

ANALISIS SISTEM ANTREAN GARDU TOL OTOMATIS (GTO) PADA GERBANG TOL SRONDOL DAN TEMBALANG DENGAN MENGUNAKAN GUI MATLAB

Titin Artati T¹, Sugito, S.Si, M.Si², Alan Prahutama, S.Si, M.Si.³

^{1,2,3}Departemen Statistika FSM Universitas Diponegoro

Email: sugitostat@gmail.com

Abstract

Economic growth is related to transportation, because as a result of economic growth a person's mobility increases and the necessary for mobility also increases beyond the capacity of available transportation infrastructure. Semarang City is the main buffer city of Central Java's economic growth rate, so it requires efficient and smooth facilities and infrastructure. Srandol Toll Gate and Tembalang Toll Gate are service facilities by PT. Jasa Marga has implemented the mandatory use of the e-toll card. With the implementation of the Electronic Toll Collection (ETC) system, it is necessary to analyze how the queue system exists at Srandol Toll Gate and Tembalang Toll Gate. According the result of research, a queue model was obtained at the Srandol Toll Gate for number of arrivals and number of services namely (NORM / NORM / 4) : (FIFO / ∞ / ∞) and the Tembalang Toll Gate for number of arrivals and number of services namely (LOGNORM / LOGNORM / 2) : (FIFO / ∞ / ∞). Based on the simulation results using the Arena, the reduction of one substation at the Srandol Toll Gate is not a problem if done. As for the Tembalang Toll Gate the number of substations is optimal.

Keywords: *Electronic Toll Collection, Queue Model, number of arrivals, number of services, Arena.*

1. PENDAHULUAN

Sektor transportasi adalah salah satu sektor yang sangat berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi sehingga memerlukan sarana dan prasarana yang efisien dan lancar. Hal ini seperti yang diungkapkan oleh Tamin (1997) bahwa pertumbuhan ekonomi memiliki keterkaitan dengan transportasi, karena akibat pertumbuhan ekonomi maka mobilitas seseorang meningkat dan kebutuhan pergerakannya pun menjadi meningkat melebihi kapasitas prasarana transportasi yang tersedia. Hal ini dapat disimpulkan bahwa transportasi dan perekonomian memiliki keterkaitan yang erat.

Kota Semarang merupakan kota penyangga utama laju pertumbuhan ekonomi Jawa Tengah (Yunita, 2017). Oleh sebab itu, Semarang sebagai kawasan bisnis yang ramai dibutuhkan sarana dan prasarana yang efisien dan lancar, dimana diharapkan ruas jalan yang dilalui dapat menampung volume kendaraan terutama di jam-jam sibuk sehingga tidak timbulnya kemacetan. Pada Oktober 2017, PT. Jasa Marga telah menerapkan Gardu Tol Otomatis (GTO) dengan sistem pengumpulan tol non-tunai atau *Electronic Toll Collection* (ETC) secara wajib kepada seluruh pengguna jalan tol. Tujuan dari penerapan Gardu Tol Otomatis adalah untuk mengantisipasi terjadinya antrean yang merugikan pengguna jalan tol. Antrean merupakan suatu fenomena menunggu yang menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari manusia.

Gerbang tol Srandol dan Gerbang Tol Tembalang adalah salah satu fasilitas pelayanan oleh PT. Jasa Marga yang telah menerapkan wajib penggunaan *e-toll card*.

Namun pada kenyataannya masih ada pengguna jalan tol yang tidak memiliki *e-toll card* dan melalui jalan tol sehingga peristiwa antrean ini masih ditemukan di Gerbang tol Spondol dan Gerbang Tol Tembalang. Salah satu cara untuk mengurangi masalah yang terjadi pada suatu antrean dan mengoptimalkan tingginya tingkat pelayanan di Gerbang Tol Spondol dan Tembalang adalah dengan menggunakan teori antrean. Analisis sistem antrean dilakukan untuk mengetahui keefektifan pelayanan setelah diberlakukannya seluruh Gardu Tol Otomatis (GTO).

Penelitian ini menggunakan model antrean nonpoisson. Antrean nonpoisson adalah model antrean dimana notasi kendalnya yaitu a atau notasi b nya tidak berdistribusi poisson atau tidak berdistribusi eksponensial. Penelitian ini membahas tentang persoalan antrean kendaraan pada Gardu Tol Otomatis (GTO) pada Gerbang Tol Spondol dan Gerbang Tol Tembalang yaitu tentang bagaimana menentukan model antrean kendaraan di Gerbang Tol Spondol dan Tembalang dan menentukan ukuran kinerja sistem antrean sehingga dihasilkan suatu kesimpulan yang bisa digunakan sebagai kajian dan masukan oleh PT. Jasa Marga dalam pengambilan keputusan sistem antrean gardu yang efisien di masa yang akan datang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Deskripsi Antrean

Teori tentang antrean ditemukan dan dikembangkan oleh Agner Kraup Erlang seorang insinyur dari Denmark yang bekerja pada perusahaan telepon di Kopenhagen pada tahun 1910. Erlang mendapatkan penemuan ketika mengamati masalah kepadatan penggunaan telepon di *Copenhagen Telephone*. Pada tahun 1917, Erlang memperbaiki penemuannya. Sebelum perang dunia kedua berakhir, teori ini telah diperluas penerapannya ke masalah-masalah umum dengan memasukkan faktor antre dan garis tunggu (Siswanto, 2006).

Situasi menunggu merupakan bagian dari keadaan yang terjadi dalam rangkaian kegiatan operasional yang bersifat random dalam suatu fasilitas pelayanan. Menurut Kakiay (2004), tujuan teori antrian adalah meneliti kegiatan dari fasilitas pelayanan dalam rangkaian kondisi random dari suatu sistem antrean yang terjadi. Tujuan dasar dari model-model antrean adalah meminimumkan sekaligus dua jenis biaya, yaitu biaya langsung untuk menyediakan pelayanan dan biaya individu yang menunggu untuk memperoleh pelayanan. Perbedaan antara jumlah permintaan terhadap fasilitas pelayanan dan kemampuan fasilitas untuk melayani menimbulkan dua konsekuensi yaitu timbulnya antrean dan timbulnya pengangguran kapasitas.

Menurut Kakiay (2004), proses antrean dimulai saat pelanggan-pelanggan yang memerlukan pelayanan mulai datang. Mereka berasal dari suatu populasi yang disebut *sumber masukan*. Proses antrean sendiri merupakan suatu proses yang berhubungan dengan kedatangan pelanggan pada suatu fasilitas pelayanan, menunggu dalam baris antrean jika belum dapat dilayani, dilayani dan akhirnya meninggalkan fasilitas tersebut sesudah dilayani. Sedangkan sistem antrean adalah suatu himpunan pelanggan, pelayan dan suatu aturan yang mengatur pelayanan kepada pelanggan.

2.2. Faktor Sistem Antrean

Menurut Kakiay (2004) dalam sistem antrean ada enam komponen dasar yang harus diperhatikan agar penyedia fasilitas pelayanan dapat melayani pelanggan yang berdatangan antara lain: Distribusi kedatangan; distribusi waktu pelayanan; fasilitas pelayanan; disiplin pelayanan; ukuran dalam antrean; sumber pemanggilan.

2.2.1 Distribusi Kedatangan (Pola Kedatangan)

Distribusi kedatangan dianggap mewakili situasi dimana pelanggan tersebut datang ke tempat fasilitas pelayanan. Distribusi kedatangan terbagi menjadi dua, yaitu kedatangan secara individu (*single arrival*) dan kedatangan secara kelompok (*bulk arrivals*). Menurut Kakiay (2004), kedua komponen ini harus mendapat perhatian yang memadai di saat

pendesainan sistem pelayanan. Pola kedatangan pelanggan biasanya diperhitungkan melalui waktu antar kedatangan, yaitu waktu antar kedatangan dua pelanggan yang berurutan pada suatu fasilitas pelayanan.

Bila bentuk kedatangan ini tidak disebut secara khusus, maka dianggap pelanggan tiba satu per satu. Asumsinya ialah kedatangan pelanggan mengikuti suatu distribusi probabilitas tertentu. Distribusi probabilitas yang sering digunakan adalah distribusi poisson. Asumsi distribusi Poisson menunjukkan bahwa kedatangan pelanggan sifatnya acak dan mempunyai rata-rata kedatangan sebesar λ . Bila kedatangan individu-individu mengikuti suatu distribusi Poisson, maka waktu antar kedatangan (*interarrival time*) adalah random dan mengikuti distribusi Eksponensial (Kakiay, 2004)

2.2.2 Distribusi Waktu Pelayanan (Pola Pelayanan)

Distribusi pelayanan ditentukan oleh waktu pelayanan, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk melayani pelanggan pada fasilitas pelayanan. Distribusi waktu pelayanan berkaitan dengan berapa banyak fasilitas pelayanan yang dapat disediakan. Distribusi waktu pelayanan terbagi menjadi dua komponen penting, yaitu

- a. Pelayanan secara individual (single service)
- b. Pelayanan secara kelompok (bulk service)

Rerata pelayanan (*mean server rate*) diberi simbol μ yang artinya merupakan jumlah pelanggan yang dapat dilayani dalam satuan waktu, sedangkan rerata waktu yang digunakan untuk melayani setiap pelanggan diberi simbol $\frac{1}{\mu}$ (Kakiay, 2004).

2.2.3 Fasilitas Pelayanan

Fasilitas pelayanan berkaitan erat dengan baris antrian yang akan dibentuk. Desain fasilitas pelayanan menurut Kakiay (2004) dapat dibagi menjadi tiga bentuk, yaitu:

- a. Bentuk *series*, dalam satu garis lurus ataupun garis melingkar.
- b. Bentuk *paralel*, dalam beberapa garis lurus dimana antara garis yang satu dengan yang lain berbentuk paralel.
- c. Bentuk *network station*, yang dapat didesain secara *series* dengan pelayanan lebih dari satu pada setiap stasiun.

2.2.4 Disiplin Pelayanan

Walaupun pola kedatangan dan pola pelayanan adalah hal yang penting dalam analisis antrian, faktor-faktor lain juga penting dalam pengembangan model-model antrian. Terdapat empat jenis disiplin antrian yang biasa terjadi dalam sistem antrian, yaitu sebagai berikut:

- a. Pertama Masuk Pertama Keluar (FCFS)
- b. Terakhir Masuk Pertama Keluar (LCFS)
- c. Pelayanan dalam Urutan Acak (SIRO)
- d. Pelayanan Berdasarkan Prioritas (PS)

2.2.5 Ukuran dalam Antrian

Menurut Kakiay (2004), besarnya antrian pelanggan yang akan memasuki fasilitas pelayanan pun perlu diperhatikan. Ukuran dalam pelayanan adalah jumlah maksimum pelanggan, mencakup yang sedang dilayani dan yang berada dalam antrian, yang dapat ditampung oleh fasilitas pelayanan pada saat yang sama. Ada dua desain yang dapat dipilih untuk menentukan besarnya antrian, yaitu:

- a. Ukuran kedatangan secara tidak terbatas (*infinite queue*)
- b. Ukuran kedatangan secara terbatas (*finite queue*)

2.2.6 Sumber Pemanggilan

Menurut Kakiay (2004), dalam fasilitas pelayanan yang berperan sebagai sumber pemanggilan dapat berupa mesin maupun manusia. Bila ada sejumlah mesin yang rusak maka sumber pemanggilan akan berkurang dan tidak dapat melayani pelanggan. Terdapat dua bentuk sumber pemanggilan, yaitu:

- a. Sumber pemanggilan terbatas (*finite calling source*)
- b. Sumber pemanggilan tidak terbatas (*infinite calling source*)

2.3 Struktur Dasar Sistem Antrean

Menurut Subagyo *et al.* (1992), ada empat model struktur antrean dasar yang umum terjadi dalam seluruh sistem antrean, antara lain:

- Satu Antrean Satu Pelayanan (*Single Channel-Single Phase*)
- Satu Antrean, Beberapa Pelayanan Seri (*Single Channel-Multiphase*)
- Satu Antrean Beberapa Pelayanan Paralel (*Multichannel-Single Phase*)
- Beberapa Antrean Beberapa Pelayanan Paralel (*Multichannel-Multiphase*)

2.4 Notasi Kendall

Pada pengelompokan model antrean yang berbeda-beda digunakan suatu notasi yang disebut dengan Notasi Kendall. Notasi yang sering dipergunakan karena beberapa alasan. Diantaranya, karena notasi tersebut merupakan alat yang efisien untuk mengidentifikasi tidak hanya model-model antrean, tetapi juga asumsi-asumsi yang harus dipenuhi (Subagyo *et al.*, 1992). Notasi baku awalnya dirancang oleh D. G. Kendal (1953) dalam bentuk $(a/b/c)$, selanjutnya A. M. Lee (1966) menambahkan unsur lainnya ke dalam notasi kendal tersebut. Format umum model:

$$(a/b/c) : (d/e/f)$$

dimana:

- a : Distribusi kedatangan (*arrival distribution*).
- b : Distribusi waktu pelayanan (*service time distribution*).
- c : Jumlah tempat pelayanan (dengan $c = 1, 2, 3, \dots, \infty$).
- d : Disiplin pelayanan misalkan FIFO, LIFO, SIRO, PRI.
- e : Jumlah maksimum pelanggan yang diizinkan dalam sistem.
- f : Sumber pemanggilan.

2.5 Ukuran Steady State

Steady state merupakan kondisi sewaktu kondisi sifat-sifat sistem tidak berubah seiring dengan berjalannya waktu, dapat didefinisikan dalam persamaan berikut:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$$

Kondisi steady state terpenuhi jika rata-rata kedatangan pelanggan yang ke tempat pelayanan tidak melebihi rata-rata pelanggan yang telah dilayani, dengan kata lain $\lambda < c\mu$. Jika $\rho < 1$ maka dapat dikatakan jika kondisi steady state terpenuhi. Menurut Taha (1996) segera setelah probabilitas *steady state* dari p_n dalam sistem ditentukan, maka dapat dihitung ukuran-ukuran steady state dari kinerja sistem antrean dengan cara yang sederhana. Ukuran-ukuran kinerja seperti ini dapat dipergunakan untuk menganalisis operasi situasi antrean untuk maksud pembuatan rekomendasi tentang rancangan sistem tersebut.

2.6 Uji Kolmogorov Smirnov

Menurut Daniel (1989), apabila sampel yang ditarik dari populasi-populasi yang tidak diketahui, maka digunakan metode-metode keselarasan (*goodness of fit*) untuk menentukan sampai seberapa jauh data sampel yang teramati cocok dengan model yang ditawarkan. Adapun langkah-langkah uji Kolmogorov Smirnov sebagai berikut:

- Menentukan Hipotesis
 - H_0 : Distribusi sampel mengikuti distribusi yang ditetapkan
 - H_1 : Distribusi sampel tidak mengikuti distribusi yang ditetapkan
- Menentukan Taraf Signifikansi
Di sini akan digunakan α
- Statistik Uji

$D = \sup |S(x) - F_0(x)|$ dengan:

$S(x)$: fungsi peluang kumulatif yang dihitung dari data sampel

$F_0(x)$: fungsi distribusi yang dihipotesiskan (fungsi peluang kumulatif)

d. Kriteria Uji

Tolak H_0 jika pada taraf signifikansi α jika nilai $D \geq$ nilai $D_{\text{tabel}} (1 - \alpha)$, atau jika nilai $\text{sig} <$ nilai α . $D_{\text{tabel}} (\alpha)$ adalah nilai kritis yang diperoleh dari tabel Kolmogorov-Smirnov.

2.7 Model Antrean (M/M/c):(GD/∞/∞)

Jika jumlah pelanggan dalam sistem adalah n sama dengan atau lebih besar dari c , maka laju keberangkatan gabungan dari sistem tersebut adalah $c\mu$. Jika n lebih kecil dari c , maka laju pelayanannya $n\mu$. Jadi dalam bentuk model yang digeneralisasi:

$$\lambda_n = \lambda, \text{ untuk semua } n \geq 0$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu, & n \leq c \\ c\mu, & n \geq c \end{cases}$$

Maka probabilitas untuk n pelanggan dapat ditulis sebagai berikut:

$$p_n = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} p_0, & 0 \leq n \leq c \\ \frac{\lambda^n}{c! c^{n-c} \mu^n} p_0, & n > c \end{cases}$$

$$p_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c!(1-\frac{\rho}{c})} \right\}^{-1}, \quad \frac{\rho}{c} < 1$$

Rumus untuk mencari ukuran-ukuran kinerja pada model antrean (M/M/c):(GD/∞/∞) adalah sebagai berikut:

$$L_q = L_q = \left[\frac{c\rho}{(c-\rho)^2} \right] \rho_c, \text{ dengan } \rho_c = \frac{\rho^c}{c!} \rho_0 \quad L_s = L_q + \rho$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

2.8 Model Antrean (G/G/c):(GD/∞/∞)

Menurut Gross dan Harris (1998), model antrean (G/G/c):(GD/∞/∞) adalah model antrean dengan pola kedatangan berdistribusi umum (*general*) dan pola pelayanan berdistribusi umum (*general*) dengan jumlah fasilitas pelayanan sebanyak c , $c = 1, 2, 3, \dots$. Rumus untuk mencari ukuran-ukuran kinerja pada model (G/G/c):(GD/∞/∞) adalah sebagai berikut :

$$L_q = \frac{\rho^{c+1}}{(c-1)!(c-\rho)^2} p_0 \frac{\mu^2 v(t) + v(t') \lambda^2}{2} = L_{qM/M/c} \frac{\mu^2 v(t) + v(t') \lambda^2}{2}$$

$$L_s = L_q + \rho \quad W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

2.9 Distribusi Lognormal

Menurut Kundu & Manglick (2004), Misalkan X adalah sebuah peubah acak dengan distribusi normal, maka $Y = \ln(X)$ memiliki distribusi log normal ($X \sim LN(\mu, \sigma^2)$) dengan parameter μ dan σ^2 dengan $-\infty < \mu < \infty$ dan $\sigma^2 > 0$, jika dan hanya jika memiliki fungsi densitas dari X didefinisikan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2}; \quad \text{untuk } x > 0$$

Dengan $E(Y) = E(\ln X) = \mu$ dan $\text{Var}(Y) = \text{Var}(\ln X) = \sigma^2$

Maka nilai rataan dan ragam berturut-turut dari distribusi lognormal sebagai berikut:

$$\mu = E[X] = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}, \text{ dan}$$

$$\sigma^2 = \text{var}(X) = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data primer yaitu data yang diperoleh dengan pengamatan dan pencatatan langsung dari obyek penelitian. Penelitian dilakukan

dengan mengambil sampel data selama 5 hari untuk gerbang tol Spondol dan 3 hari untuk gerbang tol Tembalang. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Data jumlah kedatangan kendaraan di Gerbang Tol Spondol dan Tembalang
- b. Data waktu pelayanan Gerbang Tol Spondol dan di Gerbang Tol Tembalang.

Adapun langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian dan analisis data adalah sebagai berikut:

1. Data yang diperoleh harus memenuhi kondisi *steady-state*. Jika kondisi *steady-state* tidak memenuhi, maka dapat dilakukan perubahan interval waktu. Setelah interval waktu sudah diubah, maka lakukan lagi uji kondisi *steady state*.
2. Melakukan uji kecocokan distribusi untuk kedatangan dan pengunjung terlayani dengan menggunakan uji Kolmogorov Smirnov.
3. Menentukan model antrian yang sesuai. Dilihat dari distribusi kedatangan, distribusi pelayanan, banyaknya server (jumlah pelayanan), disiplin antrian yang digunakan, kapasitas dalam sistem dan sumber pemanggilan.
4. Melakukan uji kecocokan distribusi untuk kedatangan dan pelayanan yang berdistribusi dengan menggunakan aplikasi *Sigma Magic* sebagai pemberi saran dan melakukan uji kecocokan model dengan R, kemudian melakukan simulasi model antrian dengan menggunakan aplikasi ARENA.
5. Menentukan kinerja sistem dengan menggunakan GUI MATLAB
6. Membuat hasil dan pembahasan yang diperoleh suatu model yang optimal.
7. Mengambil kesimpulan mengenai pelayanan di gerbang tol secara keseluruhan.

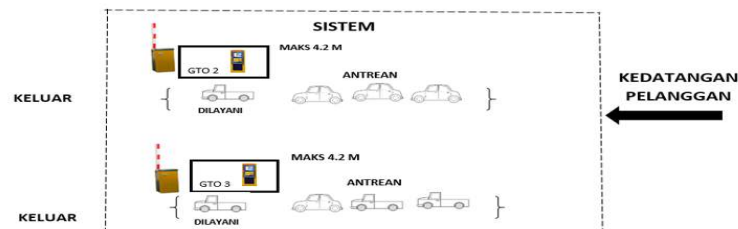
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gerbang Tol Spondol terdiri dari satu arah tujuan yaitu arah Spondol-Jatingaleh. Gerbang tol Spondol ini memiliki 4 fasilitas pelayanan yang terdiri dari 1 gardu untuk tinggi kendaraan maksimal 2,1 meter dan 3 gardu untuk tinggi kendaraan maksimal 4,2 meter



Gambar 1. Sistem Antrean Gerbang Tol Spondol

Gerbang Tol Tembalang terdiri dari satu arah tujuan yaitu arah Tembalang menuju Jatingaleh. Gerbang tol Tembalang ini memiliki 2 fasilitas yang terdiri dari 2 gardu untuk tinggi kendaraan maksimal 4,2 meter. Sistem antrian kendaraan di Gerbang Tol Spondol dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 2. Sistem Antrean Gerbang Tol Tembalang

4.1 Analisis Steady State

Perlu diketahui terlebih dahulu rata-rata kedatangan dan rata-rata pelayanan. Interval waktu yang digunakan adalah 10 menit.

Tabel 1. Analisis Steady State

Arah Tujuan	λ	μ	c	$\rho = \frac{\lambda}{c \mu}$
Spondol-Jatingaleh	85,243	85,21	4	0,250
Tembalang-Jatingaleh	50,439	50,4278	2	0,500

Dari tabel 1 diketahui bahwa tingkat kegunaan fasilitas pelayanan arah Spondol-Jatingaleh dan Tembalang-Jatingaleh kurang dari satu, sehingga dapat disimpulkan sistem pelayanan pada gardu tol otomatis sudah *steady-state*. Langkah selanjutnya adalah pengujian Distribusi

4.2.1 Uji Distribusi Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan Gerbang Tol Spondol

Berikut ini adalah hasil uji distribusi dari data Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan Gerbang Tol Spondol

Tabel 2. Uji Distribusi Data Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan

Data	D	D*(α)	p-value	Keputusan	Kesimpulan
Jumlah Kedatangan	0,163	0,0785	0,000	Ho Ditolak	Tidak Berdistribusi Poisson
Jumlah Pelayanan	0,162	0,0785	0,000	Ho Ditolak	Tidak Berdistribusi Poisson

4.2.2 Uji Distribusi Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan Gerbang Tol Tembalang

Berikut ini adalah hasil uji distribusi dari data jumlah kedatangan dan pelayanan

Tabel 3. Uji Distribusi Data Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan

Data	D	D*(α)	p-value	Keputusan	Kesimpulan
Jumlah Kedatangan	0,128	0,101	0,000	Ho Ditolak	Tidak Berdistribusi Poisson
Jumlah Pelayanan	0,180	0,101	0,000	Ho Ditolak	Tidak Berdistribusi Poisson

4.2. Model Sistem Antrean

Diperoleh dari *software Sigma Magic* dan uji Kolmogorov Smirnov di *software R*:

Tabel 4. Uji Distribusi Data Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan

Tol Spondol	D	D*(α)	p-value	Keputusan	Kesimpulan
Jumlah Kedatangan	0,031	0,0785	0,938	Ho Diterima	Berdistribusi Normal
Jumlah Pelayanan	0,029	0,0785	0,958	Ho Diterima	Berdistribusi Normal
Tol Tembalang	D	D*(α)	p-value	Keputusan	Kesimpulan
Jumlah kedatangan	0,065	0,10137	0,428	Ho Diterima	Berdistribusi Lognormal
Jumlah Pelayanan	0,081	0,10137	0,185	Ho Diterima	Berdistribusi Lognormal

Didapatkan model akhir untuk model antrean di Gerbang Tol Spondol arah Spondol-Jatingaleh adalah (NORM/NORM/4):(FIFO/ ∞/∞). Model akhir untuk model antrean di Gerbang Tol Tembalang arah Tembalang-Jatingaleh adalah (LNORM/LNORM/2):(FIFO).

4.4 Hasil Simulasi Antrean

4.4.1 Hasil Simulasi Antrean GTO Gerbang Tol Spondol

Berikut adalah hasil simulasi antrean GTO di Gerbang Tol Spondol arah Spondol-Jatingaleh

Tabel 5 Hasil Simulasi Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan Gerbang Tol spondol

Jumlah Kendaraan	Jumlah Gardu			
	2	3	4	5
<i>Number In</i>				
<i>Average</i>	7,7	7,7	7,7	7,8
<i>Maximum</i>	8	8	8	9
<i>Minimum</i>	7	7	7	7
<i>Number Out</i>				
<i>Average</i>	6,5	6,5	6,5	6,5
<i>Maximum</i>	7	7	7	7
<i>Minimum</i>	5	5	5	5

Number In adalah jumlah kedatangan kendaraan yang datang. Ketika disimulasikan untuk 2 gardu, 3 gardu, 4 gardu, dan 5 gardu dihasilkan rata-rata jumlah kendaraan yang datang setiap menit adalah 7,7 kendaraan untuk 2 gardu, 3 gardu, 4 gardu, dan 7,8 kendaraan untuk 5 gardu. Number out adalah jumlah kedatangan kendaraan yang selesai dilayani. Ketika disimulasikan untuk 2 gardu, 3 gardu, 4 gardu, dan 5 gardu dihasilkan rata-rata jumlah kendaraan yang selesai setiap menit adalah 6,5 kendaraan untuk 2 gardu, 3 gardu, 4 gardu, dan 5 gardu.

Tabel 6. Tingkat Kesibukan GTO Gerbang Tol Spondol

JUMLAH GARDU	Number Busy					Rata-Rata <i>Number Busy</i>
	Gardu 1	Gardu 2	Gardu 3	Gardu 4	Gardu 5	
2	0,3453	0,6439				0,4946
3	0,2597	0,2444	0,4902			0,3314
4	0,1871	0,1582	0,2965	0,3553		0,2492
5	0,1631	0,1400	0,1491	0,2644	0,2890	0,2000

Ketika fasilitas pelayanan hanya terdapat 2 gardu rata-rata tingkat kesibukan untuk simulasi dengan gardu adalah 49,46%. Ketika fasilitas pelayanan hanya terdapat 3 gardu maka rata-rata tingkat kesibukan untuk simulasi dengan 3 gardu adalah 33,14%. Ketika fasilitas pelayanan hanya terdapat 4 gardu rata-rata tingkat kesibukan untuk simulasi dengan 4 gardu adalah 24,92%. Ketika fasilitas pelayanan hanya terdapat 5 gardu maka rata-rata tingkat kesibukan untuk simulasi dengan 5 gardu adalah 20%.

Tabel 7. Waktu Menunggu Antrean GTO Gerbang Tol Spondol

	Jumlah Gardu			
	2	3	4	5
Gardu 1				
<i>Average</i>	1,4440	0,9067	0,9067	0,0
Gardu 2				
<i>Average</i>	8,5345	0,9146	0,5117	0,0
Gardu 3				
<i>Average</i>	-	6,0688	0,3344	0,6687
Gardu 4				
<i>Average</i>	-	-	5,0302	0,7631
Gardu 5				
<i>Average</i>	-	-	-	2,1635

4.4.2 Hasil Simulasi Antrean GTO Gerbang Tol Tembalang

Berikut adalah hasil simulasi antrean GTO di Gerbang Tol Sronдол

Tabel 8 Hasil Simulasi Jumlah Kedatangan dan Jumlah Pelayanan GTO

	Jumlah Gardu	
	2	3
<i>Number In</i>		
<i>Average</i>	155,50	155,50
<i>Maximum</i>	157	157
<i>Mininum</i>	152	152
<i>Number Out</i>		
<i>Average</i>	154,40	154,30
<i>Maximum</i>	156	156
<i>Minimum</i>	151	151

Number In adalah jumlah kedatangan kendaraan yang datang. Ketika disimulasikan untuk 2 gardu dan 3 gardu dihasilkan rata-rata jumlah kendaraan yang datang setiap menit adalah 155,50 kendaraan untuk 2 gardu dan 3 gardu. Number out adalah jumlah kedatangan kendaraan yang selesai dilayani. Ketika disimulasikan untuk 2 gardu dan 3 gardu dihasilkan rata-rata jumlah kendaraan yang selesai setiap menit adalah 154,40 kendaraan untuk 2 gardu dan 154,30 kendaraan untuk 3 gardu.

Tabel 9. Tingkat Kesibukan GTO Gerbang Tol Tembalang

JUMLAH GARDU	Number Busy			Rata-Rata Number Busy
	Gardu 1	Gardu 2	Gardu 3	
2	0,4998	0,4994		0,499
3	0,3290	0,3185	0,3515	0,333

Ketika fasilitas pelayanan hanya terdapat 2 gardu maka rata-rata tingkat kesibukan untuk simulasi dengan 2 gardu adalah 49,99%. Ketika fasilitas pelayanan hanya terdapat 3 gardu maka rata-rata tingkat kesibukan untuk simulasi dengan 3 gardu adalah 33,33%.

Tabel 10. Waktu Menunggu Antrean GTO Gerbang Tol Tembalang

	Jumlah Gardu	
	2	3
Gardu 1		
<i>Average</i>	0,4998	0,06098601
Gardu 2		
<i>Average</i>	0,4994	0,08259092
Gardu 3		
<i>Average</i>	-	0,08413836

4.5 Analisis Ukuran Kinerja Sistem Antrean

Setelah dilakukan analisis *steady state* dan uji kecocokan model, langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis kinerja sistem antrean dengan menggunakan program GUI MATLAB akan diperoleh tabel hasil akhir antrean sebagai berikut:

Tabel 11. Perolehan Hasil Akhir Analisis Antrean

	c	λ	μ	L_q	L_s	W_q	W_s	ρ_0
Tol Sronдол	4	85,243	85,21	43,662	44,662	0,512	0,524	0,367
Tol Tembalang	2	50,439	50,428	172,197	173,198	3,414	3,434	0,333

KESIMPULAN

1. Data jumlah kedatangan dan jumlah pelayanan oleh GTO di Gerbang Tol Sronдол dan di Gerbang Tol Tembalang memenuhi distribusi nonpoisson. Oleh sebab itu, dapat ditentukan bahwa model sistem antrean untuk GTO di Gerbang Tol Sronдол adalah (G/G/4):(FIFO/ ∞/∞) dan model sistem antrean untuk GTO di Gerbang Tol Tembalang adalah (G/G/2):(FIFO/ ∞/∞). Notasi model ini menginterpretasikan bahwa distribusi jumlah kedatangan dan jumlah pelayanan kendaraan adalah *General*.
2. Pengujian kecocokan distribusi dengan menggunakan aplikasi *Sigma Magic* dan *R* menghasilkan model antrean (Norm/Norm/4):(FIFO/ ∞/∞) untuk Gerbang Tol Sronдол yang sesuai dengan kondisi fasilitas pelayanan.
3. Pengujian kecocokan distribusi menggunakan aplikasi *Sigma Magic* dan *R* menghasilkan model antrean (LNORM/LNORM/2):(FIFO/ ∞/∞) untuk Gerbang Tol Tembalang
4. Pada jumlah kedatangan dan jumlah pelayanan kendaraan model antrean di Gerbang Tol Sronдол dan Tol Tembalang menunjukkan bahwa penambahan jumlah gardu mengurangi waktu menunggu kendaraan dalam antrean dan menyebabkan penurunan tingkat kesibukan pada masing-masing gardu pelayanan.
5. Secara keseluruhan pelayanan di Gerbang Tol Sronдол arah Sronдол-Jatingaleh dengan 4 fasilitas pelayanan GTO sudah optimal dan jika hanya terdapat 3 GTO juga dapat dikatakan pelayanan cukup optimal
6. Secara keseluruhan pelayanan di Gerbang Tol Tembalang arah Tembalang-Jatingaleh dengan 2 fasilitas pelayanan GTO memberikan pelayanan yang sudah optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminudin. 2005. *Prinsip-Prinsip Riset Operasi*. Jakarta: Erlangga
- Arifin, M. 2009. *Simulasi Sistem Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Daniel, W. W. 1989. *Statistik Nonparametrik Terapan (terjemahan)*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Gross, D and Harris, C. M. 1998. *Fundamental of Queueing Theory: Third Edition*. New York: John Willey and Sons, Inc.
- Kakiay, T. J. 2004. *Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata*. Yogyakarta: Andi.
- Kundu, D. dan Manglick, A. 2004. *Discriminating Beetween The Weibull and Log-normal Distribution*. Journal of Applied Statistical Sciences
- Siagian, P. 1987. *Penelitian Operasional: Teori dan Praktek*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Siswanto, 2006, *Operations Research*, Jilid 2, Jakarta: Erlangga
- Subagyo, P. Asri M. dan Handoko T. H. 1992. *Dasar-dasar Operation Research*. Yogyakarta: BPFE
- Sugito, dan Mukid, M.A. 2011. *Distribusi Poisson dan Distribusi Ekponensial dalam Proses Stokastik*. Semarang: Jurnal Media Statistika Vol. 4, No. 2, Desember 2011:113-120
- Taha, H. A. 1996. *Riset Operasi: Jilid Dua*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Tamin, O. Z. 1997. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: ITB
- Walpole, R.E. dan Myers, R. H. 2012. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Pearson Education, Inc. Boston
- Yunita, N.W. 2017. "Semarang Penyangga Utama Pertumbuhan Ekonomi Jateng". *detikfinance*, 14 Juni 2017.