

Purwarupa Sistem Pembayaran Retribusi Jalan Tol Berbasis Teknologi RFID

Vicky Primandani*¹, Triyogatama Wahyu Widodo²

¹Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA UGM, Yogyakarta

²Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

email: *¹vicky8primandani@gmail.com, ²yogatama@ugm.ac.id

Abstrak

Sistem pembayaran retribusi tol manual dan semi-otomatis yang diterapkan di Indonesia sering mengakibatkan terjadinya penumpukan kendaraan di gerbang tol. Hal tersebut disebabkan oleh lambatnya transaksi yang dibutuhkan oleh setiap kendaraan.

Penelitian ini membahas tentang penggunaan RFID (Radio Frequency Identification) sebagai sistem identifikasi dan pembayaran retribusi tol. Tujuan utama sistem ini yaitu untuk meningkatkan kecepatan transaksi pembayaran tol sehingga penumpukan kendaraan yang sering terjadi di gerbang tol dapat ditanggulangi. Purwarupa sistem ini terdiri dari reader RFID dan tag RFID untuk mengidentifikasi kendaraan, portal gerbang tol, dan GUI untuk proses transaksi.

Tag RFID mengirim data ke reader RFID yang telah terpasang di setiap gerbang tol. Jika data pada tag RFID telah teregistrasi, portal gerbang tol akan terbuka dan transaksi akan diproses. Tarif retribusi akan ditentukan berdasarkan dua parameter, yaitu golongan kendaraan yang melewati gerbang tol dan gerbang tol yang dilalui kendaraan.

Sistem pembayaran retribusi sepenuhnya berjalan secara otomatis, pelanggan tidak perlu membuka kaca mobil untuk membayar retribusi tol. Semua otomatisasi dapat meningkatkan kecepatan sistem pembayaran retribusi tol sehingga penumpukan kendaraan yang sering terjadi di gerbang tol dapat ditanggulangi.

Kata Kunci— gerbang tol, penumpukan kendaraan, RFID, retribusi tol

Abstract

Manual and semi-automatic (e-toll) toll collection system in Indonesia often causes the queue in the toll gate. It is because the delay that necessary for each vehicle to do the transaction.

This research talks about RFID using (Radio Frequency Identification) as a vehicle identification and toll collection system. The main purpose of the system is to improve the toll collection transaction speed thus the queue in the toll gate will be prevented. The prototype of the system consist of RFID reader and tag as a vehicle identification, a toll gate, and a GUI to process the transaction.

RFID tag send the data to RFID reader that already installed on each toll gate. If the data was registered, the toll gate will open and the transaction will be processed. The tariff will be determined by two parameters, the type of the vehicle that passes the toll gate and the toll gate which passed by the vehicle.

The toll collection process is fully automatic, no need to open the vehicle window, to pay the toll collection. All of the automation will improve the transaction speed of toll collection system thus the queue in the toll gate will be prevented.

Keywords— toll gate, the queue, RFID, toll collection

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan UU nomor 38 tahun 2004, bab 1, ayat 1, pasal 7 dan 8, jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol (sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol). Untuk dapat menggunakan fasilitas jalan tol ini, setiap kendaraan harus masuk melalui pintu tol. Di pintu ini setiap pengemudi harus membayar retribusi sesuai dengan golongan kendaraannya. Di Indonesia terdapat lima golongan kendaraan yang mempunyai tarif retribusi berbeda sesuai dengan golongan kendaraan. Jalan tol menjadi sarana yang sangat membantu melancarkan akses transportasi di area perkotaan yang jalan rayanya selalu padat dengan arus kendaraan. Tidak hanya bagi masyarakat perkotaan, jalan raya juga dimanfaatkan oleh masyarakat yang melakukan perjalanan antar kota. Dengan semakin banyaknya jumlah kendaraan yang menggunakan jalan tol tiap harinya, masalah kemacetan pun kembali dijumpai di jalan ini. Kebanyakan kemacetan terjadi di bagian pintu masuk tol. Penyebabnya, tiap kendaraan harus berhenti untuk melakukan pembayaran retribusi. Meskipun ada beberapa pintu tol yang dibuka, namun kemacetan di pintu tol masih saja terlihat, terutama pada saat menjelang libur panjang atau hari besar. Hal tersebut tentunya akan sangat menyita waktu dan energi (BBM).

Nanang Sutisna [1], melaporkan penyebab utama kemacetan di pintu masuk jalan tol adalah waktu transaksi pembayaran retribusi jalan tol yang cukup banyak memakan waktu. Jika seseorang membayar dengan uang pas pun kendaraan harus berhenti sekitar tiga detik untuk membayar retribusi. Jeda waktu ini jika dikalikan dengan jumlah kendaraan yang masuk tiap harinya yang berkisar 14000 kendaraan maka kemacetan tidak dapat dihindarkan. Data yang diperoleh Putra [2], menunjukkan kelangkaan uang receh terutama pecahan Rp 500, Rp 1.000, dan Rp 2.000 menjadi penyebab kemacetan tol di dalam area perkotaan.

Untuk mempercepat proses penarikan retribusi jalan tol dibutuhkan sistem yang dapat melakukan transaksi pembayaran retribusi jalan tol secara otomatis. Pada penelitian ini, dibuat dan dibahas otomasi sistem pembayaran retribusi di gerbang tol dengan cara mengidentifikasi identitas kendaraan yang masuk dan keluar pintu tol menggunakan teknologi RFID (Radio Frequency Identification).

Purwarupa sistem yang dibuat memiliki kemiripan dari segi arsitektur sistem dengan sistem otomatisasi transaksi tol menggunakan teknologi RFID karya [3], dan sistem parkir prabayar pada pusat perbelanjaan menggunakan RFID pusat perbelanjaan karya [4]. Perbedaan ketiga sistem ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan Sistem yang Dibuat dengan Sistem Sebelumnya

<i>Author</i>	RFID yang digunakan	Sistem Pembayaran	Sistem Aktuator
Sitanaya	RFID Pasif	Debit	Portal Manual
Jadmiko	RFID Pasif	Kredit	Tanpa Portal
Primandani	RFID Aktif	Kredit	Portal Otomatis

2. METODE PENELITIAN

2.1. Analisis Sistem

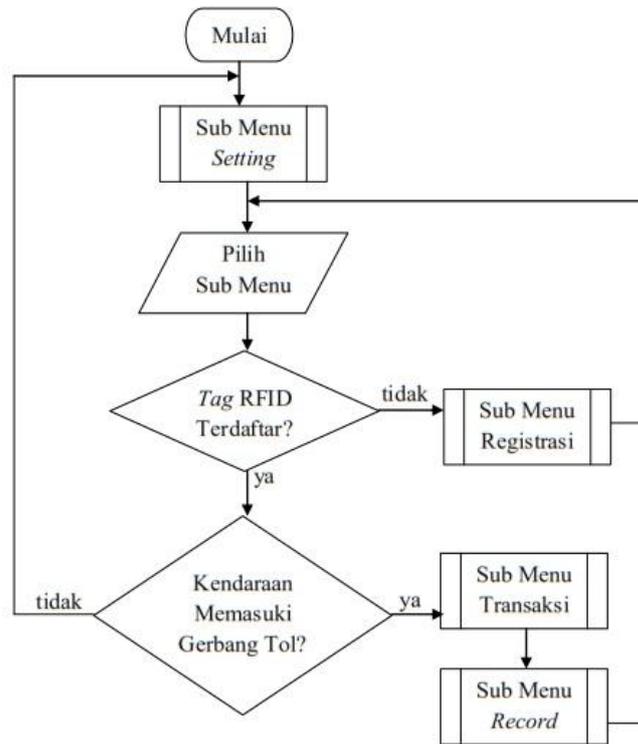
Sistem transaksi pembayaran retribusi tol di Indonesia saat ini masih menggunakan metode manual baik menggunakan uang tunai maupun berlangganan kartu pra-bayar e-toll. Hal tersebut sangat menghambat kelancaran lalu lintas kendaraan di ruas gerbang tol karena banyak pengguna jalan yang tidak membayar dengan uang pas sehingga waktu transaksi pembayaran retribusi tol menjadi lebih lama. Sementara itu, sistem pembayaran secara elektronik yang telah diadopsi di Indonesia, yaitu e-toll belum efektif dan nyaman karena pelanggan masih harus membuka kaca kendaraan dan masih harus menunggu portal terbuka baik di gerbang masuk maupun keluar. Dibutuhkan sebuah sistem *full automatic* yang dapat mengurangi waktu transaksi pembayaran di gerbang tol. Sistem *full automatic* yang dimaksud adalah sistem di mana pengguna jalan tol tidak harus melakukan usaha atau kegiatan untuk melakukan transaksi pembayaran. Teknologi yang tepat guna untuk diimplementasikan pada sistem *full automatic* di gerbang tol adalah teknologi RFID, yaitu teknologi yang dapat melakukan identifikasi benda dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dapat mengirim dan menerima data dalam jarak yang cukup jauh sehingga sangat cocok untuk diimplementasikan pada sistem ini karena dapat menjangkau kendaraan yang melalui suatu gerbang tol.

2.2. Perancangan Sistem

Pada sistem transaksi pembayaran retribusi jalan tol berbasis RFID, perancangan sistem dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu identifikasi kendaraan, pengolahan dan penyimpanan data, dan mekanisme portal otomatis (aktuator) pada gerbang masuk. Identifikasi kendaraan menggunakan RFID yang terdiri dari *reader* RFID dan *tag* RFID. Pengolahan dan penyimpanan data menggunakan program antarmuka Delphi 7 dan sistem *database* Microsoft Access. Mekanisme portal otomatis menggunakan sensor PIR, motor mikro servo dan modul mikrokontroler, Arduino Uno R3. Sistem ini diimplementasikan pada dua buah sistem pembayaran retribusi jalan tol yang diadopsi di Indonesia, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Sistem tertutup adalah sistem pengumpulan tol yang kepada penggunanya diwajibkan mengambil tanda masuk pada gerbang masuk dan membayar tol pada gerbang keluar. Sistem terbuka adalah sistem pengumpulan tol yang kepada penggunanya diwajibkan membayar tol saat melewati gerbang masuk atau gerbang keluar (PP no. 15 tahun 2005, pasal 39, ayat 2-3).

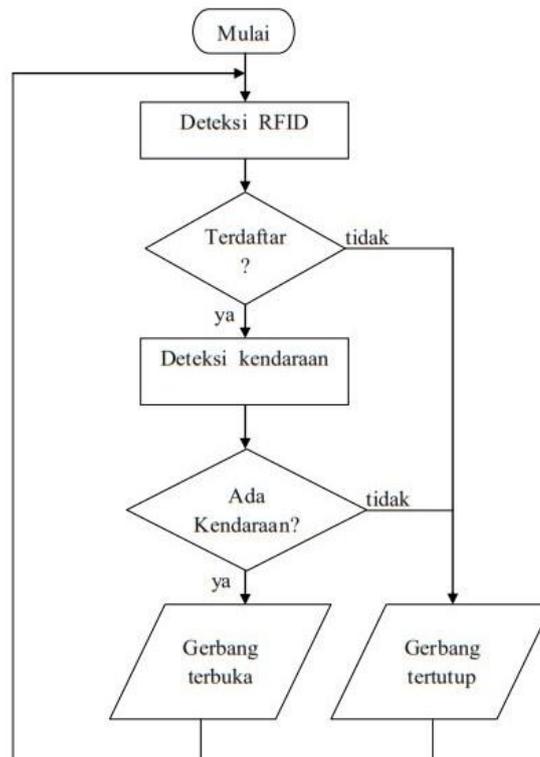
Pemasangan portal gerbang tol berfungsi sebagai filter untuk membedakan antara pelanggan sistem dengan yang bukan pelanggan sistem. Pada sistem tol terbuka, portal gerbang tol hanya dipasang pada pintu masuk atau pintu keluar saja, sesuai dengan tempat transaksi konvensional dilakukan. Pada sistem tol tertutup, portal gerbang tol hanya dipasang pada pintu keluar saja. Portal gerbang tol tidak dipasang pada pintu masuk agar pelanggan tidak perlu berhenti untuk melakukan transaksi layaknya transaksi konvensional yang harus mengambil tiket masuk pada gerbang masuk sistem tol tertutup.

Untuk memudahkan dalam perancangan sistem, dibuat diagram alir atau *flowchart*. *Flowchart* sistem antarmuka secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.



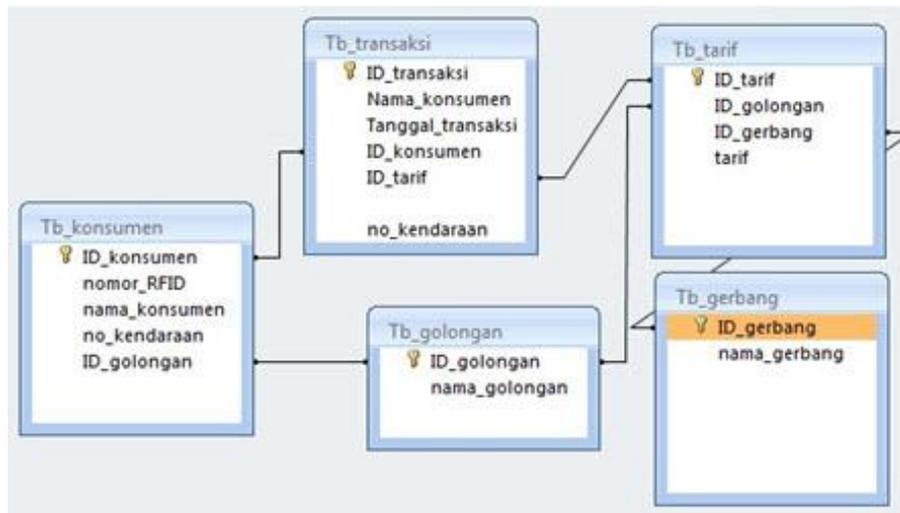
Gambar 1 *Flowchart* sistem antarmuka secara umum

Selain sistem antar muka, juga dirancang sistem aktuator yang terdiri dari mikro servo, sensor PIR, dan modul mikrokontroler Arduino Uno R3. *Flowchart* sistem aktuator dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 *Flowchart* sistem aktuator

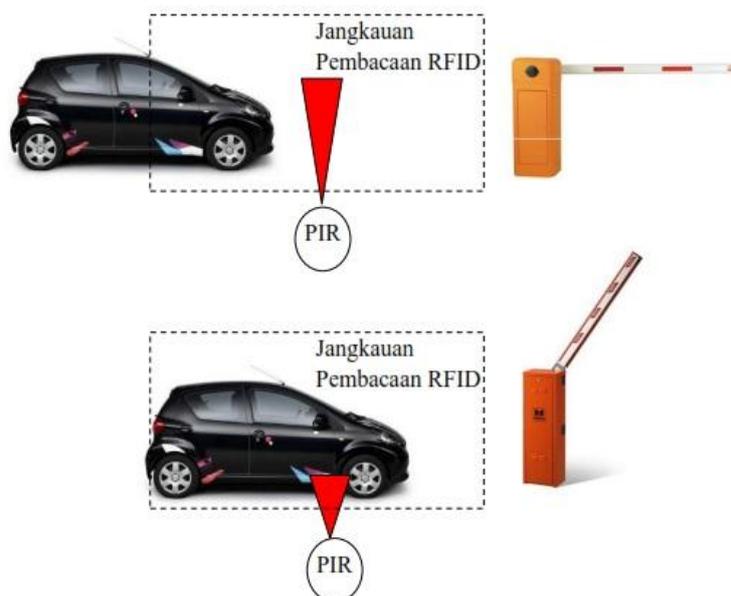
Perancangan sistem dilanjutkan dengan perancangan *database*. Terdapat lima buah tabel yang memiliki relasi satu sama lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Relasi table *database*

2.3. Implementasi Sistem

Implementasi sistem transaksi pembayaran retribusi jalan tol berbasis RFID terdiri dari beberapa tahapan pembuatan sistem, yaitu pembuatan sistem gerbang tol dan sistem aktuator. Pada dasarnya prinsip kerja portal gerbang ini adalah, portal terbuka jika komputer menerima data dari tag RFID yang terdaftar di database dan sensor PIR mendeteksi keberadaan mobil. Jika salah satu kondisi tidak terpenuhi maka mikrokontroler kembali memerintahkan motor servo untuk menutup portal. Ilustrasi prinsip kerja buka-tutup portal dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi prinsip kerja buka-tutup portal

Sistem antarmuka transaksi pembayaran retribusi tol menggunakan teknologi RFID ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu *setting*, registrasi, transaksi, dan *record*.

Pada bagian *setting*, terdapat tombol untuk mengoneksikan RFID dan mikrokontroler dengan komputer, dan bagian pemilihan mode gerbang.

Bagian registrasi berfungsi untuk memasukkan dan menyimpan identitas konsumen, meliputi nama konsumen, nomor RFID, nomor kendaraan, dan golongan kendaraan. Melalui bagian registrasi, pihak penyedia sistem dapat memasukkan data-data tersebut untuk selanjutnya disimpan di dalam *database*. Setelah melakukan registrasi pada *tag* RFID, maka *tag* RFID siap digunakan oleh konsumen.

Transaksi yang telah dilakukan oleh konsumen secara keseluruhan disimpan pada bagian *record*. Bagian *record* juga berfungsi untuk menampilkan seluruh transaksi untuk selanjutnya dapat dilakukan pencetakan laporan transaksi konsumen berdasarkan nomor kendaraan konsumen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dimulai dengan menghubungkan perangkat RFID dan mikrokontroler dengan komputer yang dilanjutkan dengan registrasi konsumen. Pada pengujian registrasi konsumen, dibuat lima buah data konsumen yang berbeda golongan kendaraannya. Data kelima konsumen dengan golongan kendaraan yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Daftar data konsumen dengan golongan yang berbeda

ID tag RFID	Nama	Nomor Kendaraan	Golongan kendaraan
y5U	Vicky	B6664CYA	1
y6i	Dani	AB123DY	2
y5U	Doddy	B1015PFV	3
y6i	Yudhis	B8VD	4
y5U	Adam	AB664UL	5

Pada pengujian transaksi retribusi tol, dilakukan pengujian pencocokkan tarif transaksi terhadap data konsumen dan gerbang tol yang dilalui. Data konsumen pada pengujian tahap ini diambil dari data konsumen yang telah dibuat pada pengujian registrasi konsumen. Gerbang tol yang diuji terdiri dari tiga gerbang tol. Gerbang tol 1 dianggap sebagai gerbang masuk tol sistem tertutup, gerbang 2 dianggap sebagai gerbang keluar tol sistem tertutup, dan gerbang tol 3 dianggap sebagai gerbang masuk tol sistem terbuka. Kelima data konsumen selanjutnya diuji pencocokkan tarif tol yang telah ditentukan dan tersimpan dalam *database*.

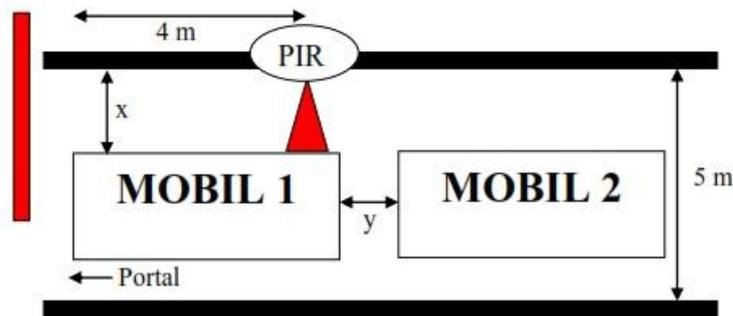
Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kecocokkan tarif yang harus dibayar konsumen dengan tarif pada *database*. Kecocokkan tarif terhadap golongan dan gerbang 1 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Kecocokkan tarif terhadap golongan dan gerbang 1

Setelah pengujian kecocokan tarif terhadap golongan dan gerbang yang dilalui berhasil, dilakukan pengujian kedua pada transaksi retribusi tol, yaitu pengujian buka-tutup portal gerbang tol. Pengujian buka-tutup portal gerbang tol dilakukan dengan meletakkan *tag* RFID yang telah terdaftar (lima orang konsumen pada bagian registrasi) di dalam sebuah mobil. Mobil yang digunakan yaitu Toyota Innova dengan spesifikasi bahan *body* mobil berupa baja *alloy*. Peletakkan *Tag* RFID pada *dashboard* mobil dengan kondisi kaca tertutup tidak mempengaruhi jarak pengiriman data *tag* RFID. *Tag* RFID mampu mengirim data hingga 20 m dari *reader* RFID.

Pengujian dilanjutkan dengan pengujian pendeteksian mobil oleh sensor PIR. Sensor PIR dapat mendeteksi gerakan mobil karena mobil memancarkan radiasi infra merah yang dapat dibaca oleh sensor PIR. Skema pengujian pendeteksian mobil oleh PIR ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Skema pengujian pendeteksian mobil oleh PIR

Pengujian pendeteksian mobil dilakukan pada mobil dalam kondisi diam dan melaju lambat. Pengujian pada mobil dalam kondisi diam dan melaju dengan kecepatan 5-10 km/jam menunjukkan bahwa sensor PIR mampu mendeteksi gerakan mobil dengan baik.

Di dalam pengujian, dibutuhkan waktu 2,5 detik untuk mobil Toyota Innova dalam melakukan akselerasi dari keadaan berhenti menuju kelajuan 5-10 km/jam. Dalam kondisi antrian, jika mobil 1 pada Gambar 6.9 merupakan mobil Toyota Innova dengan panjang 4 m, dan nilai y 3 meter, maka dibutuhkan waktu 4,5 detik bagi mobil 2 untuk mencapai jangkauan deteksi sensor PIR dari keadaan berhenti kemudian melaju dengan kelajuan konstan 5 km/jam pada muka portal gerbang tol. Nilai tersebut didapat dari persamaan (1).

$$t = t_0 + \left(\frac{y + (z - 4)}{v} \right) \quad (1)$$

t = waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk menempuh y (s)

t_0 = waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk menempuh y dari keadaan berhenti menuju kelajuan 5-10 km/jam (m)

y = jarak antara mobil 1 dengan mobil 2 (m)

z = panjang mobil 1 (m)

v = kelajuan mobil 2 (m/s)

Jika dilakukan perbandingan terhadap metode pembayaran konvensional (menggunakan uang pas) maupun e-toll yang membutuhkan waktu pembayaran paling cepat tiga detik (Sutisna, 2008), waktu mobil 2 untuk melewati portal dapat diketahui dari persamaan (2).

$$t_{sum} = t_i + t + t_0 + t_d \quad (2)$$

t_{sum} = waktu mobil 2 untuk melewati portal gerbang tol (s)

t_i = waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pembayaran retribusi tol (s)

t = waktu yang dibutuhkan mobil 2 untuk mencapai antrian mobil 1 (s)

t_0 = waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melakukan akselerasi dari keadaan berhenti menuju kelajuan 5-10 km/jam (s)

t_d = waktu yang dibutuhkan operator untuk membuka portal tol (s)

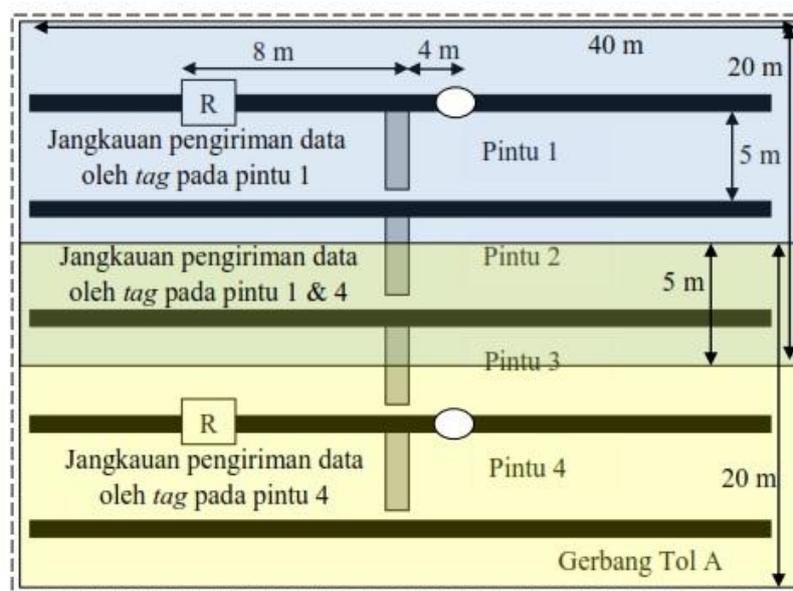
Semua data transaksi konsumen disimpan pada *database* dan ditampilkan pada tabel di bagian *record*, program antarmuka. Rekapitulasi transaksi kemudian dapat dicetak sebagai laporan detail tagihan tiap bulan yang harus dibayar konsumen. Rekapitulasi dapat dilakukan dengan memasukkan nomor kendaraan yang ingin dicetak laporannya. Pengujian pada tahap ini adalah mencetak laporan transaksi konsumen yang telah melewati gerbang tol 1, 2, dan 3. Laporan transaksi konsumen dengan nomor kendaraan B6664CYA yang telah berhasil dicatat ke *database* ditunjukkan pada Gambar 7.

Laporan Transaksi Tol

ID_RFID	Nama	No Kendaraan	Tarif	Tanggal
y5U	Vicky	B6664CYA	3000	22/07/2012
y5U	Vicky	B6664CYA	5000	22/07/2012
y5U	Vicky	B6664CYA	4000	22/07/2012

Gambar 7 Laporan transaksi konsumen B6664CYA (golongan 1)

Peletakkan *reader* RFID juga sangat diperhatikan pada sistem ini agar tidak terjadi pembacaan ganda oleh dua *reader* berbeda dan mekanisme buka-tutup portal gerbang tol dapat berjalan lancar. Jangkauan pengiriman data oleh *tag* RFID sejauh 20 m merupakan tipe *omni directional*, artinya *tag* mampu mengirim data dengan jangkauan seperti bola dengan jari-jari 10 m dari titik pusat (*tag*). Skema peletakkan *reader* RFID dan gerbang tol ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Skema peletakkan *reader* RFID dan gerbang tol

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian sistem yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

- a. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dan data yang diperoleh Sutisna (2008), sistem dapat mempercepat waktu transaksi pembayaran kendaraan golongan I di gerbang tol dibandingkan dengan sistem pembayaran konvensional (menggunakan uang pas) maupun e-toll.
- b. Sistem secara otomatis menyesuaikan tarif yang harus dibayar konsumen sesuai dengan gerbang yang dilalui dan golongan kendaraan konsumen. Transaksi juga tersimpan secara otomatis untuk kemudian dapat dilakukan pencetakan laporan transaksi.
- c. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, dengan jangkauan pengiriman data oleh *tag* RFID sejauh 20 m, kendaraan dapat tetap dideteksi meskipun kendaraan melaju melewati gerbang tol tanpa portal (gerbang masuk pada sistem tol tertutup) dengan kecepatan maksimal 40 km/jam.
- d. Peletakkan sensor PIR sejauh 4 meter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dari portal dapat mensinkronisasi proses buka-tutup portal dengan kecepatan kendaraan.
- e. Peletakkan *reader* RFID berjauhan satu sama lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dapat menghindari pembacaan ganda *tag* RFID oleh dua *reader* RFID berbeda.

4 SARAN

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mengembangkan sistem ke arah yang lebih baik, yaitu:

- a. *Tag* RFID yang digunakan harus memiliki *response time* yang lebih cepat dan jangkauan yang lebih jauh.
- b. Sensor PIR diganti dengan *loop detector*.
- c. Partisipasi dari pemerintah dan masyarakat pengguna jalan tol untuk sepenuhnya memanfaatkan sistem ini agar tidak dibutuhkan lagi portal untuk melakukan filter pelanggan sistem dengan yang bukan pelanggan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutisna, N., 2008, Frekuensi Kendaraan di Tol Cikopo Meningkat, <http://www.tempo.co/read/news/2008/09/23/127137020/Frekuensi-Kendaraan-di-Tol-Cikopo-Meningkat>, diakses tanggal 7 Maret 2012
- [2] Putra, 2009, Uang Receh Langka, Tol Jasa Marga Macet, http://teknologi.news.viva.co.id/news/read/84556-uang_receh_langka_tol_jasa_marga_macet, diakses tanggal 7 Maret 2012
- [3] Jadmiko, N. A., 2012, Otomatisasi Tol Menggunakan Teknologi RFID, *Tugas Akhir*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- [4] Sitanaya, R. L., 2005, Sistem Parkir Prabayarar Menggunakan RFID untuk Pusat Perbelanjaan, *Skripsi*, Universitas Kristen Petra, Surabaya