

Efektivitas Penggunaan E-Toll di Gerbang Tol Pasteur dengan Menggunakan Model Antrian

Resnu Naufal Muzaki*, Erwin Harahap, Farid Badruzzaman

Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*resnun21@gmail.com, erwin2h@gmail.com, faridbadruzzaman@gmail.com

Abstract. *The traffic situation in Bandung city is so congested that traffic can be found until any time, since the morning till afternoon even at night. toll road is one alternative to avoid traffic jams. Pasteur toll gate has become a very important toll gate in the city of Bandung, with the number of vehicles entering or exiting the toll gate Pasteur causes queues before entering the service substationqueue due to the arrival rate that exceeds the service capacity, and the ser time is quite long. because of the frequent long queues of PT. Jasa Marga applies the e-Toll payment system. to find out the effectiveness of the implementation of the E-Toll payment system in overcoming the queue problem at the Pasteur toll gate, can be measured by the queuing model $(M / M / n)$. by knowing the cash queue payment model, e-toll payment, an payment with other transaction modes so that the most effective payment method is obtained. based on the results of data analysis of the application of e-toll at the gate of the Pasteur is effective because it can reduce the length of the queue and service time. however Malaysia and Japan toll transaction methods are far more effective because the probability of no queues in the system is very large namely Malaysia at 2.05% and Japan at 36.87% while the e-toll applied in Indonesia is only 0.06%.*

Keywords: *queue, toll gate Pasteur, Model queue $(M/M/n)$, E-Toll*

Abstrak. Situasi lalu lintas di kota Bandung begitu padat sehingga kemacetan dapat ditemukan hampir di setiap waktu, mulai pagi sampai sore bahkan malah hari pun terkadang masih terjadi kemacetan. Jalan tol menjadi salah satu alternatif untuk menghindari kemacetan. Gerbang tol Pasteur menjadi gerbang tol yang sangat diperlukan di kota Bandung, dengan banyaknya kendaraan yang masuk ataupun keluar gerbang tol Pasteur menyebabkan antrian sebelum masuk ke gardu pelayanan. Antrian disebabkan tingkat kedatangan yang melebihi kapasitas pelayanan, serta waktu pelayanan yang lumayan lama. Karena sering terjadi antrian panjang PT. Jasa Marga menerapkan sistem pembayaran E-Toll. Untuk mengetahui efektivitas penerapan sistem pembayaran E-Toll dalam mengatasi permasalahan antrian di gerbang tol Pasteur, dapat diukur dengan model antrian $(M/M/n)$. Dengan mengetahui model antrian pembayaran tunai, pembayaran e-toll, dan pembayaran dengan metode transaksi lain sehingga didapat metode pembayaran paling efektif. Berdasarkan hasil analisis data penerapan e-toll di gerbang tol Pasteur efektif karena dapat mengurangi panjang antrian dan waktu pelayanan. Akan tetapi metode transaksi tol Malaysia dan Jepang jauh lebih efektif karena probabilitas tidak ada antrian dalam sistem sangat besar yaitu Malaysia sebesar 2,05% dan Jepang sebesar 36,87% sedangkan e-toll yang diterapkan di Indonesia hanya sebesar 0,06%.

Kata Kunci: antrian, gerbang tol Pasteur, model antrian $(M/M/n)$, e-toll

1. Pendahuluan

Situasi lalu lintas di kota Bandung begitu padat sehingga kemacetan dapat ditemukan setiap saat. Berbagai upaya sudah dilakukan oleh pemerintah untuk mengatasinya, diantaranya dengan menerapkan Sistem Kendali Lalu Lintas Kendaraan atau Area Traffic Control System (ATCS) di sejumlah ruas jalan demi kelancaran lalu lintas (Warta Kota, 2017). Namun, kemacetan masih saja terjadi (Sanjaya, Sulandari, & Basalim, 2016). Maka jalan tol menjadi salah satu alternatif untuk menghindari kemacetan.

Jalan tol merupakan suatu jalan yang dikhususkan untuk kendaraan bersumbu dua atau lebih (mobil, truk, bus) yang bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh dari suatu tempat ke tempat lain. Gerbang tol Pasteur menjadi gerbang tol yang sangat populer di kota Bandung, hal ini dibuktikan dengan volume kendaraan yang melewati gerbang tol Pasteur kurang lebih sebanyak 34.500 kendaraan/hari[1]. Dengan banyaknya kendaraan yang melewati gerbang tol Pasteur hampir dipastikan pengendara harus menunggu antrian keluar gerbang tol Pasteur.

Antrian merupakan orang-orang atau barang dalam barisan yang sedang menunggu untuk dilayani (Heizher & Reinder, 2006 : 658)[2]. Antrian di gerbang tol Pasteur disebabkan tingkat kedatangan yang melebihi kapasitas pelayanan, serta waktu pelayanan yang lumayan lama. Karena sering terjadinya antrian panjang di gerbang tol Pasteur PT. Jasa Marga menerapkan sistem pembayaran E-toll. E-toll merupakan kartu elektronik yang digunakan untuk membayar biaya masuk tol. E-toll diterapkan untuk mengurangi kemacetan saat antrian serta langkah modernisasi (mudah & cepat) pembayaran. Akan tetapi belum diketahui tingkat efektivitas penerapan e-toll maupun tingkat efektivitas kartu e-toll sebagai alat pembayaran, hal ini dibuktikan dengan masih adanya antrian di gerbang tol Pasteur.

Untuk mengetahui efektivitas penerapan sistem pembayaran E-toll dalam mengatasi permasalahan antrian di gerbang tol Pasteur, dapat diukur dengan model antrian. Model antrian dan ukuran-ukuran kinerja sistem antrian yang mampu menggambarkan kondisi sistem pelayanan secara tepat, berguna untuk memudahkan dalam mengevaluasi kondisi dan kemampuan fasilitas pelayanan. Dengan demikian, dapat diperoleh suatu kondisi pelayanan yang seimbang, efektif dan efisien yang dapat mengurangi panjang antrian dan lama waktu pelayanan dimasa yang akan datang.

Untuk mengetahui efektivitas kartu e-toll yang di terapkan oleh PT. Jasa Marga sebagai alat pembayaran, dapat dibandingkan dengan cara melakukan simulasi metode pembayaran yang diterapkan di negara Malaysia dan Jepang. Negara Malaysia memiliki sistem pembayaran dengan alat sensor, sehingga pengguna tidak harus menempelkan kartu ke mesin pelayanan cukup arahkan alat ke mesin pelayanan. Hal ini membuat kendaraan tidak harus berhenti hanya perlu kurangi kecepatan sampai palang pintu terbuka. Sedangkan negara Jepang pembayaran dilakukan dengan sensor yang ditempel di kendaraan, sehingga pengguna tidak harus menempelkan kartu ataupun mengarahkan alat ke mesin pelayanan serta mesin pembaca sensornya sangat cepat. Hal ini membuat kendaraan yang akan keluar tidak harus berhenti bahkan tidak harus mengurangi kecepatan karena palang pintu sangat cepat terbuka dan tertutupnya. Dengan demikian, seandainya metode pembayaran tol Malaysia atau tol Jepang diterapkan di gerbang tol Pasteur, kemungkinan besar dapat mengurangi antrian dan lama waktu pelayanan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka masalah yang akan dibahas adalah bagaimana tingkat efektivitas penerapan e-toll maupun tingkat efektivitas kartu e-toll sebagai alat pembayaran, pada jam 06.00-09.00 WIB. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.

1. Mengetahui efektivitas penerapan e-toll dengan membandingkan transaksi tunai dan transaksi e-toll menggunakan model antrian.
2. Mengetahui efektivitas kartu e-toll dengan membandingkan metode pembayaran tol Malaysia dan metode pembayaran e-toll menggunakan model antrian.
3. Mengetahui efektivitas kartu e-toll dengan membandingkan metode pembayaran tol Jepang dan metode pembayaran e-toll menggunakan model antrian.

2. Landasan Teori

Teori Antrian

Teori antrian pertama kali dipelajari dan dikemukakan pada tahun 1909 oleh ahli Matematika dan Insinyur berkebangsaan Denmark yang bernama Agner Krarup Erlang. Menurut Barry Render dan Jay Heizer (2005:658)[3], “antrian adalah orang-orang atau barang dalam barisan yang sedang menunggu untuk dilayani. Model Antrian yang digunakan pada penelitian ini adalah model antrian (M/M/s). Pada model ini terdapat dua atau lebih jalur atau stasiun pelayanan yang tersedia untuk melayani pelanggan yang datang. Model ini juga mengasumsikan bahwa laju kedatangan bersifat *Poisson* dengan pola kedatangan mengikuti distribusi Eksponensial. Pelayanan dilakukan secara FCFS, dan semua stasiun pelayanan diasumsikan memiliki tingkat pelayanan yang sama. Persamaan – persamaan pada model ini sangat bergantung pada P_0 yaitu probabilitas semua fasilitas pelayanan menganggur. Persamaan yang digunakan untuk model antrian (M/M/s) adalah[4]:

$$L_q = \frac{P_0 \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \quad \dots(1)$$

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad \dots(2)$$

$$W_q = \frac{P_0}{\mu s (s!) \left(1 - \frac{\lambda}{\mu s}\right)^2} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \quad \dots(3)$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} \quad \dots(4)$$

$$P_0 = \frac{1}{\left(\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n\right) + \frac{1}{s! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu s}\right)} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s} \quad \dots(5)$$

Keterangan :

μ = tingkat pelayanan rata – rata (unit/satuan waktu)

λ = tingkat kedatangan rata – rata (unit/satuan waktu)

L_q = jumlah individu rata – rata menunggu dalam antrian (unit)

L_s = jumlah individu rata – rata menunggu dalam sistem (unit)

W_q = waktu menunggu rata – rata dalam antrian (satuan waktu)

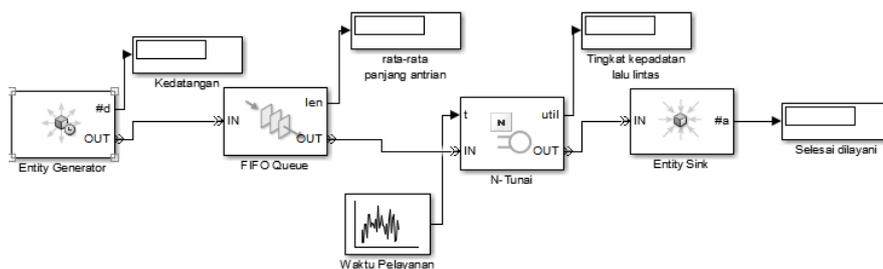
W_s = waktu menunggu rata – rata dalam sistem (satuan waktu)

P_0 = Probabilitas tidak ada antrian dalam sistem

S = jumlah fasilitas pelayanan (unit)

Simulasi dengan SimEvent MATLAB

MATLAB adalah singkatan dari *Matrices Laboratory* yang dikembangkan oleh *MathWork*, dan termasuk bahasa pemrograman tingkat tinggi. Dengan memanfaatkan MATLAB, pengguna dapat melakukan analisis data, mengembangkan algoritma, dan membuat model maupun aplikasi. Bahasa, *tools*, dan fungsi-fungsi *built-in* akan memudahkan pengguna untuk mengeksplorasi berbagai pendekatan dan memperoleh solusi dengan lebih cepat dibandingkan apabila menggunakan *spreadsheets* atau Bahasa pemrograman tradisional, seperti C/C++ atau Java™. Simulasi merupakan proses perancangan model dari sistem nyata yang dilanjutkan dengan pelaksanaan eksperimen terhadap model untuk mempelajari perilaku sistem atau evaluasi strategi (Shannon, 1975). Untuk simulasi lalu lintas pada gerbang tol Pasteur. Pada penelitian ini, diambil area gerbang tol Pasteur hanya untuk kendaraan yang keluar gerbang tol Pasteur. Disusun sistem simulasi dengan menggunakan lima modul utama yaitu paket data generator (*entity generator*), modul antrian (*entity queue*), modul server (*entity server*), modul *terminator* serta *link*. Modul utama tersebut memiliki fungsinya masing-masing paket data generator sebagai pembangkit jumlah kendaraan, modul server sebagai modul proses pelayanan, modul *terminator* untuk menghapus paket data dan *link* sebagai penghubung atau ruas jalan[5]. Hasil *update* sistem simulasi pada gerbang tol Pasteur ditunjukkan oleh **gambar 1.**



Gambar 1. Sistem Simulasi Gerbang Tol Pasteur

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data Penelitian

Tingkat kedatangan diperoleh dari data PT. Jasa Marga, data yang digunakan adalah jumlah kendaraan yang keluar melewati gerbang tol Pasteur pada bulan Oktober 2019. Rata-rata tingkat kedatangan kendaraan pada bulan tersebut adalah 2754 kendaraan/jam[1]. Sedangkan tingkat pelayanan diperoleh dari hasil pengamatan data diperoleh 100 kendaraan dari 4 kali pengamatan dengan teknik *sample random sampling*. Waktu pelayanan diperoleh dengan melakukan perhitungan waktu pada setiap kendaraan yang dilayani hingga mobil melewati palang pintu secara langsung. Sehingga didapat μ seperti yang akan ditunjukkan oleh **tabel 1.**:

Tabel 1. Rata-rata Tingkat Pelayanan

No.	Jenis Transaksi	μ (unit/detik)	μ (unit/menit)	μ (unit/jam)
1	Pembayaran Tunai	0,097	5,84	350,4
2	Pembayaran E-Toll	0,11025	6,615	396,9
3	Pembayaran Tol Malaysia	0,1976	11,85	711
4	Pembayaran Tol Jepang	0,767	46	2760

Model Teori Antrian

Selanjutnya dari data yang sudah dikumpulkan dapat dilakukan analisis perhitungan dengan model antrian. Analisis perhitungan model antrian ini adalah menentukan hasil dari efektivitas model antrian. Hasil analisis akan ditunjukkan oleh **tabel 2**, sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis Menggunakan Model Antrian

Jenis Transaksi	λ	M	P_0	L_q	L_s	W_q	W_s
Transaksi Tunai	46	5,84	4×10^{-5}	60,73	68,61	1,3203	1,49
Transaksi E-Toll	46	6,615	0,0006	4,125	11,079	0,089	0,24
Transaksi Tol Malaysia	46	11,85	0,0205	0,0479	3,929	0,00104	0,085
Transaksi Tol Jepang	46	46	0,3678	$1,5 \times 10^{-6}$	1	$3,7 \times 10^{-8}$	0,022

Simulasi dengan SimEvent MATLAB

Input data untuk laju kedatangan dan pelayanan kendaraan diinputkan secara manual. Nilai laju kedatangan (λ) adalah rata-rata kendaraan yang keluar gerbang tol Pasteur. Sedangkan, nilai

pelayanan kendaraan (μ) adalah rata-rata waktu pelayanan kendaraan mengikuti distribusi Eksponensial. Parameter λ dan μ memiliki satuan jumlah kendaraan per detik, dengan batasan nilai $0 < (\lambda, \mu) < \infty$.

Tahap selanjutnya yaitu melakukan simulasi. Dalam implementasi ini akan dilakukan beberapa kali simulasi sebagaimana ditunjukkan oleh **tabel 3**.

Tabel 3. Parameter Simulasi

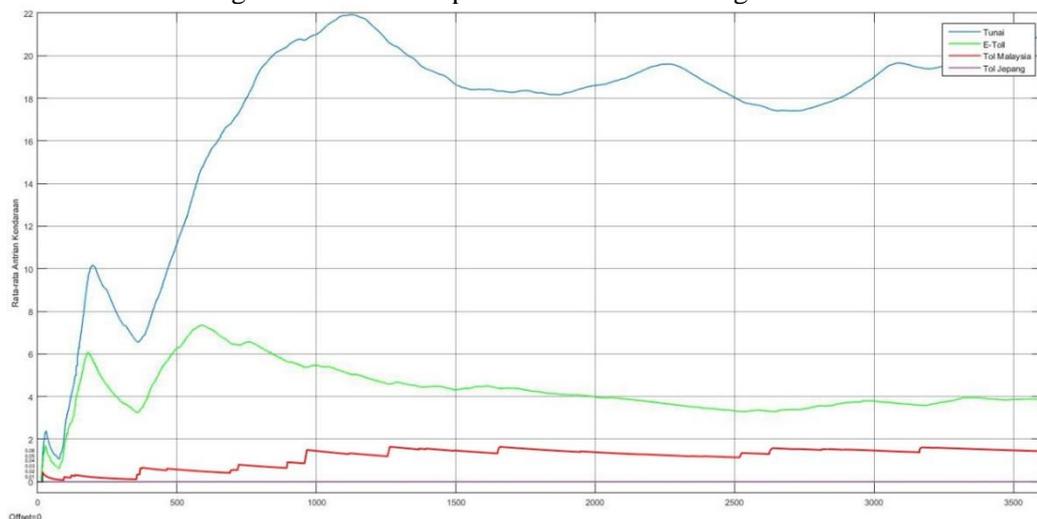
Simulasi	Kedatangan	Waktu Pelayanan	Keterangan
1	2754	10,28	Transaksi Tunai
2	2754	9,07	Transaksi E-Toll
3	2754	5,06	Transaksi Tol Malaysia
4	2754	1,3	Transaksi Tol Jepang

Durasi waktu simulasi ditentukan yaitu selama 1 jam atau 3600 detik. Jumlah server (s) adalah 8. Hasil dari simulasi yang akan dianalisis adalah kemungkinan terjadinya kemacetan dilihat berdasarkan panjang antrian. Hasil dari simulasi dengan menggunakan SimEvent MATLAB akan ditunjukkan oleh **tabel 4**, sebagai berikut :

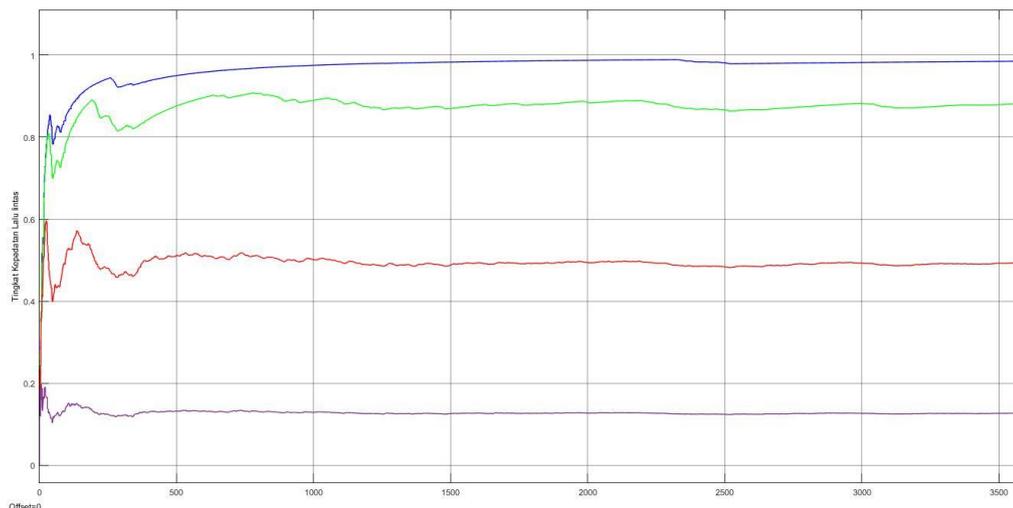
Tabel 4. Hasil Simulasi SimEvent Matlab

Simulasi	Jenis Transaksi	Panjang antrian	Tingkat Kepadatan
1	Transaksi Tunai	20,91	0,985
2	Transaksi E-Toll	3,863	0,8822
3	Transaksi Tol Malaysia	0,05935	0,4927
4	Transaksi Tol Jepang	0	0,1268

Hasil dari keempat simulasi dalam bentuk grafik akan ditunjukkan dalam gambar.2 untuk rata-rata antrian kendaraan dan gambar 3 untuk kepadatan lalu lintas. sebagai berikut :



Gambar 1. Rata-rata Antrian Kendaraan



Gambar 2. Tingkat Kepadatan Lalu Lintas

Keterangan

Transaksi Tunai	: Garis warna biru
Transaksi E-Toll	: Garis warna hijau
Transaksi Tol Malaysia	: Garis warna merah
Transaksi Tol Jepang	: Garis warna ungu

Dari hasil yang ditunjukkan pada tabel 2 dan tabel.4. Transaksi e-toll cukup efektif untuk menggantikan transaksi tunai karena tingkat rata-rata antrian kendaraan dan rata-rata waktu pelayanan kendaraan mengalami penurunan dibandingkan dengan transaksi tunai. Tetapi, tingkat kepadatan lalu lintas masih tergolong padat yakni sebesar 0,8822, dengan tingginya tingkat kepadatan lalu lintas maka antrian kendaraan di gerbang tol Pasteur masih terjadi. Untuk itu diperlukan alternatif – alternatif dalam metode transaksi di gerbang tol Pasteur. Berikut adalah alternatif yang dapat dilakukan di gerbang tol Pasteur :

1. Dengan menerapkan sistem pembayaran tol seperti yang diterapkan negara Malaysia. Karena pada saat dilakukan simulasi sistem pembayaran tol Malaysia diterapkan di gerbang tol Pasteur, didapat probabilitas tidak ada antrian di dalam sistem lebih besar dibanding transaksi e-toll yaitu sebesar 2,05 %. Hasil simulasi penerapan transaksi tol Malaysia di gerbang tol Pasteur juga menunjukkan rata-rata antrian kendaraan hanya sebesar 0,05935. Serta tingkat kepadatan lalu lintas yang hanya setengahnya dari transaksi e-toll yaitu sebesar 0,4927.
2. Dengan menerapkan sistem pembayaran tol seperti yang diterapkan negara Jepang. Karena pada saat dilakukan simulasi sistem pembayaran tol Jepang diterapkan di gerbang tol Pasteur, didapat probabilitas tidak ada antrian di dalam sistem lebih besar dibanding transaksi e-toll yaitu sebesar 36,78 %. Hasil simulasi transaksi tol Jepang di gerbang tol Pasteur menunjukkan tidak adanya antrian kendaraan dan tingkat kepadatan lalu lintas yang sangat kecil yaitu sebesar 0,1268.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data tingkat kedatangan dan pelayanan kendaraan gerbang tol Pasteur PT. Jasa Marga pada bulan Oktober tahun 2019 didapatkan hasil model antrian transaksi tunai, transaksi e-toll, simulasi transaksi tol Malaysia, dan simulasi transaksi tol Jepang sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian dan pengolahan data dengan model antrian dapat disimpulkan penerapan e-toll di gerbang tol Pasteur efektif karena dapat mengurangi panjang antrian dan waktu pelayanan.
2. Dari hasil penelitian dan pengolahan data dengan model antrian dapat disimpulkan kartu e-toll memang efektif. Akan tetapi metode transaksi tol Malaysia dan Jepang jauh lebih efektif karena begitu cepatnya waktu pelayanan, membuat probabilitas tidak ada antrian

dalam sistem sangat besar yaitu malaysia sebesar 2,05% dan Jepang sebesar 36,78% sedangkan e-toll yang diterapkan di Indonesia hanya sebesar 0,06%.

5. Saran

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan yang dilakukan, terdapat saran yang dapat disampaikan adalah dapat melakukan penelitian dihari libur panjang biasanya volume kendaraan cenderung naik dibandingkan hari biasa.

Daftar Pustaka

- [1] PT. Jasa Marga, "Data Kendaraan Bulan Oktober," Pasteur, 2019.
- [2] A. Istiqomah, "Penerapan Sistem Pelayanan Teller dan Kinerja Sistem Antrian Berdasarkan Sistem Multiple Channel - Single Phase Dengan Menggunakan Rumus Antrian Model B (Jalur Berganda) Terhadap Kepuasan Nasabah Pada PT BANK Woori Saudara Indonesia, TBK Cabang Palermbang," no. Politeknik Negeri Sriwijaya, 2016.
- [3] D. Nugraha, S. dan D. Ispriyanti, "PENENTUAN MODEL SISTEM ANTREAN KENDARAAN DI GERBANG TOL BANYUMANIK SEMARANG," *Jurnal Gaussian*, vol. 2, no. 2, pp. 89-97, 2013.
- [4] N. Chee-Hock dan S. Boon-He, *Queueing Modelling Fundamentals With applications in Communication Networks*, Singapore: John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- [5] E. Harahap, A. Harahap, A. Suryadi, D. Darmawan dan R. Ceha, "LINTAS : Sistem Simulasi Lalu Lintas Menggunakan SimEvent MATLAB," *Jurnal Informatika dan Komputer*, vol. 1, no. 10, pp. 8-16, 2018.
- [6] F. Suherman, "Saldo E-Toll Kurang II Bandung Gerbang Tol Cileunyi," Youtube, 2019. [Online]. Available: <https://youtu.be/1bMRz75WE1s>. [Diakses 9 Januari 2020].
- [7] O. iNews, "Pembayaran Tol Non Tunai, Banyak Pengendara Sudah Pergunakan Kartu E-Toll," Youtube, 2018. [Online]. Available: <https://youtu.be/15Bkz8a48mw>. [Diakses 11 Januari 2020].
- [8] B. Rans, "Nyobain Tol Malaysia," Youtube, 2018. [Online]. Available: <https://youtu.be/ISVyCVb22LY>. [Diakses 11 November 2019].
- [9] R. Character, "Proses Pembayaran Jalan Tol di Malaysia," Youtube, 2018. [Online]. Available: <https://youtu.be/mF7WoDPB4g0>. [Diakses 11 November 2019].
- [10] Sunarto, "Kartu Tol Malaysia," Youtube, 2017. [Online]. Available: <https://youtu.be/976N5bb6fgg>. [Diakses 11 November 2019].
- [11] P. Gilbert, "Pembayaran Tol di Jepang Melalui ETC Card," Youtube, 2018. [Online]. Available: <https://youtu.be/X7qDn6NihV4>. [Diakses 21 November 2019].
- [12] N. O. Japan, "Beginilah Jalan Tol di Jepang Bayarnya gak Ribet," Youtube, 2019. [Online]. Available: <https://youtu.be/VMS4VFjJ-Fs>. [Diakses 21 November 2019].

- [13] V. Azhari, "Jalan Tol Jepang Dengan Pemandangan Gunung Fuji Shin Tomei Expressway," Youtube, 2018. [Online]. Available: <https://youtu.be/Za6FMl3KFD0>. [Diakses 21 November 2019].