

PENERAPAN SIMULASI GARDU TOL KONVENSIONAL DAN OTOMATIS PADA GERBANG TOL FATMAWATI 2

Wulandari Retno Ningsih¹, Lukman Hakim², Nashrul Hakiem³

^{1,3}Prodi Teknik Informatika, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

²Plaza Tol Jatiasih, Kota Bekasi, Jawa Barat, Indonesia

wulandari.rn14@mhs.uinjkt.ac.id, lukman8267@gmail.com, hakiem@uinjkt.ac.id

ABSTRAK

Jalan tol adalah bagian dari Jalan Nasional yang perlu dijaga agar tetap berfungsi optimal. Penelitian ini dilakukan di Gerbang Fatmawati 2, yang merupakan salah satu segmen jalan tol terbesar pada bulan Agustus 2017 dan hanya memfasilitasi 2 gardu layanan konvensional yang mengakibatkan penumpukan antrian. Untuk upaya untuk mengurangi panjang antrian di Gerbang Tol, dilakukan simulasi perbandingan antara penggunaan gardu tol konvensional dengan otomatis. Metode yang digunakan dalam simulasi ini adalah metode antrian. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak promodel dengan 3 skenario yaitu Konvensional Tube-Konvensional, Konvensional-Otomatis dan Otomatis-Otomatis. Kemudian hasil simulasi di uji dengan perbandingan lebih dari 2 sistem yaitu tes Bonferroni. Dari hasil tes Bonferroni dapat disimpulkan dari tiga skenario di atas bahwa gardu tol-otomatis konvensional memiliki hasil terbaik karena dengan panjang dan panjang waktu antrian yang ada memiliki hasil utilitas yang memadai.

Kata kunci: *Simulasi, Gerbang Tol, Sistem Antrian, Teori Antrian*

ABSTRACT

The toll road is part of the National Road which needs to be maintained in order to keep it functioning optimally. The study was conducted at Fatmawati 2 Gate, which is one of the largest toll road segments in August 2017 and only facilitated 2 conventional service substations resulting in the buildup of queues. In order to reduce the length of the queue at the Toll Gate, a simulation which compared the use of conventional toll with automatic toll was conduct. Method used using queuing method. The simulation is done using promodel software with 3 scenarios are Conventional Tube-Conventional, Conventional-Automatic and Automatic-Automatic. Then the result of simulation in test with comparison more than 2 system that is Bonferroni test. From the bonferroni test results can be deduced from the three scenarios above that conventional toll-automatic substations have the best results because with the length and length of time the existing queue has sufficient utility results.

Keywords: *Simulation, Toll Gate, Toll Road, Queue System, Queue Theory*

DOI : 10.15408/jti.v11i1.7032

I. PENDAHULUAN

Jalan tol merupakan bagian dari Jalan Nasional yang perlu dijaga pengoperasiannya agar tetap dapat berfungsi secara optimal dalam mendukung pergerakan lalu lintas secara aman, nyaman dan efisien. Salah satu aspek pengoperasian itu adalah terkait dengan sistem pengumpulan jalan tol yang dilakukan [1].

Pelayanan merupakan salah satu hal penting yang harus diperhatikan, karena pelayanan mempengaruhi kenyamanan para pelanggan dalam melakukan transaksi. Masalah antrian merupakan salah satu hal yang sering menjadi keluhan para pelanggan. Jika terjadi antrian yang terlalu panjang berarti akan semakin banyak waktu yang terbuang akibat waktu menunggu yang terjadi dalam antrian. Tentu saja ini dapat merugikan pihak instansi karena akan terjadi penurunan kepuasan para pelanggan.

Penelitian dilakukan pada gerbang tol Fatmawati 2, PT Jalantol Lingkarluar Jakarta. Berdasarkan pertimbangan bahwa gerbang tol Fatmawati 2 memiliki waktu antrian dan waktu pelayanan yang tidak sebanding sehingga mengalami antrian yang cukup panjang bila dibandingkan dengan beberapa gerbang tol lain pada PT Jalantol Lingkarluar Jakarta. Selain itu gerbang tol Fatmawati 2 sejauh ini masih menggunakan sistem pengumpulan tol konvensional (tradisional).

Pentingnya pelayanan yang lebih baik kepada pelanggan perlu adanya perbaikan dalam proses pelayanan kepada pelanggan. Simulasi sangat tepat untuk mengamati sistem yang dimodelkan pada sistem yang nyata. Terdapat 3 alternatif usulan pada simulasi Gerbang Tol Fatmawati 2 yaitu Gardu Tol Konvensional-Konvensional, Konvensional-Otomatis, dan Otomatis-Otomatis. Kemudian dari ketiga alternatif usulan tersebut akan dipilih alternatif terbaik.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pengoperasian Jalan Tol

Pengoperasian jalan tol adalah suatu kombinasi kegiatan Layanan Publik dan Layanan Bisnis, berupa penyediaan layanan penggunaan jalan tol dengan menggunakan

kaidah-kaidah manajemen operasi yang benar. Beberapa tujuannya adalah sebagai berikut [2].

2.2 Karakteristik Sistem Antrian

Karakteristik sistem antrian adalah terdapat kedatangan, pelayanan, antrian. Untuk dapat menjelaskan proses antrian dengan baik, diperlukan penjelasan mengenai 4 (empat) komponen utama dalam teori antrian yang harus benar-benar diketahui dan dipahami yaitu [3].

2.3 Kapasitas Gerbang Tol

Simulasi adalah proses implementasi model menjadi program komputer (*software*) atau rangkaian elektronik dan mengeksekusi *software* tersebut sedemikian rupa sehingga perilakunya menirukan atau menyerupai sistem nyata tertentu untuk tujuan mempelajari perilaku sistem, pelatihan atau permainan yang melibatkan sistem nyata (realitas). Simulasi merupakan suatu metode eksperimental dan terpakai untuk menjelaskan perilaku sistem, membangun teori atau hipotesis yang mempertanggungjawabkan perilaku dari sistem yang diamati, memakai teori-teori untuk meramalkan perilaku sistem yang akan datang, yaitu pengaruh yang akan dihasilkan oleh perubahan-perubahan variabel dan parameter sistem atau perubahan operasinya. Simulasi juga merupakan suatu metodologi untuk melaksanakan percobaan dengan menggunakan model dari satu sistem nyata [4].

2.4 Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan yang dinyatakan dengan notasi μ adalah jumlah kendaraan atau manusia yang dapat dilayani oleh satu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit. Selain tingkat pelayanan, juga dikenal waktu pelayanan (WP) yang dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh satu tempat pelayanan untuk dapat melayani satu kendaraan atau satu orang, biasa dinyatakan dalam satuan menit/kendaraan atau menit/orang [5].

III. PENELITIAN SEJENIS

Penelitian sejenis ini adalah acuan untuk penulis mendapatkan materi.

1. Estimasi Jumlah Gardu Keluar Tol Pasteur yang Optimal Menggunakan Model Antrian Tingkat Aspirasi

Salah satu akses menuju kota Bandung adalah dengan menggunakan jalur tol, sehingga sering terjadi antrian kendaraan pada setiap pintu tol menuju Bandung, salah satunya terjadi antrian kendaraan pada pintu tol Pasteur. Maka untuk mengurangi antrian kendaraan yang terjadi perlu dilakukan pemecahan masalah dengan menggunakan model antrian, hal ini bertujuan untuk mengetahui jumlah gardu tol yang optimal untuk dibuka agar jumlah gardu tol yang dibuka dapat mengurangi penumpukan kendaraan yang terjadi. Pada penelitian ini model antrian yang digunakan adalah model antrian *server* tunggal dengan pemecahan model keputusan tingkat aspirasi. Model antrian tingkat aspirasi digunakan karena tidak terdapat biaya waktu menunggu pada sistem antrian [6].

2. Studi Antrian di Gerbang Tol Tamalanrea Seksi IV Makassar

Jalan tol sangat berperan dalam kelancaran arus lalu lintas. Akan tetapi, bila jumlah pintu layanan tidak dapat menampung *supply* yang ada, maka akan terjadi antrian yang sangat panjang. Metode yang digunakan adalah metode observasi dan analisis untuk antrian model FIFO. Hasil analisis diperoleh volume maksimum sebesar 570 kendaraan/jam, panjang antrian adalah 2 kendaraan atau 5 meter, waktu pelayanan maksimum adalah 12 detik dan waktu rata-rata maksimum yang diperlukan kendaraan menunggu dalam antrian adalah 20,73 detik. Hasil analisis prediksi untuk 10 tahun kedepan yaitu volume maksimum sebesar 2241 kendaraan/jam, panjang antrian adalah 8 kendaraan atau 30 meter, waktu pelayanan maksimum adalah 6 detik dan waktu rata-rata maksimum yang diperlukan kendaraan menunggu dalam antrian adalah 50 detik. Penggunaan 3 pintu tol masih mampu melayani kendaraan dengan cukup lancar dan belum perlu penambahan pintu tol. Sedangkan untuk 10 sampai 15 tahun ke depan, perlu dilakukan penambahan pintu [3].

3. Analisis Efektifitas Pelayanan Antrian pada Gardu Tol Otomatis dan Gardu Tol Reguler

Penelitian ini memberikan bukti perhitungan mengenai analisis efektifitas pelayanan antrian pada gardu tol otomatis dan gardu tol reguler. Hasil perhitungan atas gardu tol otomatis dan gardu tol reguler pada gerbang tol Cililitan 1 menunjukkan bahwa waktu pelayanan gardu tol reguler lebih efektif dibanding waktu pelayanan gardu tol otomatis. Selain itu dilakukan juga peramalan estimasi sistem antrian gardu tol yang efektif di masa depan sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan pengembangan sistem antrian gardu tol di masa depan. Hasil

peramalan menunjukkan bahwa sistem antrian gardu tol otomatis akan lebih efektif di masa depan dan butuh dilakukan pengembangan [7].

4. Analisis Sistem Antrian Gerbang Tol Pasteur Bandung di PT Jasa Marga (Persero) Tbk

Antrian adalah suatu kejadian yang biasa dalam kehidupan sehari-hari. Menunggu di depan loket untuk mendapatkan tiket kereta api atau tiket bioskop, gerbang tol tol, bank, kasir supermarket, dan situasi-situasi lain yang sering kita temui. Antrian terjadi disebabkan oleh kebutuhan akan layanan melebihi kemampuan (kapasitas) pelayanan atau fasilitas layanan, sehingga pengguna fasilitas tidak bisa segera mendapat layanan disebabkan kesibukan layanan.

Dalam penelitian ini, yang menjadi objek penelitian adalah sistem antrian di Gerbang Tol Pasteur yang berada di bawah naungan PT Jasa Marga, Tbk. Kita ketahui bahwa volume kendaraan yang melewati Gerbang Tol Pasteur dapat dikategorikan dalam jumlah yang banyak setiap harinya. Hal ini membuat sering terlihat antrian yang cukup panjang terutama di jam sibuk pada saat pagi dan menjelang sore hari. Fenomena ini terjadi dikarenakan sistem pelayanan yang dimiliki masih belum maksimal terutama jika kita lihat dari jumlah gardu tol dan juga pelayanan yang diberikan oleh operator. Di Gerbang Tol Pasteur, terdapat dua jenis gardu yaitu gardu tol *Entrance* yang khusus melayani mobil dari arah Bandung menuju luar sedangkan gardu tol *Exit* yang melayani mobil dari arah luar Bandung yang ingin masuk ke Bandung. Pintu gardu tol *entrance* memiliki 11 (sebelas) gardu yaitu *entrance-21, entrance-19, entrance-17, entrance-15, s/d entrance-1*, sedangkan untuk gardu tol *Exit* terdapat 9 gardu yaitu *exit-18, exit-16, exit-14, exit-12, s/d exit-2* sehingga total gardu yang ada sebanyak 20 (dua puluh) gardu. Dari 20 gardu tersebut, ada 7 gardu yang tidak dipergunakan lagi sehingga gardu yang aktif saat ini ada sebanyak 13 gardu, 5 (lima) gardu tol *entrance* dan 8 (delapan) gardu tol *exit*. Dalam penelitian ini, lebih difokuskan kepada gerbang tol *Exit*, dimana jumlahnya ada 8 unit yang dapat dioperasikan selama 24 jam. Salah satu ukuran performansi dari sebuah sistem antrian adalah faktor utilisasi, dimana suatu sistem antrian yang baik memiliki faktor utilisasi di atas 60%. Faktor utilisasi merupakan persentase waktu kerja efektif dari sebuah sistem selama rentang waktu tertentu.

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperoleh bahwa faktor utilisasi dari tiap gardu tol pada shiftnya masih belum maksimal sehingga salah satu dampaknya adalah kepadatan yang cukup signifikan di gerbang pintu tol. Ada dua alternatif yang diusulkan dalam penelitian ini

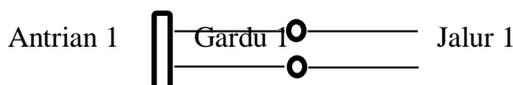
untuk memperbaiki kinerja dari gerbang tol tersebut yaitu penambahan gardu tol pada *shift* I dan II serta mengurangi gardu tol pada *shift* III. Selain itu, peningkatan kinerja bisa dilakukan dengan cara mempercepat proses pelayanan pada gerbang tol [8].

5. Analisis Kapasitas Gerbang Tol Karawang Barat

Jalan Tol diselenggarakan untuk mendukung pergerakan lalu lintas secara optimal serta meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang tingkat perkembangannya ekonominya tinggi. Oleh karena itu, jalan tol harus memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM) Jalan Tol. Pada suatu sistem jalan tol kemacetan sering terjadi di pintu masuk/keluar, khususnya pada arah yang menghadapi pelayanan pembayaran tol. Gerbang tol Karawang Barat merupakan salah satu gerbang tol yang sering mengalami kemacetan terutama pada gardu keluar. Dimana, kendaraan yang datang dari ruas jalan tol Jakarta Cikampek menuju Kota Karawang melakukan pembayaran di gardu keluar tersebut. Oleh karena itu, diperlukan adanya kajian mengenai permasalahan tersebut untuk mengetahui apakah waktu pelayanan dan kapasitas gerbang tol Karawang Barat masih memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol. Dari hasil perhitungan dan analisis diperoleh waktu pelayanan di gerbang tol Karawang Barat sebesar 13,5 detik/kendaraan, maka gerbang tol tidak lagi memenuhi Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol, yaitu untuk gardu exit pada sistem tertutup ≤ 11 detik/kendaraan. Dengan waktu pelayanan tersebut, maka dibutuhkan penambahan gardu tol, dari 3 gardu menjadi 4 gardu pelayanan. Selain penambahan jumlah gardu pelayanan, alternatif lain yang dapat digunakan yaitu dengan mempersingkat waktu pelayanan. Jika dilakukan penambahan gardu menjadi 4 gardu, maka jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem (n) sebesar 5 kendaraan, jumlah kendaraan dalam antrian (q) sebesar 4 kendaraan, waktu menunggu rata-rata dalam sistem (d) sebesar 80,45 detik/kendaraan, waktu menunggu dalam antrian (w) sebesar 66,95 detik/kendaraan [9].

IV. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada gerbang tol Fatmawati 2 pada bulan September 2017. Terdapat 2 gardu Konvensional pada gerbang tol Fatmawati seperti pada Gambar 1.



Antrian 2 Gardu 2 Jalur 2

Gambar 1. Diagram gerbang tol Fatmawati 2

Dalam penelitian ini ada 9 jenis variable yang diamati, yaitu data jumlah pelayanan, jumlah kedatangan, waktu antarkedatangan, data waktu pelayanan.

1. Jumlah Pelayanan
Jumlah pelayanan pada gerbang tol Fatmawati 2 terdapat 2 gardu pelayanan. 2 gardu pelayanan ini masih bersifat konvensional (traditional).
2. Jumlah Kedatangan

Tabel 1. Jumlah kedatangan

No	Waktu	Jumlah Kendaraan
1	00.00-00.59	132
2	01.00-01.59	93
3	02.00-02.59	58
4	03.00-03.59	101
5	04.00-04.59	119
6	05.00-05.59	161
7	06.00-06.59	403
8	07.00-07.59	367
9	08.00-08.59	367
10	09.00-09.59	485
11	10.00-10.59	614
12	11.00-11.59	740
13	12.00-12.59	567
14	13.00-13.59	683
15	14.00-14.59	806
16	15.00-15.59	835
17	16.00-16.59	1057
18	17.00-17.59	1069
19	18.00-18.59	990
20	19.00-19.59	884
21	20.00-20.59	765
22	21.00-21.59	682
23	22.00-22.59	700
24	23.00-23.59	715
TOTAL		13393

Sumber: PT Jalan tol Lingkarluar Jakarta

Menurut hasil survei jumlah kedatangan kendaraan yang dilakukan selama satu bulan yaitu pada bulan September 2017 selama 24 jam di Gerbang Tol Fatmawati 2 kemudian data dihitung untuk dapat menentukan jumlah kendaraan terbesar pada bulan September 2017. Selanjutnya didapatkan hasil jumlah kedatangan kendaraan terbanyak adalah pada Jumat, 19 September 2017 yaitu sebanyak 13393 kendaraan/hari, berikut data jumlah kedatangan.

3. Waktu Antar Kedatangan
Waktu kedatangan pelanggan bersifat random. Berikut adalah hasil survei waktu antar

kedatangan pada gerbang tol Fatmawati 2 pada pukul 17.00.

Tabel 2. Waktu antar kedatangan

NO	WAKTU ANTAR KEDATANGAN (Detik)
1	08.20
2	04.13
3	04.44
4	03.36
5	06.43
6	03.36
7	05.46
8	04.45
9	04.21
10	03.16
11	03.48
12	05.18
13	02.37
14	01.43
15	02.12
16	02.27
17	03.27
18	02.47
19	04.39
20	04.29
21	04.43
22	02.28
23	03.37
24	04.27
25	03.29
26	04.23
27	05.24
28	01.38
29	02.29
30	02.48

Sumber: PT Jalantol Lingkarluar Jakarta

Maka didapat rata-rata waktu antarkedatangan sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} = \frac{111.73 \text{ detik}}{30} = 3.72 \text{ detik}$$

4. Waktu Pelayanan

Di bawah ini adalah waktu pelayanan kendaraan selama satu bulan yaitu pada bulan September 2017. Waktu pelayanan dibagi menjadi 2 yaitu waktu pelayanan pada gerbang tol Fatmawati 2 yang bersifat konvensional dengan waktu pelayanan pada gerbang tol Pondok Pinang yang bersifat otomatis untuk data perbandingan waktu pelayanan pada jam sibuk.

Tabel 3. Waktu pelayanan

NO	KONVENSIONAL		OTOMATIS
	GARDU 1	GARDU 2	GARDU 1
1	11.09	09.44	02.15
2	11.02	08.47	02.32
3	05.20	11.23	02.32

4	14.28	14.29	02.17
5	07.54	08.27	03.32
6	07.20	08.27	02.32
7	05.34	07.16	02.15
8	07.02	06.29	04.46
9	10.54	09.46	03.25
10	04.04	09.37	03.46
11	06.54	11.21	02.32
12	07.14	07.26	02.12
13	07.53	06.26	03.57
14	10.22	11.32	02.47
15	06.16	14.53	02.25
16	13.14	09.26	03.54
17	07.22	13.32	03.34
18	04.53	04.26	03.26
19	03.25	08.26	02.32
20	11.35	07.23	02.27
21	06.37	07.39	03.32
22	10.09	06.38	02.32
23	08.08	09.29	03.37
24	07.14	11.37	03.34
25	17.42	03.37	02.32
26	07.35	09.44	02.21
27	06.47	07.38	02.21
28	10.15	08.12	03.32
29	07.56	08.17	03.15
30	08.53	03.23	03.21
Rata-rata	08.32	08.64	02.81

Sumber: PT Jalantol Lingkarluar Jakarta

Maka didapat rata-rata waktu pelayanan sebagai berikut:

Gardu Konvensional:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} = \frac{17.36}{2} = 8.68 \text{ detik/kendaraan}$$

$$\mu = \frac{3600}{8.68} = 415 \text{ kendaraan/ jam}$$

Gardu Otomatis:

$$\mu = \frac{3600}{2.81} = 1281 \text{ kendaraan/ jam}$$

5. Panjang Antrian Rata-rata

Perhitungan panjangnya antrian rata-rata untuk mengetahui jumlah rata-rata panjang antrian pada satu waktu. Jumlah kendaraan yang dihitung adalah pada pukul 17.00-18.00 dimana jumlah tersebut merupakan jumlah kedatangan kendaraan terbanyak.

Gardu Konvensional:

$$Lq = \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)^2}{\mu \left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)}$$

$$= \frac{((1069/2)^2)}{(415(415 - (1069/2)))}$$

= 6 kendaraan

Gardu Otomatis:

$$Lq = \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)^2}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)}$$

$$= \frac{\left(\frac{1069}{2}\right)^2}{1281\left(1281 - \left(\frac{1069}{2}\right)\right)}$$

$$= 1 \text{ kendaraan}$$

6. Jumlah Pelanggan Rata-rata dalam Sistem

Perhitungan jumlah pelanggan rata-rata untuk mengetahui berapa rata-rata banyak pelanggan dalam sistem.

Rata-Rata Jumlah Kendaraan dalam Sistem:

Gardu Konvensional:

$$Ls = \frac{\frac{\lambda}{N}}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)}$$

$$= \frac{\frac{1069}{2}}{415 - \left(\frac{1069}{2}\right)}$$

$$= 5 \text{ kendaraan}$$

Gardu Otomatis:

$$Ls = \frac{\frac{\lambda}{N}}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)}$$

$$= \frac{\frac{1069}{2}}{1281 - \left(\frac{1069}{2}\right)}$$

$$= 1 \text{ kendaraan}$$

7. Waktu Rata-Rata yang dihabiskan oleh Pelanggan dalam Antrian

Perhitungan waktu rata-rata yang dihabiskan oleh pelanggan dalam antrian untuk mengetahui berapa rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan saat antri.

Gardu Konvensional:

$$Wq = \frac{\frac{\lambda}{N}}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \times 3600$$

$$= \frac{(1069/2)/(415 - (1069/2))}{1281(1281 - (1069/2))} \times 3600$$

$$= 38.80 \text{ detik/ kendaraan}$$

Gardu Otomatis:

$$Wq = \frac{\frac{\lambda}{N}}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \times 3600$$

$$= \frac{(1069/2)/(1281(1281 - (1069/2)))}{1281(1281 - (1069/2))} \times 3600$$

$$= 02.01 \text{ detik/ kendaraan}$$

8. Waktu Rata-rata yang dihabiskan oleh Pelanggan dalam Sistem
Perhitungan waktu rata-rata yang dihabiskan oleh pelanggan dalam antrian untuk mengetahui berapa rata-rata waktu yang dihabiskan pelanggan pada sistem.

Gardu Konvensional:

$$Ws = \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{415 - \left(\frac{1069}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 30.13 \text{ detik/kendaraan}$$

Gardu Otomatis:

$$Ws = \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600$$

$$= \frac{1}{1281 - \left(\frac{1069}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 04.82 \text{ detik/kendaraan}$$

9. Faktor Utilitas Sistem

Faktor utilitas sistem adalah untuk menentukan kebutuhan jumlah gardu minimum yang dibutuhkan. Terdapat 2 gardu konvensional pada gerbang tol Fatmawati 2.

Gardu Konvensional:

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu}$$

$$\rho = \frac{1069}{2 \cdot 415}$$

$$\rho = 1,3 > 1$$

Gardu Otomatis:

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu}$$

$$\rho = \frac{1069}{2 \cdot 1281}$$

$$\rho = 0,42 < 1$$

Maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan gerbang tol konvensional pada gerbang tol Fatmawati 2 sudah tidak dapat melayani kendaraan yang datang sehingga harus dilakukan perbaikan pelayanan. Sedangkan pada gardu tol otomatis yang menjadi pembanding dapat disimpulkan bahwa jauh

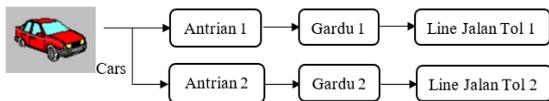
lebih baik penggunaan gardu tol otomatis dibandingkan dengan gardu tol konvensional. Oleh karena itu dibutuhkan perbaikan pada gerbang tol Fatmawati 2 sesegera mungkin agar tidak terjadi antrian panjang yang mengakibatkan lamanya pelanggan menunggu dalam antrian.

V. PEMBAHASAN DAN HASIL

5.1 Model Konseptual

Langkah awal dalam membuat simulasi adalah dengan membuat model konseptual sehingga mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan kondisi nyata.

1. *Entity Flow*



Gambar 2. *Entity flow diagram*

Entity flow pada penelitian ini adalah dimulai pada saat *cars* mendatangi gerbang tol, lalu melewati antrian, kemudian masuk kedalam gardu untuk melakukan transaksi masuk jalan tol, petugas kemudian melayani pengemudi *cars*, setelah selesai transaksi pada gardu kemudian *cars* melewati *line* jalan tol agar bisa masuk pada area jalan tol.

2. *Operational Description*

Penentuan proses dalam sistem yaitu menentukan operasi proses dalam sistem yang terjadi pada antrian gerbang tol dimana penjelasan secara rinci dari gambar diagram entitas. Tabel 4 merupakan proses-proses dalam perancangan sistem.

Tabel 4. *Proses operasi dari perancangan sistem untuk antrian gerbang tol Fatmawati 2*

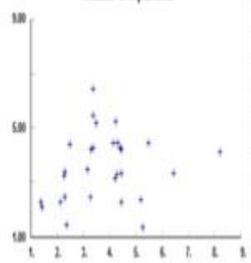
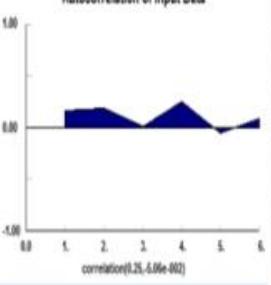
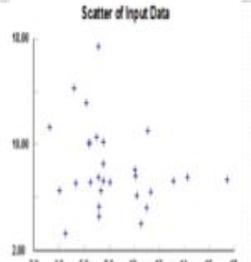
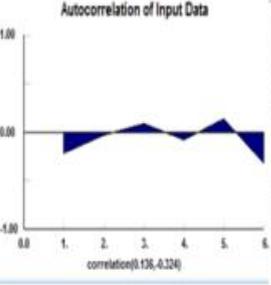
Entitas	Arrival	Output	Next Move	Trigger
Cars	Gerbang Tol	cars	Antrian 1	ada antrian yang kosong
		cars	Antrian 2	ada antrian yang kosong
Cars	Antrian 1	cars	Gardu 1	gardu 1 kosong yang kosong
	Antrian 2	cars	Gardu 2	gardu 2 kosong yang kosong
Cars	Gardu 1	cars	Line Jalan Tol 1	-
	Gardu 2	cars	Line Jalan Tol 2	-
Cars	Line Jalan Tol	cars	Jalan Tol	-

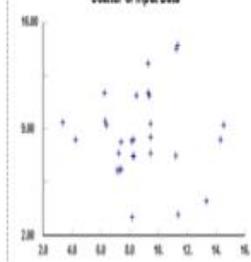
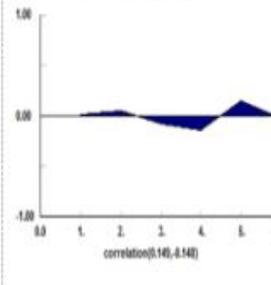
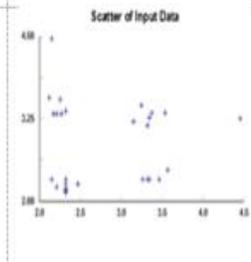
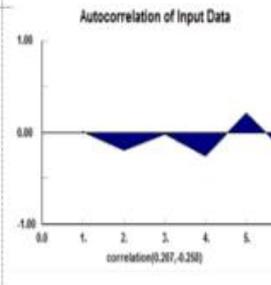
3. *Analisis Data Input*

Adapun analisis data input yang bertujuan untuk memutuskan bentuk distribusi dari data yang akan diteliti, dimana data yang diujikan adalah waktu pelayanan dan waktu antar kedatangan. Berikut adalah tahapan dalam menentukan distribusi:

- 1) Pengujian independensi data, dilakukan dengan *scatter plot*, *autocorelation plot* dan *run test* dengan stat::fit.

Tabel 5. *Pengujian independensi*

Data	Scatter Plot	Autocorrelation Plot	Run Test	Kesimpulan
Waktu Antarkedatangan	 <p>Scatter of Input Data</p>	 <p>Autocorrelation of Input Data correlation(0.25, 4.06e-002)</p>	<p>runs test on input</p> <p>runs test (above/below median)</p> <p>data points 30 points above median 15 points below median 15 total runs 14 mean runs 16 standard deviation runs 2.63098 runs statistic 0.743223 level of significance 5.e-002 runs statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 0.457346 result DO NOT REJECT</p> <p>runs test (turning points)</p> <p>data points 30 turning points 19 mean turnings 19.6667 standard deviation turnings 2.23855 turnings statistic 0.297812 level of significance 5.e-002 turnings statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 0.765847 result DO NOT REJECT</p>	Scatter plot dan autocorrelation acak, run test 'do not reject' sehingga data independen
Waktu Pelayanan Gardu 1 Konvensional	 <p>Scatter of Input Data</p>	 <p>Autocorrelation of Input Data correlation(0.136, 0.324)</p>	<p>runs test on input</p> <p>runs test (above/below median)</p> <p>data points 30 points above median 15 points below median 15 total runs 17 mean runs 16 standard deviation runs 2.69098 runs statistic 0.371612 level of significance 5.e-002 runs statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 0.710182 result DO NOT REJECT</p> <p>runs test (turning points)</p> <p>data points 30 turning points 17 mean turnings 19.6667 standard deviation turnings 2.23855 turnings statistic 1.19125 level of significance 5.e-002 turnings statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 0.233557 result DO NOT REJECT</p>	Scatter plot dan autocorrelation acak, run test 'do not reject' sehingga data independen

Waktu Pelayanan Gardu 2 Konvensional	 <p>Scatter of Input Data</p>	 <p>Autocorrelation of Input Data correlation(0.140, 0.140)</p>	<p>runs test on input</p> <p>runs test (above/below median)</p> <p>data points 30 points above median 14 points below median 14 total runs 10 mean runs 15 standard deviation runs 2.59629 runs statistic 1.92582 level of significance 5.e-002 runs statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 5.41266e-002 result DO NOT REJECT</p> <p>runs test (turning points)</p> <p>data points 29 turning points 20 mean turnings 19 standard deviation turnings 2.19848 turnings statistic 0.454859 level of significance 5.e-002 turnings statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 0.649211 result DO NOT REJECT</p>	Scatter plot dan autocorrelation acak, run test 'do not reject' sehingga data independen
Waktu Pelayanan Gardu Otomatis	 <p>Scatter of Input Data</p>	 <p>Autocorrelation of Input Data correlation(0.207, 0.250)</p>	<p>runs test on input</p> <p>runs test (above/below median)</p> <p>data points 30 points above median 15 points below median 15 total runs 14 mean runs 16 standard deviation runs 2.69098 runs statistic 0.743223 level of significance 5.e-002 runs statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 0.457346 result DO NOT REJECT</p> <p>runs test (turning points)</p> <p>data points 28 turning points 18 mean turnings 18.3333 standard deviation turnings 2.15767 turnings statistic 0.154487 level of significance 5.e-002 turnings statistic(2.5e-002) 1.95996 p-value 0.877225 result DO NOT REJECT</p>	Scatter plot dan autocorrelation acak, run test 'do not reject' sehingga data independen

2) Pengujian data mempunyai distribusi identik, yang dilakukan dengan uji Kruskal-Wallis dengan SPSS.

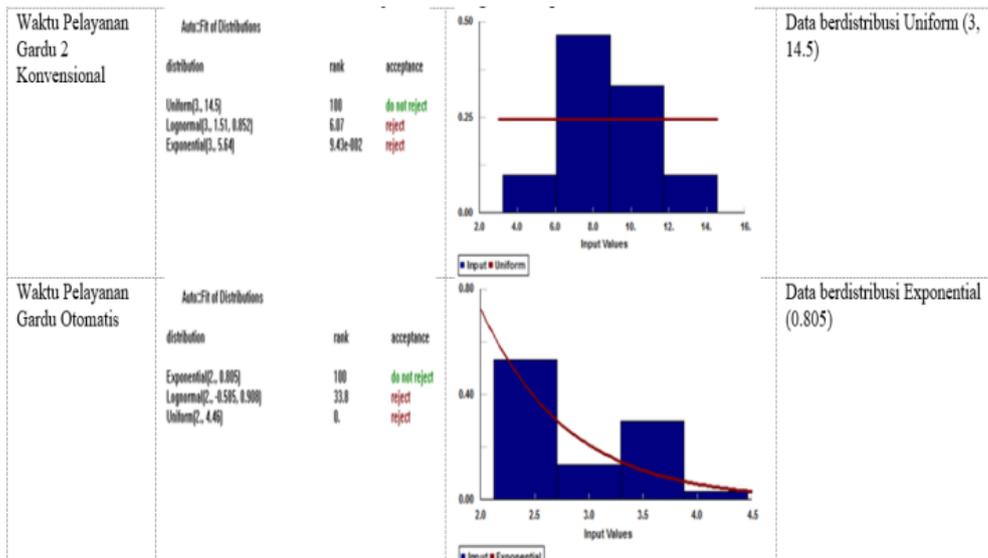
Tabel 6. Pengujian distribusi

Data	Test Kruskal Wallis	$\chi^2_{k-1,1-\alpha}$	Kesimpulan							
Waktu Antarkedatangan	Test Statistics^{a,b} <table border="1"> <tr><td>VAR00001</td></tr> <tr><td>Chi-Square</td><td>1.498</td></tr> <tr><td>df</td><td>1</td></tr> <tr><td>Asymp. Sig.</td><td>.221</td></tr> </table> <p>a. Kruskal Wallis Test b. Grouping Variable: VAR00002</p>	VAR00001	Chi-Square	1.498	df	1	Asymp. Sig.	.221	3.841	$\chi^2_{hitung} < \chi^2_{k-1,1-\alpha}$ H ₀ diterima, data homogen
VAR00001										
Chi-Square	1.498									
df	1									
Asymp. Sig.	.221									
Waktu Pelayanan Gardu 1 Konvensional	Test Statistics^{a,b} <table border="1"> <tr><td>VAR00001</td></tr> <tr><td>Chi-Square</td><td>.248</td></tr> <tr><td>df</td><td>1</td></tr> <tr><td>Asymp. Sig.</td><td>.619</td></tr> </table> <p>a. Kruskal Wallis Test b. Grouping Variable: VAR00002</p>	VAR00001	Chi-Square	.248	df	1	Asymp. Sig.	.619	3.841	$\chi^2_{hitung} < \chi^2_{k-1,1-\alpha}$ H ₀ diterima, data homogen
VAR00001										
Chi-Square	.248									
df	1									
Asymp. Sig.	.619									
Waktu Pelayanan Gardu 2 Konvensional	Test Statistics^{a,b} <table border="1"> <tr><td>VAR00001</td></tr> <tr><td>Chi-Square</td><td>2.618</td></tr> <tr><td>df</td><td>1</td></tr> <tr><td>Asymp. Sig.</td><td>.106</td></tr> </table> <p>a. Kruskal Wallis Test b. Grouping Variable: VAR00002</p>	VAR00001	Chi-Square	2.618	df	1	Asymp. Sig.	.106	3.841	$\chi^2_{hitung} < \chi^2_{k-1,1-\alpha}$ H ₀ diterima, data homogen
VAR00001										
Chi-Square	2.618									
df	1									
Asymp. Sig.	.106									
Waktu Pelayanan Gardu Otomatis	Test Statistics^{a,b} <table border="1"> <tr><td>VAR00001</td></tr> <tr><td>Chi-Square</td><td>1.047</td></tr> <tr><td>df</td><td>1</td></tr> <tr><td>Asymp. Sig.</td><td>.306</td></tr> </table> <p>a. Kruskal Wallis Test b. Grouping Variable: VAR00002</p>	VAR00001	Chi-Square	1.047	df	1	Asymp. Sig.	.306	3.841	$\chi^2_{hitung} < \chi^2_{k-1,1-\alpha}$ H ₀ diterima, data homogen
VAR00001										
Chi-Square	1.047									
df	1									
Asymp. Sig.	.306									

- 3) *Fitting* terhadap distribusi teoritis tertentu, dilakukan dengan uji *Chisquare* dengan stat::fit.

Tabel 7. Fitting distribusi

Data	Fitting Distribusi	Histogram	Kesimpulan												
Waktu Antarkedatangan	Auto:Fit of Distributions <table border="1"> <tr><th>distribution</th><th>rank</th><th>acceptance</th></tr> <tr><td>Lognormal(, 0.829, 0.651)</td><td>100</td><td>do not reject</td></tr> <tr><td>Exponential(, 2.72)</td><td>0.311</td><td>reject</td></tr> <tr><td>Uniform(, 0.2)</td><td>1.26e-003</td><td>reject</td></tr> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(, 0.829, 0.651)	100	do not reject	Exponential(, 2.72)	0.311	reject	Uniform(, 0.2)	1.26e-003	reject		Data berdistribusi Lognormal (0.829, 0.651)
distribution	rank	acceptance													
Lognormal(, 0.829, 0.651)	100	do not reject													
Exponential(, 2.72)	0.311	reject													
Uniform(, 0.2)	1.26e-003	reject													
Waktu Pelayanan Gardu 1 Konvensional	Auto:Fit of Distributions <table border="1"> <tr><th>distribution</th><th>rank</th><th>acceptance</th></tr> <tr><td>Lognormal(, 1.52, 0.714)</td><td>7.48</td><td>reject</td></tr> <tr><td>Exponential(, 4.93)</td><td>1.56</td><td>do not reject</td></tr> <tr><td>Uniform(, 17.4)</td><td>0.</td><td>reject</td></tr> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(, 1.52, 0.714)	7.48	reject	Exponential(, 4.93)	1.56	do not reject	Uniform(, 17.4)	0.	reject		Data berdistribusi Exponential (4.93)
distribution	rank	acceptance													
Lognormal(, 1.52, 0.714)	7.48	reject													
Exponential(, 4.93)	1.56	do not reject													
Uniform(, 17.4)	0.	reject													



5.2 Model Simulasi

Model simulasi ini menjelaskan proses/langkah-langkah dalam pembuatan simulasi gerbang tol Fatmawati dengan menggunakan *Software Promodel*. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan simulasi gerbang tol Fatmawati pada *Software Promodel*:

1. Lokasi

Lokasi area kerja pada pelayanan di gerbang tol Fatmawati 2 merupakan tempat dimana terjadinya aktivitas proses pelayanan.

Icon	Name	Cap.	Units	Ops...	Status	Relas...	Notes...
	Gerbang_1	20	1	None	Time Series	0:00:00, 0:00:00	
	Gerbang_2	20	1	None	Time Series	0:00:00, 0:00:00	
	Gerbang_3	1	1	None	Time Series	0:00:00	
	Gerbang_4	1	1	None	Time Series	0:00:00	
	Time_Pelayanan_Dulu_1	20	1	None	Time Series	0:00:00, 0:00:00	
	Time_Pelayanan_Dulu_2	20	1	None	Time Series	0:00:00, 0:00:00	
	Gerbang	1	1	None	Time Series	0:00:00	

Gambar 3. Atribut lokasi area gerbang tol Fatmawati 2



Gambar 4. Layout Location Area Gerbang Tol Fatmawati 2

2. Entitas

Entitas adalah sebuah objek yang keberadaannya dapat dibedakan terhadap objek lain, entitas pada penelitian ini adalah *cars*, kemudian diberikan waktu kecepatan *cars* berjalan.

Icon	Name	Speed (km/h)	Status	Notes...
	Car	500	Time Series	

Gambar 5. Atribut entitas area gerbang tol Fatmawati 2

3. Arrival

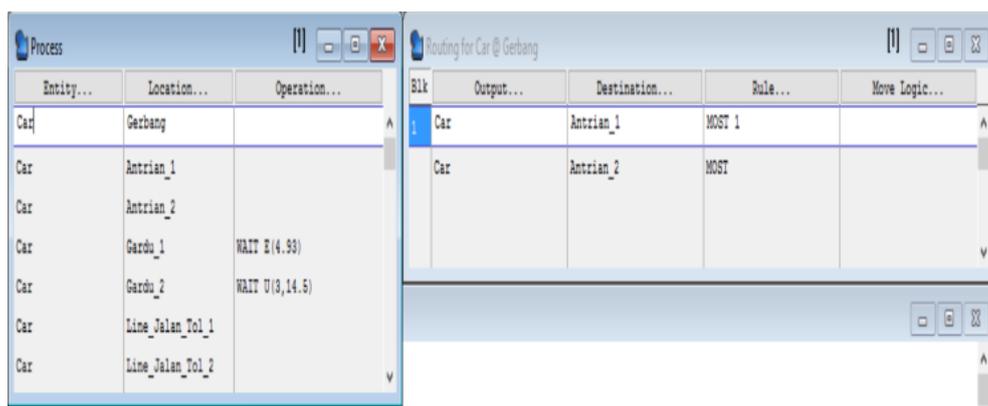
Arrivals merupakan kedatangan dari entitas yang diperlukan dalam sebuah proses/sistem, dimana *entity arrivals* dalam penelitian ini adalah pada gerbang tol. Jumlah kedatangan tidak dibatasi dengan waktu antar kedatangan sesuai dengan uji *Fitting* terhadap distribusi teoritis tertentu.

Entity...	Location...	Qty Batch...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
Car	Gerbang	1		inf	1/10.00, 0.00		No

Gambar 6. Atribut arrival area gerbang tol Fatmawati 2

4. Processing

Setelah data yang diperlukan untuk membuat model simulasi diolah, kemudian data-data tersebut digunakan pada model simulasi. Model simulasi yang akan dibuat adalah sistem antrian pada pelayanan gerbang tol Fatmawati 2 bersifat konvensional-konvensional, konvensional-otomatis, otomatis-otomatis. Berikut adalah atribut-atribut yang digunakan oleh gardu tol konvensional-konvensional, untuk gardu konvensional-otomatis dan otomatis-otomatis hampir sama, hanya dibedakan pada operation di lokasi gardu yang disesuaikan dengan uji *Fitting* terhadap distribusi teoritis tertentu.



Gambar 7. Atribut *processing* konvensional-konvensional

5. Verifikasi
 Verifikasi dilakukan dengan membandingkan antara input yang diberikan model dan animasi *runningsimulasi*. Input model yang terdiri dari lama waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan pada gerbang tol, hasil *running* simulasi dapat menampilkan sesuai dengan input yang diberikan. Maka dengan melihat dan membandingkan antara logika konseptual dan logika pada model simulasi hasil *running* simulasi dapat disimpulkan bahwa telah sesuai dan berdasarkan hasil tersebut maka model ini telah terverifikasi.

6. *Running* Simulasi
Running Simulasi adalah saat simulasi dijalankan, saat simulasi dijalankan maka harus berulang-ulang agar mendapat hasil yang valid. Replikasi digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata output dari model simulasi antrian. Replikasi pada simulasi antrian gerbang tol Fatmawati 2 diuji sebanyak 10 kali. Fungsinya memberikan suatu dugaan dari *error* percobaan, meningkatkan ketelitian suatu percobaan melalui pengurangan simpangan baku dari nilai tengah perlakuan, memperluas cakupan penarikan kesimpulan dari suatu percobaan, dan mengendalikan *error* varian. Berikut ini merupakan hasil (*output*) yang didapatkan pada pelayanan gerbang tol Fatmawati 2 dengan menggunakan aplikasi simulasi dari *software* Promodel dengan replikasi sebanyak sepuluh kali.

7. Validasi
 Setelah data hasil simulasi awal diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah menggunakan data tersebut untuk menilai validitas model simulasi yang telah dibuat.

Tabel 8. Validasi

Entitas	Gardu	
	1	2

Aktual	5415	5432
Simulasi	5325	5321

5.3 Alternatif Usulan

Dalam penelitian ini terdapat 3 simulasi yang terdiri dari 1 simulasi nyata yaitu gardu konvensional-konvensional dan 2 alternatif usulan yaitu gardu konvensional-otomatis dan gardu otomatis-otomatis, dimana ketiga simulasi itu nanti akan dihitung dan menentukan mana yang terbaik.

5.4 Analisis Output Simulasi Alternatif Usulan

1. Uji Bonferroni

Uji Bonferroni dilakukan untuk mengetahui alternatif terbaik dari model simulasi yang diterapkan yaitu Gardu tol Konvensional-Konvensional (Strategi 1), Konvensional-Otomatis (Strategi 2), dan Otomatis-Otomatis (Strategi 3). Berikut perhitungan uji Bonferroni dari hasil simulasi promodel:

- 1) Panjang Antrian Rata-Rata (L_q)

Tabel 9. Uji Bonferroni panjang antrian rata-rata

No.	Strategi			Selisih Strategi		
	1	2	3	1-2	1-3	2-3
1	9.375	9.37	9.31	0.005	0.065	0.06
2	9.345	9.34	9.315	0.005	0.03	0.025
3	9.365	9.305	9.31	0.06	0.055	-0.005
4	9.41	9.335	9.305	0.075	0.105	0.03
5	9.385	9.305	9.315	0.08	0.07	-0.01
6	9.405	9.33	9.31	0.075	0.095	0.02
7	9.395	9.305	9.315	0.09	0.08	-0.01
8	9.375	9.325	9.315	0.05	0.06	0.01
9	9.355	9.38	9.315	-	0.04	0.065
				0.025		
10	9.365	9.335	9.31	0.03	0.055	0.025

\bar{x}	0.04	0.07	0.02
S	0.02	0.04	0.03

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{3} = \frac{0.05}{3} = 0.02$$

for I = 1,2,3

Selisih Strategi 1-2:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1, \alpha/2} = t_{9, 0.01} = 2.82$$

$$hw = \frac{(t_{9, 0.01})s(1-2)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.02}{\sqrt{10}} = 0.03$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(1-2)} - hw \leq \mu_{(1-2)} \leq \bar{x}_{(1-2)} + hw$$

$$0.04 - 0.03 \leq \mu_{(1-2)} \leq 0.04 + 0.03$$

$$0.01 \leq \mu_{(1-2)} \leq 0.07$$

Pada strategi 1-2 tidak sama karena μ tidak di antara 0, Ho ditolak.

Selisih Strategi 1-3:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1, \alpha/2} = t_{9, 0.01} = 2.82$$

$$hw = \frac{(t_{9, 0.01})s(2-3)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.04}{\sqrt{10}} = 0.05$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(2-3)} - hw \leq \mu_{(2-3)} \leq \bar{x}_{(2-3)} + hw$$

$$0.07 - 0.05 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.07 + 0.05$$

$$0.02 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.12$$

Pada strategi 1-3 tidak sama karena μ tidak di antara 0, Ho ditolak.

Selisih Strategi 2-3:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1, \alpha/2} = t_{9, 0.01} = 2.82$$

$$hw = \frac{(t_{9, 0.01})s(1-3)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.03}{\sqrt{10}} = 0.03$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(1-3)} - hw \leq \mu_{(1-3)} \leq \bar{x}_{(1-3)} + hw$$

$$0.02 - 0.03 \leq \mu_{(1-3)} \leq 0.02 + 0.03$$

$$-0.01 \leq \mu_{(1-3)} \leq 0.05$$

Pada strategi 2-3 sama karena μ di antara 0, Ho diterima.

Maka dapat disimpulkan dari ketiga strategi didapat bahwa strategi 3 memiliki panjang antrian rata-rata terpendek.

2) Waktu Antrian Rata-Rata (W_q)

Tabel 10. Uji Bonferroni waktu antrian rata-rata

No.	Strategi			Selisih Strategi		
	1	2	3	1-2	1-3	2-3
1	0.27	0.27	0.18	0	0.09	0.09
2	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
3	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
4	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
5	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
6	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
7	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
8	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
9	0.27	0.27	0.18	0	0.09	0.09
10	0.26	0.26	0.18	0	0.08	0.08
	\bar{x}			0	0.082	0.082
	S			0	0.004	0.004

Sumber: Pengolahan Data, 2017

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{3} = \frac{0.05}{3} = 0.02$$

for I = 1,2,3

Selisih Strategi 1-2:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1, \alpha/2} = t_{9, 0.01} = 2.82$$

$$hw = \frac{(t_{9, 0.01})s(1-2)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0}{\sqrt{10}} = 0$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(1-2)} - hw \leq \mu_{(1-2)} \leq \bar{x}_{(1-2)} + hw$$

$$0 - 0 \leq \mu_{(1-2)} \leq 0 + 0$$

$$0 \leq \mu_{(1-2)} \leq 0$$

Pada strategi 1-2 sama karena μ di antara 0, Ho diterima.

Selisih Strategi 1-3:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1, \alpha/2} = t_{9, 0.01} = 2.82$$

$$hw = \frac{(t_{9, 0.01})s(2-3)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.004}{\sqrt{10}} = 0.005$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(2-3)} - hw \leq \mu_{(2-3)} \leq \bar{x}_{(2-3)} + hw$$

$$0.082 - 0.005 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.082 + 0.005$$

$$0.077 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.087$$

Pada strategi 1-3 tidak sama karena μ tidak di antara 0, Ho ditolak.

Selisih Strategi 2-3:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1,\alpha/2} = t_{9,0.01} = 2.82$$

$$hw =$$

$$\frac{(t_{9,0.01})s(1-3)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.004}{\sqrt{10}} = 0.005$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(1-3)}hw \leq \mu_{(1-3)} \leq \bar{x}_{(1-3)} + hw$$

$$0.082-0.005 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.082 + 0.005$$

$$0.077 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.087$$

Pada strategi 2-3 tidak sama karena μ tidak di antara 0, Ho ditolak.

Maka dapat disimpulkan dari ketiga strategi didapat bahwa strategi 3 memiliki waktu antrian rata-rata terkecil.

3) Utilitas

Tabel 11. Uji Bonferroni utilitas

NO.	Strategi (%)			Selisih Strategi (%)		
	1	2	3	1-2	1-3	2-3
1	93.88	56.81	26.80	37.07	67.08	30.01
2	93.82	56.21	28.49	37.61	65.33	27.72
3	94.48	55.59	25.03	38.89	69.45	30.56
4	95.51	57.00	25.28	38.51	70.23	31.72
5	94.57	55.38	26.74	39.19	67.83	28.64
6	94.62	56.40	26.38	38.22	68.24	30.02
7	94.73	55.59	28.42	39.14	66.31	27.17
8	93.69	56.27	25.80	37.42	67.89	30.47
9	93.48	57.20	25.85	36.28	67.63	31.35
10	93.60	56.39	27.80	37.21	65.80	28.59
	\bar{x}			37.95	67.58	29.63
	S			0.01	0.02	0.02

Sumber: Pengolahan Data, 2017

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{3} = \frac{0.05}{3} = 0.02 \quad \text{for } I = 1,2,3$$

Selisih Strategi 1-2:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1,\alpha/2} = t_{9,0.01} = 2.82$$

$$hw = \frac{(t_{9,0.01})s(1-2)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.01}{\sqrt{10}} = 0.013$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(1-2)}hw \leq \mu_{(1-2)} \leq \bar{x}_{(1-2)} + hw$$

$$0.38-0.013 \leq \mu_{(1-2)} \leq 0.38 + 0.013$$

$$0.37 \leq \mu_{(1-2)} \leq 0.39$$

Pada strategi 1-3 tidak sama karena μ tidak di antara 0, Ho ditolak.

Selisih Strategi 1-3:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1,\alpha/2} = t_{9,0.01} = 2.82$$

$$hw =$$

$$\frac{(t_{9,0.01})s(2-3)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.02}{\sqrt{10}} = 0.03$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(2-3)}hw \leq \mu_{(2-3)} \leq \bar{x}_{(2-3)} + hw$$

$$0.68-0.03 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.68 + 0.03$$

$$0.65 \leq \mu_{(2-3)} \leq 0.71$$

Pada strategi 1-3 tidak sama karena μ tidak di antara 0, Ho ditolak.

Selisih Strategi 2-3:

$$\alpha_1 = 0.02$$

$$t_{n-1,\alpha/2} = t_{9,0.01} = 2.82$$

$$hw =$$

$$\frac{(t_{9,0.01})s(1-3)}{\sqrt{n}} = \frac{(2.82)0.02}{\sqrt{10}} = 0.03$$

Tingkat kepercayaan 98%

$$\bar{x}_{(1-3)}hw \leq \mu_{(1-3)} \leq \bar{x}_{(1-3)} + hw$$

$$0.3-0.03 \leq \mu_{(1-3)} \leq 0.3 + 0.03$$

$$0.27 \leq \mu_{(1-3)} \leq 0.33$$

Pada strategi 2-3 tidak sama karena μ tidak di antara 0, Ho ditolak.

Maka dapat disimpulkan dari ketiga strategi didapat bahwa strategi 3 memiliki utilitas gardu tol terkecil.

5.5 Analisis Hasil Penelitian

Setelah dilakukan uji Bonferroni yang dilakukan untuk mengetahui alternatif terbaik dari model simulasi yang diterapkan yaitu Gardu tol Konvensional-Konvensional (Strategi 1), Konvensional-Otomatis (Strategi 2), dan Otomatis-Otomatis (Strategi 3) dari hasil simulasi promodel yang dirangkum dalam Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi hasil uji Bonferroni

Alternatif 1			Alternatif 2			Alternatif 3		
L _q	W _q	Utilitas (%)	L _q	W _q	Utilitas (%)	L _q	W _q	Utilitas (%)
9.38	0.34	94.24	9.33	0.26	56.28	9.31	0.18	26.66

Sumber: Pengolahan Data, 2017

Hasil dari Tabel 12 di atas adalah alternatif 1 memiliki panjang antrian rata-rata yaitu 9.38 dan lama waktu antrian rata-rata yaitu 0.34 dan hasil utilitas yang 94.24%. Hasil tersebut menyatakan gardu tol masih dapat digunakan saat ini tetapi memiliki antrian yang panjang sehingga membutuhkan waktu antri yang lama.

Sedangkan untuk alternatif 2 memiliki panjang antrian rata-rata yaitu 9.33 dan lama waktu antrian rata-rata yaitu 0.26 dan hasil utilitas yang 56.28% hasil tersebut menyatakan gardu tol sangat tepat untuk digunakan saat ini Karena banyaknya kendaraan dan utilitas yang didapat sangat pas, bila ada penambahan kendaraan secara normal dalam waktu panjang gardu ini masih dapat digunakan dengan baik. Untuk alternatif 3 memiliki panjang antrian rata-rata yaitu 9.31 dan lama waktu antrian rata-rata yaitu 0.18 dan hasil utilitas yang 26.66% hasil tersebut menyatakan gardu tol sangat dapat digunakan tetapi jumlah kendaraan dan waktu pelayanan yang diberikan dengan hasil utilitas yang sangat rendah menunjukkan gardu akan lebih sering tidak bekerja sehingga tidak efektif dan efisien bila digunakan. Oleh karena itu, dapat ditarik kesimpulan dari pembahasan yang sudah dijelaskan di atas gardu tol Konvensional-Otomatis adalah yang terbaik.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu membuat pemodelan Gerbang Tol Fatmawati 2 dengan simulasi yang sesuai dengan aktual dari hasil validasi. Didapat jumlah kendaraan yang masuk pada gerbang tol aktual pada gardu 1 terdapat 5415 per hari dan gardu 2 terdapat 5432 kendaraan per hari. Sedangkan hasil yang didapat dari simulasi adalah jumlah kendaraan adalah pada gardu 1 terdapat 5325 kendaraan per hari dan gardu 2 terdapat 5321 kendaraan per hari. Dari hasil aktual dan simulasi di dapat selisih yang tidak banyak maka dapat disimpulkan bahwa data valid.

Perbandingan performansi layanan Gerbang Tol Fatmawati 2 dengan menggunakan gerbang tol konvensional dan gerbang tol otomatis dari hasil simulasi menggunakan promodel:

- a. Dari hasil simulasi menggunakan promodel maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan Gerbang Tol konvensional pada gerbang tol Fatmawati 2 masih dapat melayani kendaraan yang datang tetapi dengan panjang antrian 9 kendaraan dan utilitas Gardu Tol adalah 94.24%. Sehingga harus dilakukan perbaikan pelayanan. Sedangkan pada Gardu Tol otomatis yang menjadi pembanding dapat disimpulkan bahwa jauh lebih baik penggunaan gardu tol otomatis dibandingkan dengan gardu tol konvensional. Oleh karena itu, dibutuhkan perbaikan pada gerbang tol Fatmawati 2

sesegera mungkin agar tidak terjadi antrian panjang yang mengakibatkan lamanya pelanggan menunggu dalam antrian.

- b. Hasil dari simulasi dan uji Bonnferroni maka dapat ditarik kesimpulan dari ketiga alternatif usulan yang dibuat bahwa Gardu Tol Konvensional-Otomatis adalah yang terbaik.

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dapat menambahkan teori antrian yang sesuai dengan distribusi yang sudah di uji dengan *fitting distribution* sebagai salah satu faktor pembanding antrian yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Sodikin, Bambang Riyanto, "Kajian Masalah Antrian Pada Sistem Pengumpulan Tol Konvensional Terhadap Rancangan Sistem Pengumpulan Tol Elektronik," Universitas Diponegoro, 2006.
- [2] D. M. P. Tol, *Panduan Perusahaan*. Bekasi, 2016.
- [3] D. F. Nur Ali, "Studi Antrian di Gerbang Tol Tamalanrea Seksi IV Makassar," *Fak. Tek.*, vol. 5, p. 9, 2012.
- [4] Charles Harrell, B. K. Ghosh, and R. Bowden, *Simulation Using Promodel*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill/Higher Education, 2004.
- [5] P. . Prof. Ofyar Zainuddin Tamin, Ir., M.Sc (Eng)., *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, 2nd ed. Bandung: ITB, 2000.
- [6] I. Yolanda, S. Susanty, and H. Prasetyo, "Estimasi Jumlah Gardu Keluar Tol Pateur yang Optimal Menggunakan Model Anrean Tingkat Aspirasi," *Online Inst. Teknol. Nas.*, vol. 1, 2013.
- [7] M. P. Wulandari and H. Arif, "Analisis Efektifitas Pelayanan Antrian pada Gardu Tol Otomatis dan Gardu Tol Reguler," *Univ. Indones.*, vol. 8, p. 1, 2013.
- [8] I. M. A. Anthara, "Analisis Sistem Antrian Gerbang Tol Pasteur Bandung di PT Jasa Marga (Persero) tbk," *Ilm. Unikom*, vol. 12, p. 1, 2011.
- [9] N. Winarsih and J. Kusumaningrum, "Analisis Kapasitas Gerbang Tol Karawang Barat," *Psikologi, Ekon. Sastra, Arsit. Tek. Sipil*, vol. 5, p. 9, 2013.