

Evaluasi Kinerja Gardu Tol pada Gerbang *Exit* Tol Waru Utama

Khoirus Syahira¹, Nugroho Utomo²

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia
(¹1653010009@student.upnjatim.ac.id; ²nugroho.ts@upnjatim.ac.id)

ABSTRAK

Jalan tol dapat diakses dengan membayar tol yang telah ditentukan sesuai golongan kendaraan yang dipebolehkan melintas. Namun, proses pembayaran tol menjadi salah satu penyebab antrian yang terjadi di gerbang tol dan bisa menyebabkan kemacetan. Pada penelitian ini, objek penelitian adalah antrian di Gerbang *Exit* Tol Waru Utama. Gerbang *Exit* Tol Waru Utama merupakan bagian dari ruas jalan Tol Surabaya-Gempol, memiliki 10 gardu tol, 7 gardu merupakan *exit* dari arah Gempol dengan pola pelayanan tunggal (*Single Channel*) dan 3 gardu dari arah Tanjung Perak tanpa transaksi. Gerbang tol ini mengalami antrian kendaraan lebih dari 1 kilometer pada jam puncak. Analisis yang dilakukan adalah analisis komponen antrian (tingkat kedatangan (λ), tingkat keberangkatan (μ), dan waktu pelayanan) menggunakan metode M/M/N. Hasil evaluasi yang dilakukan pada 14-20 desember 2020 adalah pada tanggal 14 Desember sesi pagi di gardu 2, 4, 12 *counter* pembayaran menjadi 2 server sedangkan pada sesi sore di gardu 4 menjadi 2 server, pada 15 Desember sesi pagi di gardu 2 menjadi 2 server dan di gardu 8 menjadi 3 server sedangkan pada sesi sore di gardu 2, 4, 8 menjadi 2 server, pada 16 Desember sesi pagi di gardu 8 menjadi 2 server sedangkan pada sesi sore di gardu 12 menjadi 3 server, pada 17 Desember sesi pagi di gardu 4 dan 8 menjadi 2 server sedangkan pada sesi sore di gardu 2, 4, 8 menjadi 2 server. Hasil ini dipertimbangkan dengan tingkat keberangkatan dan waktu pelayanan kendaraan yang menghasilkan penambahan server dilakukan pada gardu 16 dan gardu 2

Kata Kunci: Antrian, Evaluasi Antrian, Gerbang Tol, Penambahan Gardu Tol

ABSTRACT

Highway can be accessed by paying toll according to the class of vehicles allowed to pass. However, the toll payment process is one of the causes of queues that may occur at toll gates and can cause congestion. In this study, the object of research is the queue at Gerbang Exit Tol Waru Utama. Gerbang Exit Tol Waru Utama is part of Surabaya-Gempol toll road, it has 10 toll booths, 7 booths are exits from Gempol with a single service pattern (*Single Channel*) and 3 booths from Tanjung Perak without transactions. This toll gate experiences a queue more than 1 kilometer at peak hours. The analysis carried out the analysis of queuing components (arrival rate (λ), departure rate (μ), and service time) using the M/M/N method. The results of the evaluation carried out on 14-20 December 2020 were on December 14 the morning session at booth 2, 4, 12 payment counters became 2 servers while the afternoon session at booth 4 became 2 servers, on December 15 the morning session at booth 2 became 2 servers and at substation 8 became 3 servers while in the afternoon session at booth 2, 4, 8 became 2 servers, on December 16 the morning session at booth 8 became 2 servers while in the afternoon session at booth 12 became 3 servers, on December 17 the morning session at booth 4 and 8 it becomes 2 servers while in the afternoon session at booth 2, 4, 8 it becomes 2 servers. This result is considered by the departure rate and vehicle service time which results in additional servers being carried out at booth 16 and booth 2 .

Keywords: Queue, Queue Evaluation, Toll Gate, Extended Toll Booth

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat bermobilitas di darat dapat menyebabkan banyaknya moda transportasi yang mengantri di jalan sehingga tak jarang menyebabkan

antrian atau kemacetan. Salah satu solusi untuk mengatasi kemacetan pada jaringan jalan raya adalah jalan tol. Jalan tol atau jalan bebas hambatan merupakan jalan menerus terbagi atau tak terbagi yang jalan

masuknya dikendalikan sepenuhnya oleh sebuah badan usaha [1]. Pada jalan tol, tidak terdapat hambatan samping yang berarti dapat memberikan keleluasaan pada pengemudi untuk bergerak dengan kecepatan maksimal yang sudah ditentukan dan diharapkan tidak terjadi kejenuhan lalu lintas atau kepadatan pada setiap lajur yang disediakan [2].

Antrian adalah barisan dari sekumpulan orang yang menunggu untuk menggunakan fasilitas atau dilayani oleh sebuah sistem secara bergantian [3]. Antrian di jalan tol dapat terjadi karena kecelakaan, volume kendaraan yang melebihi kapasitas, dan antrian pada gerbang tol untuk membayar tol [4] sehingga menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia nomor 16/PRT/M/2017 tentang Transaksi Tol Non-Tunai di Jalan Tol, sejak 31 Oktober 2017 metode pembayaran tol diubah menjadi non-tunai dengan menggunakan kartu uang elektronik atau teknologi berbasis nirsentuh.

Gerbang Tol *Exit* Waru Utama adalah salah satu gerbang tol yang sering mengalami antrian panjang. Gerbang menghubungkan jalan tol dari arah Sidoarjo ke Surabaya. Suatu antrian dapat menyebabkan kemacetan apabila antrian tersebut tidak bergerak dalam satuan waktu, maka dari itu perlu adanya evaluasi panjang antrian pada Gerbang Tol *Exit* Waru Utama.

II. METODE

Permasalahan yang dapat diambil dari pemaparan latar belakang penelitian ini adalah antrian yang terjadi pada Gerbang Tol *Exit* Waru Utama. Masalah yang diteliti pada penelitian tugas akhir ini adalah (1) panjang antrian yang terjadi pada Gerbang Tol *Exit* Waru Utama, (2) durasi pengguna jalan untuk mengantri pada sistem, (3) jumlah gardu tol yang dibuka pada jam puncak di Gerbang Tol *Exit* Waru Utama.

Data untuk menunjang penelitian yaitu data primer berupa waktu pelayanan, tingkat kedatangan kendaraan, dan tingkat keberangkatan kendaraan yang didapatkan dari survei pada 14-20 Desember 2020 di gardu 2, 4, 8, 12 Gerbang *Exit* Tol Waru Utama pukul 07.00-09.00 dan 16.00-18.00

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Pembahasan akan mengambil contoh di gardu 2 pada Selasa, 15 Desember 2020 pagi. Data yang sudah didapatkan yaitu tingkat kedatangan, tingkat keberangkatan, dan waktu pelayanan kemudian ditentukan apakah $\rho > 1$ atau $\rho < 1$. Tingkat kedatangan dianalisis dengan cara menggunakan model sebaran *Poisson*

Tingkat keberangkatan kendaraan pada 15 Desember 2020 pada sesi pagi dan sore ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tingkat Keberangkatan Kendaraan

| Tanggal | Gardu 2 | | Gardu 4 | | Gardu 8 | |
|---------|---------|-----|---------|-----|---------|-----|
| | P | S | P | S | P | S |
| 14/12 | 585 | 473 | 518 | 367 | 509 | 332 |
| 15/12 | 653 | 567 | 606 | 580 | 430 | 440 |
| 16/12 | 588 | 560 | 614 | 580 | 489 | 406 |
| 17/12 | 532 | 479 | 579 | 454 | 472 | 320 |

Sumber: Hasil Survei

Untuk mendapatkan tingkat keberangkatan (λ) per jam dilakukan perhitungan berikut

$$\lambda = \frac{\sum \text{kedatangan kendaraan}}{t_{\text{pengamatan}}} \text{ (kendaraan/jam)}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{653 \text{ kendaraan}}{2 \text{ jam}} \\ &= 326,5 \text{ kendaraan/jam} \\ &\approx 327 \text{ kendaraan/jam} \end{aligned}$$

Waktu pelayanan yang sudah didapatkan dari kegiatan survei kemudian ditentukan frekuensi dan disusun dalam tabel untuk mendapatkan waktu pelayanan rata-rata.

Waktu pelayanan yang didapatkan dari survei pada 15 Desember 2020 di gardu 2 pukul 07.00-09.00 ditunjukkan pada tabel 2 berikut

Tabel 2 Waktu Pelayanan Kendaraan di Gardu 2 pada 15 Desember 2020

| Gardu 2 | | |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Jam (Periode per 5 Menit) | Waktu Pelayanan Rata-Rata (detik) | Jumlah Kendaraan (per 5 Menit) |
| 07.00-07.05 | 10,73 | 28 Kendaraan |
| 07.05-07.10 | 12,15 | 28 Kendaraan |
| 07.10-07.15 | 12,62 | 27 Kendaraan |
| 07.15-07.20 | 12,79 | 26 Kendaraan |
| 07.20-07.25 | 11,91 | 29 Kendaraan |
| 07.25-07.30 | 11,43 | 30 Kendaraan |
| 07.30-07.35 | 12,16 | 28 Kendaraan |
| 07.35-07.40 | 12,44 | 27 Kendaraan |
| 07.40-07.45 | 11,03 | 30 Kendaraan |
| 07.45-07.50 | 12,30 | 28 Kendaraan |
| 07.50-07.55 | 13,82 | 25 Kendaraan |

| Gardu 2 | | |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Jam (Periode per 5 Menit) | Waktu Pelayanan Rata-Rata (detik) | Jumlah Kendaraan (per 5 Menit) |
| 07.55-08.00 | 12,02 | 28 Kendaraan |
| 08.00-08.05 | 14,60 | 23 Kendaraan |
| 08.05-08.10 | 11,71 | 30 Kendaraan |
| 08.10-08.15 | 14,09 | 24 Kendaraan |
| 08.15-08.20 | 16,91 | 23 Kendaraan |
| 08.20-08.25 | 12,26 | 28 Kendaraan |
| 08.25-08.30 | 12,23 | 27 Kendaraan |
| 08.30-08.35 | 12,02 | 28 Kendaraan |
| 08.35-08.40 | 12,79 | 27 Kendaraan |
| 08.40-08.45 | 11,89 | 27 Kendaraan |
| 08.45-08.50 | 11,03 | 28 Kendaraan |
| 08.50-08.55 | 11,17 | 25 Kendaraan |
| 08.55-09.00 | 12,80 | 26 Kendaraan |

Sumber: Hasil Survei

Jumlah kelas dari waktu pelayanan yang sudah ditentukan dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah kelas } (k) &= 1 + 3,3\log(n) \text{ dengan } n = \text{jumlah data} \\
 &= 1 + 3,3\log(653) \\
 &= 3,81 \\
 &\approx 4
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan panjang kelas pada penyusunan tabel waktu rata-rata menggunakan rumus 3.3 dan 3.4 berikut

$$\text{Panjang kelas} = \frac{\text{Rentang}}{\text{Jumlah Kelas}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rentang } (r) &= \text{waktu pelayanan terbesar} - \text{waktu pelayanan terkecil} \\
 &= 92,93 - 5,73 \\
 &= 87,20
 \end{aligned}$$

$$\text{Panjang kelas} = \frac{\text{Rentang}}{\text{Jumlah Kelas}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang kelas} &= \frac{87,20}{4} \\
 &= 22,86 \\
 &\approx 23
 \end{aligned}$$

Sehingga hasil waktu pelayanan berdasarkan jumlah dan panjang kelas ditampilkan pada tabel3 berikut

Tabel 3 Kelas Waktu Pelayanan Hasil Survei di Gardu 2 pada 15 Desember 2020 Pagi

| No | Waktu Pelayanan (WP) | Nilai Tengah (Xi) | Frekuensi (Fi) | Xi.Fi |
|----|----------------------|-------------------|----------------|--------|
| 1 | 0 -23 | 11,5 | 625 | 7187,5 |
| 2 | 24 - 46 | 35,5 | 25 | 887,5 |
| 3 | 47 - 69 | 59,5 | 2 | 119 |
| 4 | 70 - 93 | 83,5 | 1 | 83,5 |
| | | | 653 | 8277,5 |

Sumber: Hasil Survei

Untuk mendapatkan rata-rata waktu pelayanan pada Gardu 2 menggunakan rumus 3.5 berikut

$$\begin{aligned}
 \text{mean} &= \frac{\sum Xi.Fi}{\sum Fi} \\
 &= \frac{8277,5}{653} \\
 &= 12,68 \text{ detik/kendaraan}
 \end{aligned}$$

Untuk tingkat pelayanan rata-rata pada Gardu 2 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{3600}{\text{Mean total gardu}} \text{ (kendaraan/jam)} \\
 \mu &= \frac{3600}{12,68} \\
 &= 283,91 \text{ kendaraan/jam} \\
 &\approx 284 \text{ kendaraan/jam}
 \end{aligned}$$

Tingkat pelayanan rata-rata dan tingkat keberangkatan pada Gardu 2 yang sudah didapatkan nilainya kemudian digunakan untuk mencari nilai ρ . Perhitungan menggunakan persamaan 2.7 berikut

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{327}{284} \\
 &= 1,15 \text{ yang berarti } \rho > 1
 \end{aligned}$$

Hasil yang didapatkan menyatakan bahwa pada pelayanan Gardu 2 terjadi antrian sehingga gardu 2 membutuhkan tempat pelayanan atau gardu lebih dari 1. Percobaan menggunakan pelayanan 2 gardu tol disubstitusikan pada persamaan 2.7 berikut

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \text{ dengan } N=\text{jumlah gardu tol}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{327 / 2}{284} \\
 &= 0,58 \text{ yang berarti } \rho < 1
 \end{aligned}$$

Hasil $\rho < 1$ menyatakan bahwa hasil dengan menggunakan 2 gardu pada Gardu 2 tidak menyebabkan antrian panjang

Untuk menghitung panjang kendaraan yang mengantri menggunakan \bar{q} pada persamaan 2.26

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$$

$$\bar{q} = \frac{0,58^2}{(1 - 0,58)}$$

$$= 0,81 \text{ kendaraan}$$

$$\approx 1 \text{ kendaraan}$$

Jumlah kendaraan yang berada pada antrian dengan 2 gardu tol yang dibuka sebanyak 1 kendaraan, hal ini sesuai dengan standar dari Departemen Pekerjaan PU yaitu kendaraan per gardu maksimal 3 kendaraan. Pada gardu 2 kendaraan yang boleh melintas adalah kendaraan dengan tinggi maksimal 2,1 meter yang berarti kendaraan golongan 1. Kendaraan golongan 1 yang terpanjang berupa minibus dengan panjang 5 meter, sehingga panjang antrian yang terjadi di gardu 2 sebagai berikut
1 kendaraan x 5 meter = 5 meter

Durasi rata-rata pengguna jalan tol mengantri dalam sistem dapat dihitung dengan rumus 2.27 berikut

$$\bar{d} = \frac{1}{(\mu - \lambda)}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{(284 - (327/2))}$$

$$= 0,0083 \text{ jam/kendaraan}$$

$$= 29,88 \text{ detik/kendaraan}$$

Untuk menghitung waktu tunggu rata-rata pengguna jalan tol mengantri hingga dilayani menggunakan persamaan dari pelayanan *Single Channel Single Phase* yang merupakan model pelayanan yang digunakan pada Gerbang Tol *Exit* Waru Utama. Persamaan yang digunakan sebagai 2.28 berikut

$$W = \frac{1}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$W = \frac{1}{284(284 - (327/2))}$$

$$= 0,0000292 \text{ jam/kendaraan}$$

$$= 0,11 \text{ detik/kendaraan}$$

Dari panjang antrian dan waktu rata-rata pengguna jalan tol mengantri, dengan menambahkan gardu tol menjadi 2 gardu tol pada Gardu 2 terdapat antrian 1 kendaraan dengan waktu tunggu rata-rata sejak menunggu hingga dilayani selama 0,11 detik

3. 2 Pembahasan

Dari perhitungan yang sudah dijabarkan, penambahan gardu dipertimbangkan dari waktu pelayanan, tingkat keberangkatan kendaraan, dan tingkat kedatangan kendaraan. Tingkat kedatangan di gardu 2 pada 15 Desember 2020 pagi ditunjukkan pada tabel 4 berikut

Tabel 4 Tingkat Kedatangan Kendaraan pada 15 Desember 2020

| JAM | GARDU | | | |
|-------------|-------|----|---|----|
| | 2 | 4 | 8 | 12 |
| 07.00-07.05 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 07.05-07.10 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 07.10-07.15 | 4 | 6 | 4 | 2 |
| 07.15-07.20 | 3 | 6 | 4 | 1 |
| 07.20-07.25 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 07.25-07.30 | 6 | 6 | 4 | 0 |
| 07.30-07.35 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 07.35-07.40 | 3 | 5 | 0 | 5 |
| 07.40-07.45 | 9 | 12 | 4 | 3 |
| 07.45-07.50 | 14 | 12 | 9 | 6 |
| 07.50-07.55 | 7 | 7 | 3 | 0 |
| 07.55-08.00 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 08.00-08.05 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| 08.05-08.10 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 08.10-08.15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 08.15-08.20 | 7 | 5 | 6 | 3 |
| 08.20-08.25 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| 08.25-08.30 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 08.30-08.35 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 08.35-08.40 | 4 | 4 | 1 | 0 |
| 08.40-08.45 | 12 | 12 | 6 | 5 |
| 08.45-08.50 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 08.50-08.55 | 6 | 5 | 3 | 2 |
| 08.55-09.00 | 2 | 0 | 0 | 0 |

Sumber: Hasil Survei

Pada tabel ditunjukkan antrian yang terjadi pada tiap 5 menit di gardu 2 yang lebih dari 3 kendaraan. Waktu pelayanan kendaraan rata-rata menunjukkan bahwa kendaraan cukup lama dalam melakukan transaksi. Tingkat keberangkatan kendaraan menunjukkan bahwa kendaraan yang berhasil melakukan transaksi sebanyak 635 kendaraan. Dari data tersebut, menunjukkan bahwa gardu 2 membutuhkan tambahan counter atau server agar dapat melayani kendaraan yang melintas tanpa mengakibatkan antrian panjang.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan di Gerbang *Exit* Tol Waru Utama, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Probabilitas antrian yang terjadi pada 14 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 4 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 8 sepanjang 6 kendaraan atau 120

meter, di gardu 12 sepanjang 2 kendaraan atau 40 meter. Pada 15 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 4 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 8 sepanjang 3 kendaraan atau 60 meter, di gardu 12 sepanjang 7 kendaraan atau 140 meter. Pada 16 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 sepanjang 3 kendaraan atau 15 meter, di gardu 4 sepanjang 3 kendaraan atau 15 meter, di gardu 8 sepanjang 4 kendaraan atau 80 meter, di gardu 12 sepanjang 2 kendaraan atau 40 meter. pada 17 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 4 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 8 sepanjang 1 kendaraan atau 20 meter, di gardu 12 sepanjang 2 kendaraan atau 40 meter. Probabilitas antrian yang terjadi pada 14 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 4 sepanjang 2 kendaraan atau 10 meter, di gardu 8 sepanjang 1 kendaraan atau 20 meter, di gardu 12 sepanjang 4 kendaraan atau 80 meter. Pada 15 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 4 sepanjang 1 kendaraan atau 5 meter, di gardu 8 sepanjang 2 kendaraan atau 40 meter, di gardu 12 sepanjang 9 kendaraan atau 180 meter. Pada 16 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sepanjang 3 kendaraan atau 15 meter, di gardu 4 sepanjang 2 kendaraan atau 10 meter, di gardu 8 sepanjang 4 kendaraan atau 80 meter, di gardu 12 sepanjang 3 kendaraan atau 60 meter. pada 17 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sepanjang 3 kendaraan atau 15 meter, di gardu 4 sepanjang 7 kendaraan atau 35 meter, di gardu 8 sepanjang 6 kendaraan atau 120 meter, di gardu 12 sepanjang 3 kendaraan atau 60 meter. Sehingga gardu yang memenuhi standar dari Departemen Pekerjaan Umum adalah gardu 2, 4, 8, dan 12

- Durasi pengemudi mengantri di Gerbang *Exit* Tol Waru Utama pada 14 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 adalah 52,56 detik, di gardu 4 adalah 51,84 detik, di gardu 8 adalah 92,16 detik, di gardu 12 adalah 39,6 detik. Pada 15 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 adalah 29,88 detik, di gardu 4 adalah 31,57 detik, di gardu 8 adalah 94,48 detik, di gardu 12 adalah 138,24 detik. Pada 16 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 adalah 39,13 detik, di gardu 4 adalah 33,96 detik, di gardu 8 adalah 126 detik, di gardu 12 adalah 33,33 detik. Pada 17 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 adalah 14,82 detik, di gardu 4 adalah 33,48 detik, di gardu 8 adalah 43,2 detik, di gardu 12 adalah 34,95 detik. Durasi pengemudi mengantri di Gerbang *Exit* Tol Waru Utama pada 14 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 adalah 20,88 detik, di gardu 4 adalah 61,20 detik, di gardu 8 adalah 25,52 detik, di gardu 12 adalah 109,08 detik. Pada 15 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 adalah 22,68 detik, di gardu 4 adalah 25,52 detik, di gardu 8 adalah 85,67 detik, di gardu 12

adalah 189,36 detik. Pada 16 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 adalah 48,96 detik, di gardu 4 adalah 24,48 detik, di gardu 8 adalah 81,27 detik, di gardu 12 adalah 216 detik. Pada 17 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 adalah 97,20 detik, di gardu 4 adalah 198 detik, di gardu 8 adalah 276,84 detik, di gardu 12 adalah 74,88 detik.

- Jumlah server yang dibuka di Gerbang *Exit* Tol Waru Utama pada 14 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 sebanyak 2 sever, di gardu 4 sebanyak 2 server, di gardu 8 sebanyak 1 server, di gardu 12 sebanyak 2 server. Pada 15 Desember 2020 Sesi pagi di gardu 2 sebanyak 2 server, di gardu 4 sebanyak 1 server, di gardu 8 sebanyak 3 server, di gardu 12 sebanyak 1 server. Pada 16 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 sebanyak 1 server, di gardu 4 sebanyak 1 server, di gardu 8 sebanyak 2 server, di gardu 12 sebanyak 1 server. Pada 17 Desember 2020 Sesi Pagi di gardu 2 sebanyak 1 server, di gardu 4 sebanyak 2 server, di gardu 8 sebanyak 2 server, di gardu 12 sebanyak 1 server. Jumlah server yang dibuka di Gerbang *Exit* Tol Waru Utama pada 14 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sebanyak 1 server, di gardu 4 sebanyak 2 server, di gardu 8 sebanyak 1 server, di gardu 12 sebanyak 1 server. Pada 15 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sebanyak 2 server, di gardu 4 sebanyak 2 server, di gardu 8 sebanyak 2 server, di gardu 12 sebanyak 1 server. Pada 16 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sebanyak 1 server, di gardu 4 sebanyak 1 server, di gardu 8 sebanyak 1 server, di gardu 12 sebanyak 3 server. Pada 17 Desember 2020 Sesi Sore di gardu 2 sebanyak 2 server, di gardu 4 sebanyak 2 server, di gardu 8 sebanyak 2 server, di gardu 12 sebanyak 1 server.
- Penambahan *counter* pelayanan pada gardu tol di Gerbang Tol *Exit* Waru Utama setelah dilakukan evaluasi yaitu *counter* pada gardu 16 sebanyak 2 *counter* dan gardu 2 sebanyak 2 *counter*. Penambahan *counter* ini dilihat dan dipertimbangkan dari Tingkat Keberangkatan Kendaraan dan Waktu Pelayanan Kendaraan saat terjadi COVID-19. Pada gardu 2 dan 4 yang lebih sibuk dari gardu 8 dan gardu 12. Server tambahan diletakkan pada gardu 16 untuk mempermudah akses kendaraan golongan 1 di masa mendatang.

Kesimpulan dari hasil perhitungan ditampilkan pada tabel 5 dan tabel 6 berikut

Tabel 5 Hasil Analisis dan Perhitungan untuk Evaluasi Kinerja Gardu tol di Gerbang *Exit* Waru Utama pada Sesi Pagi

| Tanggal | Gardu | Panjang Antrian | | Durasi Mengantri (Detik) | Jumlah Server |
|---------|-------|-----------------|---------|--------------------------|---------------|
| | | (Kendaraan) | (Meter) | | |

| Tanggal | Gardu | Panjang Antrian | | Durasi Mengantri (Detik) | Jumlah Server |
|------------------|-------|-----------------|---------|--------------------------|---------------|
| | | (Kendaraan) | (Meter) | | |
| 14 Desember 2020 | 2 | 1 | 5 | 52,56 | 2 |
| 15 Desember 2020 | 4 | 1 | 5 | 51,84 | 2 |
| | 8 | 6 | 120 | 92,16 | 1 |
| | 12 | 2 | 0 | 39,6 | 2 |
| 16 Desember 2020 | 2 | 1 | 5 | 29,88 | 2 |
| | 4 | 1 | 5 | 31,57 | 1 |
| | 8 | 3 | 60 | 94,48 | 3 |
| 17 Desember 2020 | 12 | 7 | 140 | 138,24 | 1 |
| | 2 | 3 | 15 | 39,13 | 1 |
| | 4 | 3 | 15 | 33,96 | 1 |
| 17 Desember 2020 | 8 | 4 | 80 | 126 | 2 |
| | 12 | 2 | 40 | 33,33 | 1 |
| | 2 | 1 | 5 | 14,82 | 1 |
| 17 Desember 2020 | 4 | 1 | 5 | 33,48 | 2 |
| | 8 | 1 | 20 | 43,2 | 2 |
| | 12 | 2 | 40 | 34,95 | 1 |

Tabel 6 Hasil Analisis dan Perhitungan untuk Evaluasi Kinerja Gardu tol di Gerbang Exit Waru Utama pada Sesi Sore

| Tanggal | Gardu | Panjang Antrian | | Durasi Mengantri (Detik) | Jumlah Server |
|------------------|-------|-----------------|---------|--------------------------|---------------|
| | | (Kendaraan) | (Meter) | | |
| 14 Desember 2020 | 2 | 1 | 5 | 20,88 | 1 |
| 15 Desember 2020 | 4 | 2 | 10 | 61,2 | 2 |
| | 8 | 1 | 20 | 25,52 | 1 |
| | 12 | 4 | 80 | 109,08 | 1 |
| 16 Desember 2020 | 2 | 1 | 5 | 22,68 | 2 |
| | 4 | 1 | 5 | 25,52 | 2 |
| | 8 | 2 | 40 | 85,68 | 2 |
| 17 Desember 2020 | 12 | 9 | 180 | 189,36 | 1 |
| | 2 | 3 | 15 | 48,96 | 1 |
| | 4 | 2 | 10 | 24,48 | 1 |
| 17 Desember 2020 | 8 | 4 | 80 | 81,27 | 1 |
| | 12 | 3 | 60 | 216 | 3 |
| | 2 | 3 | 15 | 97,2 | 2 |
| 17 Desember 2020 | 4 | 7 | 35 | 198 | 2 |
| | 8 | 6 | 120 | 276,84 | 2 |
| | 12 | 3 | 60 | 74,88 | 1 |

Sumber: Hasil Perhitungan

UCAPAN TERIMA KASIH

PT. Jasa Marga Surabaya – Gempol

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Bina Jalan Kota, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997.
- [2] M. Ridha, R. J. Sumabrata, and M. L. Siregar, "Kajian Karakteristik Lalu-Lintas Di Jalan Tol Serta Korelasi Dengan Pola Kecelakaan," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 26, no. 1, pp. 67–80, 2014AD.
- [3] U. N. Bath, *An Introduction to Queueing Theory: Modeling and Analysis in Application*. Boston: Birkhauser, 2008.
- [4] N. J. Garber and L. A. Hoel, *Traffic and Highway Engineering Fourth Edition*. Toronto: Cengage Learning, 2009.
- [5] Badan Pengatur Jalan Tol, "Jalan Tol Beroperasi," 2019. <http://bpjt.pu.go.id/konten/progress/beroperasi> (accessed Jan. 25, 2020).
- [6] Suryana, *Metodologi Penelitian*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2010.
- [7] O. Z. Tamin, *Perencanaan, Permodelan, dan Rekayasa Transportasi*. Bandung: Penerbit ITB, 2008.
- [8] Badan Pengatur Jalan Tol, "Sejarah alan Tol," 2019. <http://bpjt.pu.go.id/konten/jalan-tol/sejarah> (accessed Jan. 24, 2020).
- [9] Badan Pengatur Jalan Tol, "Tujuan dan Manfaat Jalan Tol," 2019. <http://bpjt.pu.go.id/konten/jalan-tol/tujuan-dan-manfaat> (accessed Jan. 25, 2020).
- [10] M. A. Anthara, "Analisis Sistem Antrian di Gerbang Tol Pasteur Bandung di PT Jasa Marga (Persero) Tbk.," *Maj. Ilm. Unikom*, vol. 12, no. 1, pp. 25–35, 2014.
- [11] D. Nugraha, Sugito, and D. Ispriyanti, "Penentuan Model Sistem Antrean Kendaraan di Gerbang Tol Banyumanik Semarang," *J. Gaussian*, vol. Volume 2, pp. 97–98, 2013.
- [12] M. F. Pradana, D. E. Intari, and F. Kurniawan, "Perencanaan Ulang Kebutuhan Gardu Tol Pada Gerbang Tol Cikande," *J. Fondasi*, vol. 5, no. 2, pp. 78–89, 2017.