 4 | 06:33:50 | 06:34:10 | 06:34:16 | 20 detik | 6 detik | 26 detik |
| 5 | 06:34:20 | 06:34:40 | 06:34:46 | 20 detik | 6 detik | 26 detik |
| 6 | 06:34:57 | 06:35:10 | 06:35:16 | 13 detik | 6 detik | 19 detik |
| 7 | 06:35:19 | 06:35:45 | 06:35:51 | 26 detik | 6 detik | 32 detik |
| 8 | 06:38:22 | 06:38:45 | 06:38:51 | 23 detik | 6 detik | 29 detik |
| 9 | 06:38:59 | 06:39:15 | 06:39:21 | 16 detik | 6 detik | 22 detik |
| 10 | 06:39:27 | 06:39:40 | 06:39:46 | 13 detik | 6 detik | 19 detik |

3.3. Pengaruh Kecepatan Kendaraan Terhadap Pembacaan OBU oleh OBU Reader

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kecepatan kendaraan maksimal pada sistem GTC. Mobil yang membawa OBU dilajukan melewati OBU Reader yang dipasang pada suatu titik tertentu. Jarak antara OBU dan OBU Reader adalah 3 meter. Kecepatan mobil saat melaju melewati OBU Reader dan daya transmitter pada OBU divariasikan. Gambar 12 menunjukkan ilustrasi penujian pengaruh kecepatan kendaraan terhadap pembacaan OBU oleh OBU Reader.



Gambar 12. Ilustrasi pengujian pengaruh kecepatan kendaraan terhadap pembacaan OBU oleh OBU Reader.

Hasil pengujian pengaruh kecepatan kendaraan terhadap pembacaan OBU oleh OBU Reader ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian pengaruh kecepatan kendaraan terhadap pembacaan OBU oleh OBU Reader.

| Kecepatan (km/jam) | Daya transmitter OBU | Tag RFID | Dikenali sebagai | Keterangan |
|--------------------|----------------------|----------|------------------|------------------|
| 0 – 10 | 0 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| | 5 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| 11 – 20 | 7 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |
| | 10 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |
| | 0 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| | 5 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| 21 – 30 | 7 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |
| | 10 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |
| | 0 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| | 5 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| 31 – 40 | 7 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |
| | 10 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |
| | 0 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| | 5 dBm | e2960207 | - | Tidak Terdeteksi |
| | 7 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |
| | 10 dBm | e2960207 | e2960207 | Terdeteksi |

Tabel 3 menunjukkan berhasil atau tidaknya pengujian ditandai dengan keterangan Terdeteksi atau Tidak Terdeteksi. OBU sama sekali tidak terdeteksi pada daya 0 dBm dan 5 dBm. Kecepatan kendaraan maksimum untuk daya 7 dBm dan 10 dBm adalah 40 km/jam.

3.4. Keseluruhan Sistem

Pengujian dilakukan dengan kendaraan yang membawa OBU untuk melintasi OBU Reader. Tag yang digunakan menggunakan lima tag yang sudah berisi ID yang tersimpan pada basis data. Kendaraan melaju dengan kecepatan kurang dari 40 km/jam. Daya pada transmitter OBU diatur menjadi 7 dBm. Jarak antara kendaraan dan OBU Reader sebesar kurang dari tiga meter. OBU pada kendaraan yang telah melewati dan dideteksi oleh OBU Reader memberikan indikator berupa kombinasi LED yang menyala hijau dan merah dan pada terminal Putty yang terhubung dengan OBU Reader menampilkan ID yang terdeteksi. Data tag akan terkirim ke server basis data. Pelanggan lalu akan menerima sebuah notifikasi karena sudah melewati jalan tol. Kondisi saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 13 dan hasil untuk pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 13. Kondisi saat pengujian keseluruhan sistem.

Tabel 4. Hasil pengujian sistem secara keseluruhan

| Nama Pelanggan | Kode Tag | Kode Terbaca | Notifikasi | Kecepatan kendaraan |
|------------------------------|----------|--------------|------------|---------------------|
| Yusuf Baharuddin | 86ffecd5 | 86ffecd5 | Diterima | 40 km/jam |
| Muhammad Arief Fatkhurrahman | e2960207 | e2960207 | Diterima | 40 km/jam |
| Fuad Ashabus | e2f36e85 | e2f36e85 | Diterima | 40 km/jam |
| Arisla Choiruddin | 5e29273b | 5e29273b | Diterima | 40 km/jam |
| Rafi Dhega | 864ab2d5 | 864ab2d5 | Diterima | 40 km/jam |

Tabel 4 menunjukkan bahwa data identifikasi kendaraan dan notifikasi pembayaran telah berjalan dengan baik. Tabel 4 menunjukkan ID tag dan ID terbaca dengan benar dan sesuai dengan basis data. Notifikasi pembayaran juga telah berhasil diterima oleh pelanggan yang melewati OBU Reader. Kecepatan kendaraan saat pengujian ini adalah 40 km/jam. Kecepatan ini digunakan karena merupakan kecepatan maksimum yang dapat dilayani oleh sistem sesuai dengan pengujian sebelumnya. Hasil pengujian ini menunjukkan prototipe sistem GTC telah berhasil berjalan dengan baik.

4. Kesimpulan

Prototipe sistem Gerbang Tol Cerdas berbasis teknologi RFID dan notifikasi pembayaran melalui social messenger berhasil dirancang dan dibangun. Pengaturan daya transmitter memengaruhi jarak komunikasi data. Pada tingkat daya 0 dBm, jarak komunikasi maksimum adalah 0,7 meter. Pada tingkat daya 5 dBm, jarak komunikasi maksimum adalah 1,3 meter. Pada tingkat daya 7 dBm, jarak komunikasi maksimum adalah 4,5 meter. Pada tingkat daya 10 dBm, jarak komunikasi maksimum adalah 6,7 meter.

Kecepatan kendaraan yang dapat dilayani oleh prototipe sistem GTC adalah antara 0 km/jam sampai dengan 40 km/jam pada daya transmitter OBU 7 dBm dan 10 dBm dengan jarak antara kendaraan dan OBU Reader adalah 3 meter. Oleh karena itu, daya transmitter yang dipilih untuk OBU adalah 7 dBm karena pada daya ini merupakan daya terendah dengan kecepatan maksimum yang bisa dilayani oleh GTC, yaitu 40 km/jam. Notifikasi pembayaran berhasil dikirim oleh sistem Gerbang Tol Cerdas dan diterima oleh pelanggan melalui Telegram. Waktu yang dibutuhkan agar notifikasi diterima pelanggan sejak kendaraan terdeteksi adalah 22,7 detik.

Referensi

- [1] Sodikin, B. Riyanto, and B. Pudjianto, "Kajian Masalah Antrian Pada Sistem Pengumpulan Tol Konvensional Terhadap Rancangan Sistem Pengumpulan Tol Elektronik," Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Banyaknya Kendaraan Bermotor yang Telah Diregistrasi pada Kepolisian Daerah Jawa Tengah Menurut Jenis Kendaraan di Jawa Tengah 2015," 2015.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, "Standar Konstruksi dan Bangunan: Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol," 2009.
- [4] K. Persad, C. M. Walton, and S. Hussain, "Toll Collection Technology and Best Practices," *Res. Gate*, 2007.
- [5] A. A. Chapate and D. D. Nawgaje, "Toll Collection System Based on ARM," *Eng. Technol. Res.*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [6] J. Vermeulen, "WhatsApp vs SMS: how much a message costs," *Online*, 2015. [Online]. Available: <https://mybroadband.co.za/news/cellular/148481-whatsapp-vs-sms-how-much-a-message-costs.html>.
- [7] A. F. Listyono, "Perancangan Prototipe Identifikasi Kendaraan Jalan Told an Notifikasi Pembayaran Via SMS," Semarang, 2015.
- [8] S. S. Al-Ghawi, M. A. Al Rabbi, S. A. Hussain, and S. Z. Hussain, "AUTOMATIC TOLL E-TICKETING SYSTEM FOR TRANSPORTATION SYSTEMS," in *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City*, 2016.
- [9] M. Stula and S. Mladenovic, "Multi-agent Highway Toll Collection System," *ATKAAF 50*, pp. 80–81, 2009.