

# Evaluasi Kinerja Pelayanan Gerbang Tol Marelان Berdasarkan Model Antrian *First In First Out (FIFO)*

*Evaluation of Service Performance at Marelان Toll Gate Using the First In First Out (FIFO) Queuing Model*

Liza Evianti Tanjung<sup>1\*</sup>, Salsa Al-Kahfi<sup>2</sup>, Muhammad Husin Gultom<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia  
<sup>2</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia  
Email:<sup>1\*</sup>[lizaeviantitanjung@umsu.ac.id](mailto:lizaeviantitanjung@umsu.ac.id), <sup>2</sup>[alkahfi1302@gmail.com](mailto:alkahfi1302@gmail.com),  
<sup>3</sup>[m.husingultom@umsu.ac.id](mailto:m.husingultom@umsu.ac.id)

## Abstrak

Pertumbuhan jumlah kendaraan yang pesat di kawasan perkotaan menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan sistem transportasi yang efisien. Jalan tol merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan mobilitas dan mengurangi kemacetan pada jaringan jalan utama. Namun demikian, kemacetan sering terjadi pada area gerbang tol akibat ketidakseimbangan antara tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gardu tol. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas dan kinerja pelayanan Gerbang Tol Marelان di Kota Medan menggunakan pendekatan teori antrian. Data penelitian diperoleh melalui survei lapangan untuk mengetahui tingkat kedatangan kendaraan dan waktu pelayanan pada jam sibuk. Analisis dilakukan menggunakan model antrian dengan disiplin pelayanan FIFO (First In First Out). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan setiap gardu tol sekitar 214 kendaraan per jam. Pada kondisi jam sibuk, tingkat kedatangan kendaraan mendekati kapasitas pelayanan sehingga menyebabkan terbentuknya antrian kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan efisiensi sistem pelayanan melalui optimalisasi jumlah gardu tol serta penggunaan sistem transaksi tol elektronik untuk meningkatkan kinerja pelayanan gerbang tol.

**Kata kunci:** jalan tol, teori antrian, kapasitas pelayanan, transportasi perkotaan

## Abstract

The rapid growth of vehicle numbers in urban areas has increased the need for efficient transportation systems. Toll roads are one solution to enhance mobility and reduce congestion on primary road networks. However, congestion frequently occurs at toll gate areas due to an imbalance between vehicle arrival rates and toll booth service rates. This study aims to analyze the capacity and service performance of the Marelان Toll Gate in Medan City using a queuing theory approach. Data were collected through field surveys to determine vehicle arrival rates and service times during peak hours. The analysis was conducted using a queuing model with a FIFO (First In, First Out) service discipline. The results indicate that each toll booth's service capacity is approximately 214 vehicles per hour. During peak conditions, the arrival rate approaches the service capacity, resulting in vehicle queues. Therefore, improving service efficiency requires optimizing the number of toll booths and implementing electronic toll collection systems to enhance overall toll gate performance.

**Keywords:** toll roads, queuing theory, service capacity, urban transportation

## **1. PENDAHULUAN**

Transportasi merupakan salah satu sektor penting yang berperan dalam mendukung aktivitas ekonomi dan mobilitas masyarakat. Perkembangan wilayah perkotaan yang pesat menyebabkan peningkatan kebutuhan terhadap sistem transportasi yang mampu melayani pergerakan kendaraan secara efisien. Pertumbuhan kendaraan yang tinggi seringkali tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas infrastruktur jalan sehingga menimbulkan permasalahan kemacetan lalu lintas [1], [2]. Salah satu solusi yang dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas jaringan jalan adalah pembangunan jalan tol. Jalan tol merupakan jalan bebas hambatan yang dirancang untuk mempercepat pergerakan kendaraan serta meningkatkan efisiensi perjalanan antarwilayah. Infrastruktur ini diharapkan mampu mengurangi kemacetan pada jaringan jalan utama serta meningkatkan mobilitas masyarakat [3]. Namun, dalam operasionalnya, kemacetan masih sering terjadi pada area gerbang tol akibat proses transaksi pembayaran tol yang menyebabkan terbentuknya antrean kendaraan. Kondisi ini terjadi ketika tingkat kedatangan kendaraan lebih besar daripada tingkat pelayanan gardu tol. Fenomena tersebut dapat dianalisis menggunakan pendekatan teori antrean yang mempelajari hubungan antara kedatangan pelanggan dan kapasitas pelayanan dalam suatu sistem pelayanan [3]. Teori antrean telah banyak digunakan dalam penelitian transportasi untuk menganalisis kemacetan pada fasilitas pelayanan lalu lintas seperti gerbang tol, persimpangan, terminal, dan stasiun transportasi lainnya [4]. Dalam sistem pelayanan gerbang tol, parameter penting yang memengaruhi kinerja pelayanan antara lain tingkat kedatangan kendaraan, waktu pelayanan transaksi, serta jumlah gardu pelayanan yang tersedia. Gerbang Tol Marelان merupakan salah satu akses penting yang menghubungkan Kota Medan dengan wilayah sekitarnya. Seiring dengan meningkatnya volume kendaraan yang menggunakan jalan tol, diperlukan evaluasi terhadap kapasitas dan kinerja pelayanan gerbang tol untuk memastikan bahwa sistem pelayanan yang tersedia mampu melayani arus kendaraan secara optimal [5]. Jalan tol merupakan jalan umum yang menjadi bagian dari sistem jaringan jalan nasional dan penggunaannya dikenakan tarif. Gerbang tol merupakan fasilitas pelayanan transaksi pembayaran tol bagi pengguna jalan tol yang terdiri dari beberapa gardu pelayanan. Teori antrean digunakan untuk menganalisis proses terbentuknya antrean pada suatu sistem pelayanan. Dalam sistem transportasi, antrian terjadi ketika tingkat kedatangan kendaraan lebih besar daripada tingkat pelayanan yang tersedia. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas dan kinerja pelayanan Gerbang Tol Marelان menggunakan pendekatan teori antrean. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kinerja pelayanan gerbang tol serta memberikan rekomendasi dalam meningkatkan efisiensi sistem pelayanan pada gerbang tol.

## **2. METODOLOGI PENELITIAN**

### **2.1. Design Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan untuk menganalisis kapasitas pelayanan gerbang tol dan mengevaluasi kinerja sistem pelayanan berdasarkan teori antrean. Pendekatan ini digunakan untuk mengetahui

hubungan antara tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gardu tol yang memengaruhi panjang antrean dan waktu tunggu kendaraan. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah model teori antrean (*queueing theory*) dengan disiplin pelayanan *First In First Out (FIFO)*[6]. Model ini dipilih karena sistem pelayanan pada gerbang tol umumnya menerapkan prinsip bahwa kendaraan yang datang lebih dahulu akan dilayani terlebih dahulu. Pelayanan gerbang tol dipengaruhi oleh beberapa parameter[7], [8]. Parameter utama dalam analisis antrean meliputi beberapa faktor yang tersaji pada **Tabel 1** di bawah ini.

**Table 1.** Parameter pelayanan gerbang tol

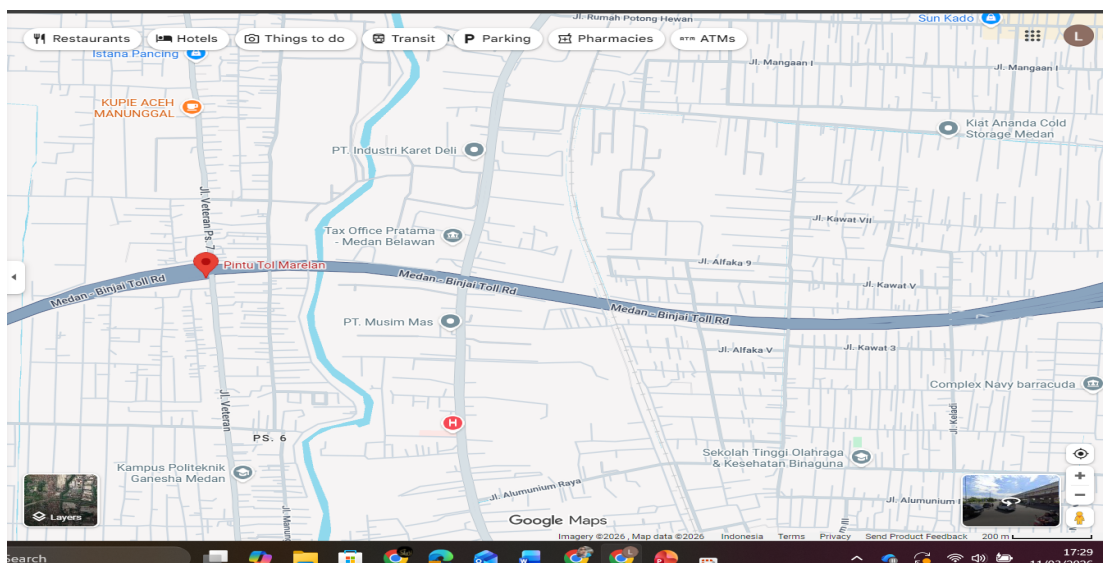
Parameter	Simbol	Keterangan
Tingkat kedatangan	$\lambda$	Jumlah kendaraan datang per satuan waktu
Tingkat pelayanan	$\mu$	Jumlah kendaraan yang dilayani per satuan waktu
Intensitas lalu lintas	$\rho$	Rasio kedatangan terhadap pelayanan
Panjang antrian	$q$	Jumlah kendaraan dalam antrian
Waktu tunggu	$w$	Waktu kendaraan menunggu

Catatan: Jika nilai  $\lambda$  lebih kecil dari  $\mu$  maka sistem pelayanan masih stabil.

## 2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Gerbang Tol Marelan yang terletak di Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, yang dapat dilihat pada **Gambar 1.**, di bawah ini. Gerbang tol ini merupakan salah satu akses penting yang menghubungkan Kota Medan dengan wilayah sekitarnya dan memiliki volume lalu lintas yang cukup tinggi terutama pada jam sibuk [9], [10]. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

1. Gerbang Tol Marelan merupakan akses utama menuju Kota Medan.
2. Volume kendaraan yang tinggi berpotensi menimbulkan antrian kendaraan.
3. Gerbang tol ini memiliki beberapa gardu pelayanan yang dapat dianalisis menggunakan teori antrian.



**Gambar 1.** Gerbang Tol Marelan (sumber: Google map)

## 2.3 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder yang digunakan untuk mendukung analisis kinerja sistem pelayanan pada Gerbang Tol Marelan.

### 1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui survei lapangan yang dilakukan secara langsung di lokasi penelitian. Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengamatan dan pencatatan terhadap kondisi lalu lintas pada gerbang tol. Data yang dikumpulkan meliputi:

1. jumlah kendaraan yang datang pada gerbang tol
2. waktu pelayanan transaksi pada setiap gardu tol
3. panjang antrian kendaraan
4. waktu tunggu kendaraan

Data primer ini digunakan untuk menghitung tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gardu tol yang kemudian dianalisis menggunakan model teori antrian.

### 2.3.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen operasional jalan tol serta berbagai literatur yang berkaitan dengan teori antrian dan sistem pelayanan gerbang tol. Data ini digunakan sebagai referensi untuk mendukung analisis penelitian serta memberikan dasar teoritis dalam perhitungan kinerja sistem antrian.

## 2.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa metode untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai kondisi pelayanan pada Gerbang Tol Marelan.

### 2.4.1 Survei Volume Lalu Lintas

Survei volume lalu lintas dilakukan untuk mengetahui tingkat kedatangan kendaraan pada gerbang tol. Pengamatan dilakukan pada jam sibuk pagi dan sore hari dengan mencatat jumlah kendaraan yang memasuki gerbang tol dalam interval waktu tertentu. Data hasil pengamatan tersebut digunakan untuk menentukan tingkat kedatangan kendaraan yang menjadi parameter dalam analisis sistem antrian. Hasil survei volume kendaraan ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2.** Pengamatan Volume Kendaraan

<b>Waktu Pengamatan</b>	<b>Jumlah Kendaraan</b>
07.00–08.00	180
08.00–09.00	195
16.00–17.00	205
17.00–18.00	210

### 2.4.2 Observasi Waktu Pelayanan

Observasi waktu pelayanan dilakukan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan oleh petugas dalam melayani transaksi pembayaran tol pada setiap gardu pelayanan. Pengukuran waktu pelayanan dilakukan dengan menggunakan stopwatch pada beberapa kendaraan yang melakukan transaksi pembayaran tol, dapat dilihat pada Table 3 berikut ini.

**Tabel 3. Waktu Pelayanan Gardu Tol**

Gardu	Waktu Pelayanan
Gardu 1	16 detik
Gardu 2	17 detik
Gardu 3	15 detik
Gardu 4	16 detik

## 2.5 Model Analisis Teori Antrian

Penelitian ini menggunakan model antrian dengan disiplin pelayanan FIFO (*First In First Out*)[11]. Parameter utama yang digunakan dalam analisis sistem antrian meliputi:

1. tingkat kedatangan kendaraan ( $\lambda$ )
2. tingkat pelayanan gardu tol ( $\mu$ )
3. intensitas sistem ( $\rho$ )
4. panjang antrian kendaraan
5. waktu tunggu kendaraan

Persamaan tingkat kedatangan kendaraan:

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah Kendaraan}}{\text{Waktu pengamatan}} \quad (1)$$

Persamaan tingkat pelayanan:  $\mu = \frac{3600}{WP}$   
(2)

Dimana WP : Waktu pelayanan

## 2.6 Analisis kinerja sistem antrian

Analisis kinerja sistem antrian dilakukan untuk mengetahui kondisi pelayanan pada gerbang tol berdasarkan hubungan antara tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gardu tol[12]. Beberapa parameter yang digunakan dalam analisis ini meliputi jumlah kendaraan dalam sistem, jumlah kendaraan dalam antrian, waktu kendaraan dalam sistem, dan waktu tunggu kendaraan dalam antrian[13]. Beberapa parameter yang digunakan dalam analisis kinerja sistem antrian antara lain pada persamaan (3), (4), (5), dan (6):

Jumlah kendaraan dalam sistem:  $\eta = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$   
(3)

Jumlah kendaraan dalam antrian:  $q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$   
(4)

$$\text{Waktu kendaraan dalam sistem: } d = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (5)$$

$$\text{Waktu tunggu kendaraan dalam antrian } w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (6)$$

dengan:

$\lambda$  = tingkat kedatangan kendaraan

$\mu$  = tingkat pelayanan gardu tol

$\eta$  = rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem

$q$  = rata-rata jumlah kendaraan dalam antrian

$d$  = rata-rata waktu kendaraan dalam sistem

$w$  = rata-rata waktu tunggu kendaraan dalam antrian

Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menilai apakah sistem pelayanan gerbang tol masih bekerja secara efektif atau sudah mendekati kondisi jenuh. Semakin besar nilai jumlah kendaraan dan waktu tunggu, maka semakin rendah kinerja sistem pelayanan yang terjadi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Tingkat Kedatangan Kendaraan

Tingkat kedatangan kendaraan merupakan salah satu parameter utama dalam analisis sistem antrian pada gerbang tol. Parameter ini digunakan untuk mengetahui jumlah kendaraan yang datang pada sistem pelayanan dalam satuan waktu tertentu. Data tingkat kedatangan kendaraan diperoleh melalui survei lapangan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap jumlah kendaraan yang memasuki Gerbang Tol Marelان pada periode waktu tertentu. Pengamatan dilakukan pada jam sibuk pagi dan sore hari, yaitu pada pukul 07.00–09.00 dan 16.00–18.00[14]. Hasil pengamatan tingkat kedatangan kendaraan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Volume Kendaraan pada Gerbang Tol Marelان

Waktu Pengamatan	Volume Kendaraan (kend/jam)
07.00–08.00	180
08.00–09.00	195
16.00–17.00	205
17.00–18.00	210

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui bahwa volume kendaraan tertinggi terjadi pada periode 17.00–18.00 dengan jumlah kendaraan sebesar 210 kendaraan per jam, sedangkan volume kendaraan terendah terjadi pada periode 07.00–08.00 dengan jumlah kendaraan sebesar 180 kendaraan per jam. Rata-rata tingkat kedatangan kendaraan pada Gerbang Tol Marelان dapat dihitung sebagai persamaan (7) berikut:

$$\lambda = \frac{180+195+205+210}{4} \quad (7)$$

$$\lambda = 197,5 \text{ kendaraan/jam}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata tingkat kedatangan kendaraan pada gerbang tol adalah sekitar 197 kendaraan per jam. Nilai ini kemudian digunakan sebagai parameter tingkat kedatangan kendaraan ( $\lambda$ ) dalam analisis sistem antrian. Peningkatan volume kendaraan pada periode sore hari menunjukkan adanya pola pergerakan kendaraan yang dipengaruhi oleh aktivitas perjalanan masyarakat, terutama perjalanan pulang kerja[15]. Kondisi ini berpotensi menyebabkan terjadinya antrian kendaraan apabila kapasitas pelayanan gardu tol tidak mampu mengimbangi tingkat kedatangan kendaraan tersebut.

### 3.2 Waktu Pelayanan Gardu Tol

Waktu pelayanan gardu tol diperoleh melalui observasi langsung terhadap durasi transaksi kendaraan pada setiap gardu pelayanan di Gerbang Tol Marelan dapat dilihat pada Table 5 berikut ini[16].

**Table 5.** waktu Pelayanan di Gerbang Tol Marelan

Gardu	Waktu Pelayanan (detik)
Gardu 1	16
Gardu 2	17
Gardu 3	15
Gardu 4	16

Berdasarkan Tabel 5, rata-rata waktu pelayanan gardu tol adalah 16 detik per kendaraan. Dengan demikian, kapasitas pelayanan gardu tol dapat dihitung sebesar  $\mu = 214$  kendaraan/jam. Nilai ini digunakan sebagai parameter tingkat pelayanan dalam analisis sistem antrian.

### 3.3 Analisis sistem antrian

Analisis sistem antrian dilakukan dengan menggunakan parameter tingkat kedatangan kendaraan ( $\lambda$ ) dan tingkat pelayanan gardu tol ( $\mu$ ) yang dapat dilihat pada Tabel 6. Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui kinerja sistem pelayanan pada Gerbang Tol Marelan serta potensi terjadinya antrian kendaraan.

**Tabel 6.** Parameter Sistem

Parameter	Nilai
Kedatangan kendaraan	197 kendaraan/jam
Pelayanan gardu	214 kendaraan/jam
Intensitas sistem	0.92

Nilai intensitas sistem diperoleh dari perbandingan antara tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gardu tol. Intensitas sistem dihitung menggunakan persamaan (8) berikut:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{8}$$
$$\rho = \frac{197}{214} = 0.92$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai intensitas sistem sebesar 0,92. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem pelayanan gerbang tol masih berada dalam kondisi stabil karena nilai  $\rho < 1$ . Namun demikian, nilai intensitas yang mendekati angka 1 menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan gardu tol hampir mencapai batas maksimum. Kondisi ini mengindikasikan bahwa apabila terjadi peningkatan volume kendaraan pada jam sibuk, maka potensi terjadinya antrean kendaraan akan semakin besar[17]. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan sistem pelayanan yang lebih efisien, seperti peningkatan kecepatan transaksi atau optimalisasi jumlah gardu tol yang beroperasi untuk menjaga kelancaran arus kendaraan pada gerbang tol.

### 3.4. Analisis Panjang Antrian

Analisis panjang antrian dilakukan untuk mengetahui jumlah kendaraan yang berada dalam sistem pelayanan maupun dalam antrian, serta waktu yang dibutuhkan kendaraan selama berada di gerbang tol[17]. Perhitungan ini didasarkan pada tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gardu tol.

**Table 7.** Hasil Analisis Panjang Antrian

Parameter	Nilai
Kendaraan dalam sistem	11.6
Kendaraan dalam antrian	10.7
Waktu dalam sistem	0.059 jam
Waktu tunggu	0.054 jam

Berdasarkan Tabel 7, rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem adalah 11,6 kendaraan, sedangkan rata-rata jumlah kendaraan dalam antrian adalah 10,7 kendaraan. Nilai ini menunjukkan bahwa pada jam sibuk terdapat sejumlah kendaraan yang harus menunggu sebelum memperoleh pelayanan di gardu tol. Selain itu, waktu rata-rata kendaraan dalam sistem adalah 0,059 jam, sedangkan waktu tunggu dalam antrian sebesar 0,054 jam. Jika dikonversi ke menit, waktu tunggu tersebut menjadi sekitar 3,2 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun sistem pelayanan masih mampu melayani arus kendaraan, antrian tetap terjadi karena tingkat kedatangan kendaraan mendekati kapasitas pelayanan gardu tol. Kondisi ini mengindikasikan perlunya peningkatan efisiensi pelayanan agar waktu tunggu kendaraan dapat dikurangi.

### 3.5 Analisis Sensitivitas Sistem

Analisis sensitivitas sistem dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan volume kendaraan terhadap kinerja sistem pelayanan gerbang tol, dapat dilihat pada Table 8 berikut ini. Analisis ini bertujuan untuk melihat bagaimana kondisi sistem pelayanan apabila terjadi peningkatan jumlah kendaraan yang datang.

**Table 8.** Simulasi Volume Kendaraan

Volume Kendaraan (Kend/Jam)	Intensitas	Kondisi Sistem
150	0.70	Stabil
170	0.79	Stabil
190	0.89	Mendekati kapasitas

197	0.92	Hampir jenuh
210	0.98	Sangat jenuh

Berdasarkan Tabel 8, terlihat bahwa peningkatan volume kendaraan akan meningkatkan nilai intensitas sistem. Pada volume kendaraan 150–170 kendaraan per jam, sistem pelayanan masih berada dalam kondisi stabil karena kapasitas pelayanan gardu tol masih mampu melayani kendaraan yang datang. Namun ketika volume kendaraan meningkat menjadi 190 kendaraan per jam, sistem mulai mendekati kapasitas maksimum. Pada kondisi 197 kendaraan per jam, nilai intensitas sistem mencapai 0,92, yang menunjukkan bahwa sistem pelayanan hampir jenuh. Jika volume kendaraan meningkat hingga 210 kendaraan per jam, intensitas sistem mencapai 0,98 sehingga sistem pelayanan berada dalam kondisi sangat jenuh dan berpotensi menimbulkan antrian kendaraan yang lebih panjang[18]. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan efisiensi pelayanan atau penambahan kapasitas pelayanan untuk mengurangi potensi terjadinya kemacetan pada gerbang tol

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis kapasitas dan kinerja pelayanan Gerbang Tol Marelan menggunakan pendekatan teori antrian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan setiap gardu tol sekitar 214 kendaraan per jam. Pada kondisi jam sibuk, tingkat kedatangan kendaraan mencapai sekitar 197 kendaraan per jam, sehingga mendekati kapasitas pelayanan gardu tol. Hal ini menyebabkan terbentuknya antrian kendaraan dengan waktu tunggu sekitar 3 menit. Untuk meningkatkan kinerja pelayanan gerbang tol, diperlukan peningkatan efisiensi waktu pelayanan, penambahan gardu tol pada jam sibuk, serta penerapan sistem transaksi tol elektronik secara optimal. Untuk ke depannya, penelitian dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan model antrean dinamis yang mempertimbangkan variasi waktu kedatangan kendaraan secara real-time, serta mengkaji penerapan teknologi *Intelligent Transportation Systems (ITS)* seperti sistem pembayaran tanpa henti (*multi-lane free flow*). Selain itu, studi lanjutan juga dapat mengeksplorasi penggunaan simulasi berbasis mikroskopik dan pendekatan *machine learning* untuk memprediksi pola antrian dan mengoptimalkan pengelolaan gardu tol secara adaptif. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih komprehensif dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem transportasi perkotaan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Pangestu, M.A; Lubis, M; Batubara, "Analisa Pengaruh Gerbang Tol Marelan Terhadap Kinerja Ruas Jalan Veteran Pasar 7 Kota Medan," *J. Aspir. Tek. Sipil(ASPAL)*.
- [2] O. Z. Tamin, "Perencanaan, pemodelan dan rekayasa transportasi," *Bandung ITB*, vol. 277, 2008.
- [3] C. M. Shrotrle, Jhon F; Thompson, James M; Gross, D.; Harris, "FUNDAMENTALS OF QUEUEING THEORY," 2018.
- [4] C. R. Mukti, D. A. Ghufrani, and J. Yonathan, "Optimizing Queue and Passenger Flow at TransJakarta Kemanggisan Bus Stop to Reduce Passenger Waiting

- Time During Rush Hours Optimizing Queue and Passenger Flow at TransJakarta Kemanggisan Bus Stop to Reduce Passenger Waiting Time During Rush Hours,” 2025, doi: 10.1088/1755-1315/1564/1/012047.
- [5] M. A. Pangestu, M. Lubis, and H. Batubara, “Analisa Pengaruh Gerbang Tol Marelان Terhadap Kinerja Ruas Jalan Veteran Pasar 7 Kota Medan,” vol. 2, no. 1, pp. 35–44, 2024, doi: 10.35438/aspal.v2i1.25.
- [6] M. El, G. Mustafa, and S. A. Talab, “The Effect of Queuing Mechanisms First in First out ( FIFO ), Priority Queuing ( PQ ) and Weighted Fair Queuing ( WFQ ) on Network ’ s Routers and Applications,” no. May, pp. 77–84, 2016.
- [7] Y. Hanikmah, “Penerapan teori antrean untuk analisis kinerja sistem pelayanan di gerbang tol gayamsari”.
- [8] L. E. Tanjung, F. Yurnalis, P. Hartieni, D. B. E. Dharmowijoyo, A. Wicaksono, and D. San Santoso, “Does involving another person in day-to-day activity-travel participation affect social and mental health?,” *J. Transp. Heal.*, vol. 37, no. May, p. 101836, 2024, doi: 10.1016/j.jth.2024.101836.
- [9] I. for T. and D. P. (ITDP) Indonesia, “Peningkatan Aksesibilitas Bus Rapid Transit (BRT) di Kota Medan,” no. November, 2023.
- [10] L.E. Tanjung; B.S. Mohamamed; D.B.E. Dharmowijoyo; N.C. Yee; A. Wicaksono; M.H. Gultom, “The Influence of Social Interaction on Activity Diaries: Implications for Transport Planning,” *Lect. Notes Civ. Eng. Springer*, 2026.
- [11] Z. Wang, “Queue Storage Design for Metered On-Ramps,” *Int. J. Transp. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 47–63, 2013, doi: 10.1260/2046-0430.2.1.47.
- [12] M. Ruminda, P. Lestari, R. P. Mahersa, A. Y. Musyaffa, P. J. Jalan, and S. Antrian, “JUMLAH GARDU PADA GERBANG TOL PT . JASA MARGA ( PERSERO ) TBK ( STUDI KASUS GERBANG TOL CIBUBUR1 ),” no. 2018, pp. 27–31, 2019.
- [13] A. Haikal, A.A; Indra, Z., Arfanyah, A., Abror, A.K., Bastio, “View of Implementasi Algoritma First In First Out (FIFO) Berbasis Web untuk Perhitungan dan Simulasi Berbagai Kasus Antrean.pdf,” *J. Publ. Ilmu Komput. dan Multimed.*, 2025.
- [14] L.E. Tanjung; D.B.E. Dharmowijoyo; F. Yurnalis; . Hartieni; A. Wicaksono; A. Puri; M. Ali, “The impact of activity travel participation on the individual’s mental and social health,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2711, no. November 2022, 2023, doi: 10.1063/5.0136982.
- [15] L.E. Tanjung; B.S. Mohammed; D.B.E. Dharmowijoyo; S.N.A. Yaro, “The Impact of Moderate and Vigorous Physical Activities as Mediating Factors on Subjective Well- being and Physical Health,” in *5th International Symposium on Civil and Environmental Engineering*, 2025, vol. 1453. doi: 10.1088/1755-1315/1453/1/012027.
- [16] M. Anggraini, R. Sulistyorini, and A. Zakaria, “Optimisasi Pengelolaan Gerbang Tol Kalianda di Propinsi Lampung,” *J. Ilm. Fak. Tek. Univ. Lampung*, vol. 24, no. 2, pp. 49–52, 2020.
- [17] V. R. A. . Sufanir, A.M.S.; Shaumi, D.R.; Siregar, “PEMERIKSAAN STANDAR PELAYANAN GERBANG TOL PASTEUR 1 DITINJAU DARI KECEPATAN TRANSAKSI,” *J. Rekayasa Sipil*, vol. 18, no. 3, pp. 194–201, 2022.
- [18] Z. Abidin and A. Kartohardjono, “EVALUASI KINERJA GERBANG TOL STUDI KASUS DI GARDU TOL,” no. November, pp. 1–2, 2017.