



TUGAS AKHIR – RC14 – 1501

**EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH DAN  
GERBANG TOL TEBING TINGGI RUAS TOL MEDAN-  
KUALANAMU-TEBING TINGGI)**

RAHMAD HANDIKA  
NRP. 0311154000131

Dosen Pembimbing I  
Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing II  
Cahya Buana, S.T. M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019



TUGAS AKHIR – RC14 – 1501

**EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH DAN  
GERBANG TOL TEBING TINGGI RUAS TOL MEDAN-  
KUALANAMU-TEBING TINGGI)**

RAHMAD HANDIKA  
NRP. 03111540000131

Dosen Pembimbing I  
Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing II  
Cahya Buana, S.T. M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – RC14 – 1501

**EVALUATION OF PERFORMANCE AND SERVICES OF  
TOLL GATE (CASE STUDY OF SEI RAMPAH TOLL  
GATE AND TEBING TINGGI TOLL GATE AT MEDAN-  
KUALANAMU-TEBING TINGGI TOLL ROAD)**

RAHMAD HANDIKA  
NRP. 03111540000131

Supervisor I  
Ir. Hera Widyastuti, M.T, Ph.D.

Supervisor II  
Cahya Buana, S.T. M.T.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN GERBANG  
TOL (STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI RUAS TOL  
MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)**

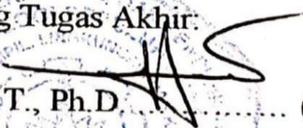
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Perhubungan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**RAHMAD HANDIKA**  
NRP. 03111540000131

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Hera Widyastuti M.T., Ph.D.  (Pembimbing 1)

2. Cahya Buana, S.T., M.T.  (Pembimbing 2)

**SURABAYA**  
**MEI, 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN GERBANG TOL (STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)**

**Nama Mahasiswa : Rahmad Handika**

**NRP : 0311154000131**

**Departemen : Teknik Sipil**

**Dosen Pembimbing : 1. Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D.**

**2. Cahya Buana, S.T., M.T.**

## **ABSTRAK**

*Jalan tol merupakan fasilitas transportasi yang dibangun dengan tujuan untuk memperlancar lalu lintas daerah dan meningkatkan mobilitas orang dan barang demi pertumbuhan wisata dan pertumbuhan ekonomi daerah. Jalan tol itu sendiri memiliki gerbang tol yang merupakan tempat proses pelayanan transaksi tol terjadi. Namun, Salah satu permasalahan yang sering terjadi di jalan tol adalah kemacetan kendaraan khususnya di gerbang tol. Kemacetan di gerbang tol disebabkan karena ketidakseimbangan jumlah gerbang tol dengan jumlah arus kendaraan serta lamanya proses transaksi yang terjadi di gerbang tol tersebut sehingga terjadi antrian arus kendaraan yang tidak diinginkan. Diperlukan peninjauan terhadap kinerja gerbang tol agar didapat jumlah gardu tol yang optimum untuk menampung volume kendaraan yang ada pada saat ini dan tahun-tahun mendatang dalam menghadapi lonjakan arus jalan tol.*

*Pada tugas akhir ini metodologi yang digunakan sebagai disiplin antrian adalah First In First Out dan Single Channel-Single Server sebagai struktur antrian pada perencanaan gerbang tol ini serta mempertimbangkan Gerbang Tol Otomatis (GTO). Tugas akhir ini mengevaluasi jumlah gerbang tol yang optimum dalam segi*

*panjang antrian dan tingkat pelayanan untuk tahun 2019, tahun 2024, dan tahun 2029.*

*Hasil dari penelitian tugas akhir ini adalah panjang antrian terpanjang pada tahun 2019 yang terjadi pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk adalah 20 m; Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar sepanjang 25 m; Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk sepanjang 20 m; Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar sepanjang 15 m. Jumlah gardu yang perlu dibuka pada saat ini yaitu untuk gerbang tol Sei Rampah arah masuk = 3 gardu; untuk gerbang tol Sei Rampah arah keluar = 3 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk = 4 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar = 3 gardu. Jumlah gardu yang perlu dibuka pada tahun 2024 yaitu untuk gerbang tol Sei Rampah arah masuk = 3 gardu; untuk gerbang tol Sei Rampah arah keluar = 3 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk = 5 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar = 4 gardu. Jumlah gardu yang perlu dibuka pada tahun 2029 yaitu untuk gerbang tol Sei Rampah arah masuk = 4 gardu; untuk gerbang tol Sei Rampah arah keluar = 4 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk = 5 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar = 4 gardu.*

***Kata Kunci: Kinerja Gerbang Tol, Gerbang Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi, Gerbang Tol yang Optimum***

**EVALUATION OF PERFORMANCE AND SERVICES OF  
TOLL GATE (CASE STUDY: SEI RAMPAH TOLL GATE  
AND TEBING TINGGI TOLL GATE AT MEDAN-  
KUALANAMU-TEBING TINGGI TOLL ROAD)**

**Student Name : Rahmad Handika**

**NRP : 03111540000131**

**Department : Civil Engineering**

**Supervisor : 1. Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D.**

**2. Cahya Buana, S.T., M.T.**

**ABSTRACT**

*Toll road is a transportation facility built with the aim of facilitating regional traffic and increasing the mobility of people and goods for tourism growth and regional economic growth. The toll road itself has a toll gate which is where the toll transaction service process takes place. However, one of the problems that often occurs on toll roads is vehicle congestion, especially at toll gates. Congestion at the toll gate is caused by an imbalance in the number of toll gates with the number of vehicle flows and the length of the transaction process that occurs at the toll gate resulting in undesired vehicle flow queues. Evaluation of the performance of toll gates is needed to obtain the optimum number of toll booths to accommodate the volume of vehicles currently and in the future in the face of a surge in toll road.*

*In this final project the methodology used as a queuing method is First In First Out and Single Channel-Single Server as the queue structure on this toll gate and considering the Electronic Toll Collection (ETC) as system toll gate. This final project evaluates the optimum number of toll gates in terms of queue length and service levels for 2019, 2024 and 2029.*

*The results of this final project show that the longest queue length that occurred in 2019 at Sei Rampah Toll Gate entry direction is 20 m; Sei Rampah Toll Gate exit direction is 25 m, Tebing Tinggi Toll Gate entry direction is 20 m; Tebing Tinggi Toll Gate exit direction is 15 m. The number of substations needed for each toll gates at this time are 3 toll booths for the Sei Rampah toll gate entry direction; 3 toll booths for the Sei Rampah toll gate exit direction; 4 toll booths for the Tebing Tinggi toll gate entry direction; 3 toll booths for the Tebing toll gate exit direction. The number of substations needed for each gate in 2024 are 3 toll gates for the Sei Rampah toll gate entry direction; 3 toll booths for the Sei Rampah toll exit direction; 5 toll booths for the Tebing Tinggi toll gate entry direction; 4 toll booths for the Tebing Tinggi toll gate exit direction. The number of substations needed for each gate in 2029 are 4 toll gates for the Sei Rampah toll gate entry direction; 4 toll booths for the Sei Rampah toll exit direction; 5 toll booths for the Tebing Tinggi toll gate entry direction; 4 toll booths for the Tebing Tinggi toll gate exit direction.*

***Keywords: Toll Gate Performance, Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi Toll Gate, Optimum Toll Gate***

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Evaluasi Kinerja dan Pelayanan Gerbang Tol (Studi Kasus: Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi Ruas Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi)” dengan baik.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak arahan, bantuan, dan saran yang bermanfaat dari berbagai pihak. Maka izinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua, saudara, dan seluruh keluarga tercinta yang telah memberikan doa dan dukungannya dalam terselesaikannya tugas akhir ini
2. Ibu Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D., dan Bapak Cahya Buana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang memberikan bimbingan dan arahan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Mahasiswa tugas akhir transport yang telah menjadi teman diskusi dalam setiap topik mengenai bidang perhubungan.
4. Angkatan S-58 Teknik Sipil ITS sebagai teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir.
5. Anggota Himpunan Mahasiswa Sipil yang telah memberikan dukungan dalam berbagai hal.

Penulis berusaha menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya, serta menyadari jikalau Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis. Sekian dan terimakasih.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Lokasi Studi .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Umum.....	9
2.2 Studi Terdahulu.....	9
2.3 Jalan Tol.....	16
2.3.1 Maksud, Tujuan, dan Lingkup Jalan Tol.....	17
2.3.2 Syarat Teknis dari Jalan Tol.....	17
2.3.3 Spesifikasi dari Jalan Tol .....	18

2.4 Jenis Kendaraan Pada Jalan Tol .....	19
2.5 Analisis Data Lalu Lintas .....	20
2.5.1 Data Masukan Lalu Lintas .....	20
2.6 Gerbang Tol .....	20
2.6.1 Kriteria Umum .....	21
2.7 Gardu Tol .....	21
2.7.1 Jumlah Kebutuhan Gardu Tol .....	22
2.8 Teori Antrian .....	23
2.8.1 Kedatangan Populasi yang akan Dilayani .....	24
2.8.2 Antrian .....	25
2.8.3 Fasilitas Pelayanan .....	26
2.9 Sistem Antrian Gerbang Tol .....	31
2.10 Sistem Pembayaran pada Gerbang Tol .....	32
2.10.1 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis .....	32
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>35</b>
3.1 Umum .....	35
3.2 Uraian Kegiatan .....	35
3.2.1 Tahap Identifikasi Masalah .....	35
3.2.2 Tahap Studi Literatur .....	37
3.2.3 Tahap Pengumpulan Data .....	37
3.2.4 Tahap Analisis Data .....	38
3.2.5 Pembahasan .....	43
3.2.6 Kesimpulan .....	43
3.3 Bagan Alir ( <i>Flowchart</i> ) .....	43

3.4 Alat yang Digunakan untuk Pengambilan Data .....	46
<b>BAB IV PENGUMPULAN DATA .....</b>	<b>49</b>
4.1 Umum.....	49
4.2 Data Primer .....	49
4.2.1 Tingkat Pelayanan Kendaraan.....	49
4.2.2 Panjang Antrian Kendaraan.....	53
4.2.3 Waktu Pelayanan.....	55
4.3 Data Sekunder .....	57
4.3.1 Data Konfigurasi Gerbang Tol.....	57
<b>BAB V ANALISIS DATA.....</b>	<b>59</b>
5.1 Analisis Tingkat Kedatangan ( <i>Arrival Rate</i> ).....	59
5.1.1 Menggunakan Analisis Regresi Linear .....	59
5.2 Analisis Waktu Pelayanan ( <i>Service Time</i> ) .....	71
5.2.1 Menggunakan Volume Kendaraan Hasil Survei .....	71
5.3 Analisis Intensitas Lalu Lintas .....	95
5.3.1 Menggunakan Volume Kendaraan Hasil Regresi .....	96
5.4 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO) .....	98
5.4.1 Menggunakan Volume Kendaraan Hasil Regresi .....	99
5.5 Analisis Peramalan ( <i>Forecasting</i> ).....	122
5.5.1 Analisis Tingkat Kedatangan pada Tahun 2024.....	122
5.5.2 Analisis Intensitas Lalu Lintas pada Tahun 2024....	130
5.5.3 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO) pada Tahun 2024 .....	133
5.5.4 Analisis Tingkat Kedatangan pada Tahun 2029.....	140

5.5.5 Analisis Intensitas Lalu Lintas pada Tahun 2029.....	148
5.5.6 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO) pada Tahun 2029 .....	152
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>	<b>159</b>
6.1 Kesimpulan .....	159
6.2 Saran.....	160
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>163</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Trase Jalan Tol Medan-Kualanamu–Tebing Tinggi .....	5
<b>Gambar 1.2</b>	Lokasi Gerbang Tol yang Ditinjau .....	6
<b>Gambar 1.3</b>	Kemacetan pada Gerbang Tol Sei Rampah .....	7
<b>Gambar 2.1</b>	Struktur Antrian Single Channel-Single Server .....	26
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur Antrian Single Channel-Multi Server .....	27
<b>Gambar 2.3</b>	Struktur Antrian Multichannel-Single Server .....	27
<b>Gambar 2.4</b>	Struktur Multi Channel-Multi Server.....	28
<b>Gambar 2.5</b>	Disiplin Antrian First In, First Out .....	29
<b>Gambar 2.6</b>	Disiplin Antrian Last In, First Out .....	30
<b>Gambar 2.7</b>	Alat Pembayaran Gardu Tol Otomatis .....	32
<b>Gambar 2.8</b>	Gerbang Tol Otomatis .....	33
<b>Gambar 3.1</b>	Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir .....	45
<b>Gambar 4.1</b>	Konfigurasi Gerbang Tol Sei Rampah .....	57
<b>Gambar 4.2</b>	Konfigurasi Gerbang Tol Tebing Tinggi .....	58
<b>Gambar 5.1</b>	Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol <i>Multi</i> .....	73
<b>Gambar 5.2</b>	Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol <i>Single</i> .....	76

<b>Gambar 5.3</b> Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Gardu Tol <i>Multi</i> .....	79
<b>Gambar 5.4</b> Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah Keluar Gardu Tol <i>Single</i> .....	82
<b>Gambar 5.5</b> Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol <i>Multi</i> .....	85
<b>Gambar 5.6</b> Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol <i>Single</i> .....	88
<b>Gambar 5.7</b> Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol <i>Multi</i> .....	91
<b>Gambar 5.8</b> Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol <i>Single</i> .....	94
<b>Gambar 5.9</b> Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2019 .....	105
<b>Gambar 5.10</b> Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Tahun 2019 .....	112
<b>Gambar 5.11</b> Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2019.....	117
<b>Gambar 5.12</b> Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2019 .....	122
<b>Gambar 5.13</b> Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2024 .....	135

<b>Gambar 5.14</b>	Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Tahun 2024 .....	137
<b>Gambar 5.15</b>	Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2024 .....	138
<b>Gambar 5.16</b>	Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2024 .....	140
<b>Gambar 5.17</b>	Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2029 .....	153
<b>Gambar 5.18</b>	Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Tahun 2029 .....	155
<b>Gambar 5.19</b>	Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2029 .....	157
<b>Gambar 5.20</b>	Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2029 .....	158

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi .....	19
<b>Tabel 3.1</b> Formulir Survei Tingkat Kedatangan Kendaraan .....	46
<b>Tabel 3.2</b> Formulir Waktu Pelayanan .....	47
<b>Tabel 3.3</b> Formulir Panjang Antrian Kendaraan .....	47
<b>Tabel 4.1</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Masuk Gardu Tol <i>Multi</i> .....	50
<b>Tabel 4.2</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Masuk Gardu Tol <i>Single</i> .....	50
<b>Tabel 4.3</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Keluar Gardu Tol <i>Multi</i> .....	51
<b>Tabel 4.4</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Keluar Gardu Tol <i>Single</i> .....	51
<b>Tabel 4.5</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Masuk Gardu Tol <i>Multi</i> .....	52
<b>Tabel 4.6</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Masuk Gardu Tol <i>Single</i> .....	52
<b>Tabel 4.7</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar Gardu Tol <i>Multi</i> .....	53
<b>Tabel 4.8</b> Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar Gardu Tol <i>Single</i> .....	53
<b>Tabel 4.9</b> Panjang Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Masuk .....	54

<b>Tabel 4.10</b> Panjang Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Keluar .....	54
<b>Tabel 4.11</b> Panjang Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Masuk .....	54
<b>Tabel 4.12</b> Panjang Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar .....	55
<b>Tabel 4.13</b> Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Sei Rampah Masuk .....	55
<b>Tabel 4.14</b> Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Sei Rampah Keluar .....	56
<b>Tabel 4.15</b> Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Masuk .....	56
<b>Tabel 4.16</b> Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar .....	56
<b>Tabel 5.1</b> Volume Lalu Lintas Tahunan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk .....	59
<b>Tabel 5.2</b> Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018 .....	60
<b>Tabel 5.3</b> Proporsi Golongan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk .....	61
<b>Tabel 5.4</b> Volume Lalu Lintas Tahunan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar .....	62
<b>Tabel 5.5</b> Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018 .....	63
<b>Tabel 5.6</b> Proporsi Golongan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar .....	64

<b>Tabel 5.7</b> Volume Lalu Lintas Tahunan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk .....	65
<b>Tabel 5.8</b> Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018 .....	66
<b>Tabel 5.9</b> Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk .....	67
<b>Tabel 5.10</b> Volume Lalu Lintas Tahunan Jalan Lintas Tebing Tinggi Tahunan Arah Keluar .....	68
<b>Tabel 5.11</b> Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018 .....	69
<b>Tabel 5.12</b> Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar .....	70
<b>Tabel 5.13</b> Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol <i>Multi</i> .....	72
<b>Tabel 5.14</b> Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol <i>Single</i> .....	75
<b>Tabel 5.15</b> Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Gardu Tol <i>Multi</i> .....	78
<b>Tabel 5.16</b> Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Gardu Tol <i>Single</i> .....	81
<b>Tabel 5.17</b> Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol <i>Multi</i> .....	84
<b>Tabel 5.18</b> Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol <i>Single</i> .....	87
<b>Tabel 5.19</b> Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol <i>Multi</i> .....	90

- Tabel 5.20** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol *Single*..... 93
- Tabel 5.21** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik 100
- Tabel 5.22** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik ...101
- Tabel 5.23** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik 103
- Tabel 5.24** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 6 detik ...104
- Tabel 5.25** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik 107
- Tabel 5.26** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik 109
- Tabel 5.27** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik 110
- Tabel 5.28** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 6 detik ...111
- Tabel 5.29** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik ...114
- Tabel 5.30** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik ...115
- Tabel 5.31** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 5 detik ...117
- Tabel 5.32** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik ...118

<b>Tabel 5.33</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik ...	120
<b>Tabel 5.34</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 5 detik ...	121
<b>Tabel 5.35</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rambah Arah Masuk .....	124
<b>Tabel 5.36</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar .....	126
<b>Tabel 5.37</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk .....	128
<b>Tabel 5.38</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar .....	130
<b>Tabel 5.39</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rambah Arah Masuk Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.3 detik .....	134
<b>Tabel 5.40</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik .....	136
<b>Tabel 5.41</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik .....	138
<b>Tabel 5.42</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik .....	139
<b>Tabel 5.43</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rambah Arah Masuk Tahun 2029.....	142
<b>Tabel 5.44</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar Tahun 2029 .....	144

<b>Tabel 5.45</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2029 .....	146
<b>Tabel 5.46</b>	Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2029 .....	148
<b>Tabel 5.47</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.3 Detik .....	153
<b>Tabel 5.48</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 Detik .....	154
<b>Tabel 5.49</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 Detik .....	156
<b>Tabel 5.50</b>	Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5 Detik .....	158

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Transportasi sangat berpengaruh terhadap perpindahan barang dan jasa sehingga berpengaruh pada peningkatan ekonomi dan pariwisata. Pertumbuhan dan perkembangan suatu kota yang pesat tanpa diikuti pengadaan sistem transportasi yang memadai merupakan bentuk besarnya permintaan kebutuhan transportasi dibanding penyediaan sistem transportasi. Pembangunan transportasi di Indonesia saat ini terfokus pada pembangunan di darat. Pertumbuhan kendaraan di Indonesia mengalami peningkatan pada setiap tahunnya sehingga dibutuhkannya fasilitas transportasi seperti jalan tol untuk mengurangi tingkat kemacetan. Pada kota-kota besar sekarang sering terjadi kemacetan sehingga terdapat solusi yang ditawarkan yaitu dengan membangun jalan tol untuk mengurangi kemacetan.

Presiden dan Wakil Presiden Bapak Joko Widodo dan Bapak Jusuf Kalla dengan program kerja Nawacita mereka yang pada poin ketiga berisi “Membangun Indonesia dari pinggiran dengan memperkuat daerah-daerah dan desa dalam kerangka negara kesatuan” mempunyai komitmen dalam pembangunan mempercepat konektivitas antara Jawa dan Sumatera, termasuk untuk mengurangi kemacetan yang kian parah di sisi utara Sumatera. Hal ini diwujudkan dengan adanya pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera. Jalan Tol Trans Sumatera adalah jaringan jalan tol yang menghubungkan kota-kota di Pulau Sumatera, total jaringan jalan Tol Trans Sumatera direncanakan mencapai 2.818 kilometer (km), yang terdiri dari 17 ruas jalan tol menyusuri pantai timur Sumatera menghubungkan Bakauheni hingga Aceh.

Provinsi Sumatera Utara merupakan provinsi yang memiliki jumlah penduduk keempat terbesar di Indonesia yaitu sebanyak 13.766.851 jiwa. Provinsi Sumatera Utara juga merupakan salah satu target utama pariwisata Indonesia. Salah satu destinasi

terfavorit di Sumatera Utara adalah Danau Toba. Fasilitas wisatanya yang cukup baik serta sering diadakannya berbagai festival dan *event* internasional menjadi pendorong datangnya wisatawan ke provinsi ini. Sumatera Utara sangat potensial untuk dikembangkan sebagai tempat wisata, baik wisata alam maupun wisata budaya yang tiap tahunnya memiliki peningkatan pengunjung. Menurut data Kementerian Pariwisata Republik Indonesia, pada tahun 2016 pertumbuhan wisatawan mancanegara yang datang ke Provinsi Sumatera Utara melalui Bandar Udara meningkat sebesar 204.693 ribu jiwa. Pada tahun 2017 jumlah wisatawan mancanegara meningkat sebesar 14,06 persen yaitu sekitar 223.483 wisatawan mancanegara. Pertumbuhan wisatawan mancanegara yang datang ke Provinsi Sumatera Utara setiap tahunnya dari tahun 2013 hingga 2017 mengalami peningkatan rata-rata sekitar 7 persen. Provinsi Sumatera Utara sendiri memang punya keinginan untuk mengembangkan pusat-pusat pertumbuhan ekonomi baru. Ada pusat pertumbuhan di sekitar area Bandara Kualanamu, Seimangkei yang terintegrasi dengan Kuala Tanjung. Kemudian ada pula Danau Toba, destinasi wisata nasional yang terhambat pengembangannya selama ini. Penyebabnya, karena jalan menuju Danau Toba harus ditempuh dengan sangat lama karena infrastrukturnya yang kurang memadai.

Jalan tol sebagai jalan bebas hambatan memberikan perbedaan yang nyata dengan jalan biasa. Perbedaan ini diharapkan mampu memberikan kualitas yang lebih mengingat tingkat mobilitas masyarakat yang semakin meningkat. Jalan tol Medan-Kualanamu–Tebing Tinggi merupakan salah satu jalan tol di Sumatera Utara yang menghubungkan Bandar Udara Kualanamu dengan kota dan kabupaten lainnya yang memiliki destinasi wisata yang sering didatangi wisatawan baik dari dalam negeri maupun luar negeri. Jalan tol ini juga Jalan tol itu sendiri memiliki gerbang tol yang merupakan tempat proses pelayanan transaksi tol terjadi. Gerbang tol terdiri dari beberapa gardu tol yang merupakan ruang bagi pengumpul tol untuk melaksanakan tugas nya. Sistem yang

dapat dilakukan dalam pengumpulan tol pada saat ini yaitu sistem gardu tol otomatis (GTO).

Mengingat fungsi jalan tol harus memberikan pelayanan berupa kelancaran arus kendaraan tanpa adanya hambatan yang berarti maka diperlukan tinjauan terhadap kinerja jalan tol. Salah satu permasalahan yang sering terjadi di jalan tol adalah kemacetan kendaraan khususnya di gerbang tol. Kemacetan di gerbang tol disebabkan karena ketidakseimbangan jumlah gerbang tol dengan jumlah arus kendaraan serta lamanya proses transaksi yang terjadi di gerbang tol tersebut sehingga terjadi antrian arus kendaraan yang tidak diinginkan. Jumlah gerbang tol yang dioperasikan harus sesuai dengan volume arus kendaraan, jika terlalu sedikit akan menimbulkan antrian yang panjang, tetapi jika terlalu banyak akan menambah biaya pengoperasian yang tinggi.

Tugas akhir ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi dan menghitung antrian yang terjadi pada gerbang tol dengan tingkat kedatangan kendaraan dan tingkat pelayanan gerbang. Gerbang tol yang menjadi objek perencanaan adalah Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi yang akan dievaluasi menggunakan sistem gardu yaitu Gerbang Tol Otomatis (GTO). Dipilihnya gerbang tersebut sebagai objek evaluasi dikarenakan gerbang tol tersebut merupakan akses masuk ke Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi. Gerbang tol tersebut juga sering mengalami antrian yang Panjang seperti pada Gambar 1.3. Maka tugas akhir ini sekaligus bertujuan untuk menghitung kinerja dan pelayanan gerbang tol saat ini dan untuk tahun-tahun mendatang dalam menghadapi lonjakan arus jalan tol.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Melihat kondisi di atas, maka permasalahan-permasalahan yang akan di bahas adalah sebagai berikut:

1. Berapa panjang antrian yang terjadi pada gardu tol dilihat dari tingkat kedatangan dan waktu pelayanan?

2. Berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan dan panjang antrian berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua gerbang tol direncanakan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO)?
3. Berapa jumlah gardu tol berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua gerbang tol direncanakan menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) pada 5 dan 10 tahun mendatang?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah untuk memecahkan masalah yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya:

1. Menghitung seberapa panjang antrian yang terjadi pada gardu tol dilihat dari tingkat kedatangan dan waktu pelayanan.
2. Menghitung jumlah gardu tol yang dibutuhkan dan panjang antrian berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO).
3. Menghitung jumlah gardu yang dibutuhkan berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) pada 5 dan 10 tahun mendatang.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Memberikan gambaran dalam menentukan jumlah gerbang tol yang optimal sesuai dengan tingkat kedatangan kendaraan
2. Hasil perencanaan ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan pengetahuan dan skill dalam ilmu perencanaan gerbang tol bagi penulis, khususnya gerbang tol yang menggunakan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO).

3. Sebagai acuan dan sumbangan pemikiran kepada pengelola jalan tol (dalam kasus ini PT. Jasa Marga) untuk membuat kebijakan baru di masa yang akan datang dalam menanggulangi persoalan antrian di gerbang tol.

### 1.5 Batasan Masalah

Pembahasan penulisan tugas akhir ini akan dibatasi pada masalah-masalah berikut:

1. Tidak memperhitungkan dari segi ekonomi dan finansial.
2. Tidak memperhitungkan geometrik jalan tol.
3. Tidak memperhitungkan perilaku pengendara.
4. Kendaraan yang ditinjau hanya kendaraan roda 4 (empat) atau lebih.
5. Gerbang tol yang ditinjau hanya Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi

### 1.6 Lokasi Studi

Dalam tugas akhir ini lokasi studi berada di Jalan Tol Kualanamu–Tebing Tinggi yang melawati Kabupaten Deli Serdang dan Kabupaten Serdang Berdagai, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 berikut ini. Kemacetan pada salah satu gerbang tol juga ditunjukkan pada Gambar 1.3 berikut ini.



**Gambar 1.1** Trase Jalan Tol Medan-Kualanamu–Tebing Tinggi

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)



**Gambar 1.2** Lokasi Gerbang Tol yang Ditinjau

Keterangan:

1. Gerbang Tol Sei Rampah
2. Gerbang Tol Tebing Tinggi

(Sumber: Aplikasi Google Maps, (5 Desember 2018))



**Gambar 1.3** Kemacetan pada Gerbang Tol Sei Rampah  
(Sumber: Aplikasi Google Maps, (5 Desember 2018))

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Tinjauan Pustaka menguraikan uraian sistematis tentang informasi hasil-hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang relevan untuk membantu dalam penulisan tugas akhir ini. Hal ini bertujuan untuk menciptakan persepsi yang sama antara penulis dan pembaca dan dapat dipertanggungjawabkan.

#### **2.2 Studi Terdahulu**

Studi terdahulu merupakan acuan yang digunakan untuk menunjang penulisan tugas akhir baik berupa jurnal, informasi-informasi dari internet, maupun buku yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Pada Tugas Akhir ini, penulis mengambil beberapa referensi dengan topik yang sama. Berikut adalah beberapa referensi yang penulis ambil, yaitu:

1. Sumantri, I. M. A. dan Widyastuti, H. (2016). *Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Gerbang Tol Waru-Tanjung Perak*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kajian terhadap studi tersebut didapatkan:

A. Metode-metode yang digunakan adalah:

- Mengumpulkan data primer dan data sekunder untuk kemudian dianalisis. Data primer diambil melalui survei yang dilakukan di tiap-tiap gerbang tol yang akan dianalisis. Data yang diambil pada saat survei adalah tingkat kedatangan kendaraan, panjang antrian, dan waktu pelayanan. Data sekunder merupakan data pendukung atau

penunjang yang diambil melalui lembaga pengelola jalan tol yaitu PT Jasa Marga.

- Melakukan analisis tingkat kedatangan kendaraan. Hal yang dianalisis adalah tingkat kedatangan dengan jumlah kendaraan asli, yaitu jumlah kendaraan hasil survey pada gerbang tol yang ditinjau.
- Melakukan analisis waktu pelayanan yang bertujuan untuk mengolah data waktu pelayanan yang telah didapat dari hasil survei sehingga didapatkan grafik frekuensi kumulatif dari gerbang tol yang ditinjau.
- Melakukan Analisis antrian pada gerbang tol yang dilakukan menurut disiplin antrian *First In First Out* (FIFO). Analisis antrian dilakukan agar dapat melihat seberapa panjang antrian secara hitungan dan dapat melihat jumlah gardu yang dibutuhkan pada tabel hasil analisis. Dalam melakukan analisa antrian, menggunakan berbagai kondisi waktu pelayanan yang tercatat ketika survei hingga waktu pelayanan maksimal sehingga bisa diketahui antrian di setiap kondisi waktu pelayanan.

B. Kesimpulan dari tugas akhir tersebut adalah:

- Hasil survei didapatkan waktu pelayanan terlama adalah 10 detik/kendaraan.
- Dari hasil analisis dihasilkan panjang antrian terpanjang pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp = 19,78 m; Waru Utama = 17,53 m; Dupak 3 = 64,89 m. Dari hasil analisis tingkat kedatangan, diketahui tingkat kedatangan pada gerbang tol Waru 1 dan Ramp sebesar 261,83 smp/jam/gardu; pada Gerbang Tol Waru Utama sebesar 248,86 smp/jam/gardu;

- pada gerbang tol Dupak 3 sebesar 323,83 smp/jam/gardu.
- Kapasitas yang didapat dari hasil analisis masih memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM) dimana syaratnya adalah  $\leq 450$  kendaraan/jam/gardu.
  - Dengan jumlah tingkat kedatangan yang ada maka jumlah gardu yang perlu dibuka di masing-masing gerbang tol yaitu untuk Waru 1 dan Ramp = 8 gardu; untuk Waru Utama = 8 gardu; untuk Dupak 3 = 9 gardu.
2. Dondokambey, A. dan Widyastuti, H. (2018). *Perencanaan Gerbang Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kajian terhadap studi tersebut didapatkan:

- A. Metode-metode yang digunakan adalah:
- Tugas Akhir tersebut melakukan studi yang bertujuan untuk merencanakan Gerbang Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar. Dari hasil perencanaan didapat berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan tiap gerbang tol pada tahun 2019 dan berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan tiap gerbang tol pada tahun 2030.
  - Mengamati kondisi lapangan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar.
  - Mengumpulkan data primer dan data sekunder untuk kemudian dianalisis. Analisis data yang dilakukan yaitu volume kendaraan, distribusi kendaraan ke tiap gerbang tol, dan waktu pelayanan. Kemudian
  - Melakukan perhitungan tingkat kedatangan tiap gerbang tol, jumlah gardu yang optimum, dan jumlah antrian tiap gardu tol.

B. Hasil dari studi tersebut adalah:

- Tingkat kedatangan kendaraan pada gerbang tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar adalah sebagai berikut:

a. Tahun 2019

- Gerbang Wringin Anom: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 1229 kend./jam, arah keluar sebesar 923 kend./jam.
- Gerbang Kedamean: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 210 kend./jam, arah keluar sebesar 360 kend./jam.
- Gerbang Cerme: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 277 kend./jam, arah keluar sebesar 281 kend./jam.
- Gerbang Bunder: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 484 kend./jam, arah keluar sebesar 474 kend./jam
- Gerbang Manyar: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 714 kend./jam, arah keluar 719 kend./jam.

b. Tahun 2030

- Gerbang Wringin Anom: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 3498 kend./jam , arah keluar sebesar 2929 kend./jam.
- Gerbang Kedamean: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk

- sebesar 524 kend./jam, arah keluar sebesar 690 kend./jam.
- Gerbang Cerme: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 537 kend./jam, arah keluar sebesar 528 kend./jam.
  - Gerbang Bunder: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 896 kend./jam, arah keluar sebesar 898 kend./jam
  - Gerbang Manyar: Tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 2030 kend./jam, arah keluar 2547 kend./jam.
- Panjang antrian yang telah direncanakan kurang dari 10 kendaraan yang dimana telah sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/2014 Tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol.
- Pada perencanaan gerbang tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar tidak dilakukan analisis perubahan jumlah gardu tol yang beroperasi dikarenakan data yang dianalisis merupakan data volume kendaraan per hari.
- Jumlah gardu pada gerbang tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar sebagai berikut:
- a. Tahun 2019
    - Gerbang Wringin Anom arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar

terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.

- Gerbang Kedamean arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.
- Gerbang Cerme arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.
- Gerbang Bunder arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.
- Gerbang Manyar arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.

b. Tahun 2030

- Gerbang Wringin Anom arah masuk terdapat 2 gardu tol otomatis khusus

gol. I, 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 2 gardu tol otomatis khusus gol. I, 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.

- Gerbang Kedamean arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.
- Gerbang Cerme arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.
- Gerbang Bunder arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus gol. I, 1 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.
- Gerbang Manyar arah masuk terdapat 2 gardu tol otomatis khusus gol. I, 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*, dan untuk arah keluar terdapat 2 gardu tol otomatis khusus gol. I, 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu *On Board Unit*.

### **2.3 Jalan Tol**

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia nomor 38 tahun 2004 Pasal 1 ayat 7 tentang Jalan, pengertian dari jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Pada Pasal 1 ayat 8 disebutkan pula Jalan tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol. Tujuan jalan tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (BPJT) adalah:

1. Memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang
2. Meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi
3. Meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan
4. Meringankan beban dan Pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan

Manfaat jalan tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (BPJT) adalah:

1. Pembangunan jalan tol akan berpengaruh pada perkembangan wilayah dan peningkatan ekonomi
2. Meningkatkan mobilitas dan aksesibilitas orang dan barang
3. Pengguna jalan tol akan mendapatkan keuntungan berupa penghematan biaya operasi kendaraan (BOK) dan waktu disbanding apabila melewati jalan non tol

4. Badan usaha mendapatkan pengembalian investasi melalui pendapatan tol yang tergantung kepastian tarif tol.

### **2.3.1 Maksud, Tujuan, dan Lingkup Jalan Tol**

Menurut Peraturan Pemerintah No 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol memiliki maksud, tujuan, dan lingkup sebagai berikut:

1. Penyelenggaraan jalan tol dimaksudkan untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil-hasilnya serta keseimbangan dalam pengembangan wilayah dengan memperhatikan keadilan, yang dapat dicapai dengan membina jaringan jalan yang dananya berasal dari pengguna jalan.
2. Penyelenggaraan jalan tol bertujuan meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya.
3. Lingkup Peraturan Pemerintah ini mencakup pengaturan penyelenggaraan jalan tol, BPJT, serta hak dan kewajiban Badan Usaha dan pengguna jalan tol.

### **2.3.2 Syarat Teknis dari Jalan Tol**

Menurut Peraturan Pemerintah No 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol pada pasal 5 mempunyai syarat teknis seperti berikut:

1. Jalan tol mempunyai tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari jalan umum yang ada dan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi.

2. Jalan tol yang digunakan untuk lalu lintas antar kota didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 (delapan puluh) kilometer per jam, dan untuk jalan tol di wilayah perkotaan didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 (enam puluh) kilometer per jam.
3. Jalan tol didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terberat (MST) paling rendah 8 (delapan) ton.
4. Setiap ruas jalan tol harus dilakukan pemagararan, dan dilengkapi dengan fasilitas penyebrangan jalan dalam bentuk jembatan atau terowongan
5. Pada tempat-tempat yang dapat membahayakan pengguna jalan tol, harus diberi bangunan pengaman yang mempunyai kekuatan dan struktur yang dapat menyerap energi benturan kendaraan.
6. Setiap jalan tol wajib dilengkapi dengan aturan perintah dan larangan yang dinyatakan dengan rambu lalu lintas, marka jalan, dan/atau alat pemberi isyarat lalu lintas.
7. Ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) dilaksanakan berdasarkan ketentuan peraturan lalu lintas dan angkutan jalan
8. Ketentuan persyaratan teknik sebagaimana dimaksud pada ayat (1), ayat (2), ayat (3), ayat (4), dan ayat (5) diatur lebih lanjut peraturan Menteri.

### **2.3.3 Spesifikasi dari Jalan Tol**

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 tentang jalan tol pada pasal 6 disebutkan bahwa spesifikasi dari jalan tol sebagai berikut:

1. Tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya

2. Jumlah jalan masuk dan keluar ke dan dari jalan keluar harus terkendali secara penuh
3. Jarak antar simpang susun, paling rendah 5 km untuk jalan tol luar perkotaan dan paling rendah 2 km untuk jalan tol dalam perkotaan
4. Jumlah lajur sekurang-kurangnya dua lajur per arah
5. Menggunakan pemisah atau median
6. Lebar bahu jalan sebelah harus dapat dipergunakan sebagai lalu-lintas sementara dalam keadaan darurat

#### **2.4 Jenis Kendaraan Pada Jalan Tol**

Pada Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370/KPTS/M/2007 menetapkan golongan jenis kendaraan bermotor pada ruas jalan tol adalah seperti pada Tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2.1** Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi

GOLONGAN	JENIS KENDARAAN
Golongan I	Sedan, jip, pickup, bus kecil, truk kecil (3/4), dan bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima) gandar atau lebih

*(Sumber: Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370/KPTS/M/2007)*

Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014) mengklasifikasikan kendaraan pada jalan bebas hambatan sebagai berikut:

- KR : Mobil penumpang, Pickup, Truk kecil, dengan panjang tidak lebih dari atau sama dengan 5,5 m
- KS : Bus dan Truk 2 sumbu, dengan panjang tidak lebih dari atau sama dengan 9,0m
- BB : Bus besar, dengan panjang 5,5 m–12,0 m
- TB : Truk 3 sumbu dan Truk kombinasi dengan panjang lebih dari 12,0 m.

## **2.5 Analisis Data Lalu Lintas**

### **2.5.1 Data Masukan Lalu Lintas**

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014), data masukan lalu lintas terdiri dari dua, yaitu data arus lalu lintas eksisting dan data arus lalu lintas rencana. Data lalu lintas eksisting digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja lalu lintas. Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam desain ( $q_{JP}$ ) yang ditetapkan dari LHRT, menggunakan faktor  $k$ . Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam desain ( $q_{jp}$ ) yang ditetapkan dari LHRT, menggunakan faktor  $k$

## **2.6 Gerbang Tol**

Menurut Standar Geometrik Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol No. 007/BM/2009, gerbang tol adalah tempat pelayanan transaksi tol bagi pemakai jalan tol yang terdiri dari beberapa gardu dan sarana kelengkapan lainnya.

### 2.6.1 Kriteria Umum

Menurut Standar Geometrik Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol No. 007/BM/2009, gerbang tol harus direncanakan sesuai dengan kriteria sebagai berikut:

1. Bentuk konstruksi atap dan tinggi minimum gerbang tol dibuat sedemikian mungkin rupa sehingga mempunyai ruang bebas pada lajur lalu lintas dengan tinggi minimum 5,10 m.
2. Lebar atap gerbang tol minimum 13 m dan bentuk listplanknya dibuat sedemikian sehingga memungkinkan pemasangan lampu lalu lintas ataupun lane indicator. Penempatan kolom gerbang harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu pandangan bebas pengumpul tol ke arah datangnya kendaraan dan kebutuhan akan ruang gerak yang memadai bagi karyawan gerbang dalam melaksanakan tugasnya di gerbang tol
3. Untuk gerbang tol dengan jumlah lebih dari 10 lajur (9 pulau tol) diharuskan dilengkapi dengan terowongan penghubung antar gardu dan ke kantor gerbang untuk keselamatan dan keamanan pengumpul tol yang sekaligus menampung utilitas.
4. Penempatan lampu atap gerbang agar dibuat sedemikian mungkin hingga tidak menyilaukan pengumpul tol untuk melihat kendaraan yang datang serta tidak mengganggu fungsi *lane indicator*

### 2.7 Gardu Tol

Menurut Standar Geometrik Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol, gardu tol adalah ruang tempat berkerja

pengumpul tol untuk melaksanakan tugas pelayanan kepada pemakai jalan. Gardu tol perlu direncanakan sedemikian rupa sehingga menciptakan kondisi kerja yang cukup nyaman dan aman bagi pengumpul tol.

Ukuran gardu tol minimal lebar 1,25 meter, panjang 2,00 meter, dan tinggi 2,5 meter. Pintu gardu tol berupa pintu geser dan diletakkan pada bagian belakang gardu, dengan lebar minimum 0,60 meter.

### **2.7.1 Jumlah Kebutuhan Gardu Tol**

Untuk menetapkan jumlah lajur atau jumlah gardu tol yang direncanakan, akan ditentukan oleh 3 faktor yaitu:

1. Volume lalu lintas
2. Waktu pelayanan di gardu tol.
3. Standar pelayanan (jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan)

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan pada periode waktu tertentu, diukur dalam satuan kendaraan per satuan waktu. Volume lalu lintas suatu jalan akan bervariasi tergantung pada volume total dua arah, arah lalu lintas, volume harian, bulanan dan tahunan pada komposisi kendaraan.

Waktu pelayanan merupakan waktu yang diberikan dalam melayani jasa. Waktu pelayanan tol sangat dipengaruhi oleh system pengumpulan tol dan kemampuan peralatan tol maupun keterampilan dan kesiapan petugas pengumpul tol maupun pemakai jalan. Besarnya waktu pelayanan tol menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol adalah sebagai berikut:

- a. Sistem pengumpulan terbuka
  1. Gardu masuk/keluar: 6 detik
- b. Sistem pengumpulan tol tertutup
  1. Gardu masuk: 5 detik
  2. Gardu keluar: 9 detik
- c. Sistem pengumpulan otomatis
  1. Gardu ambil kartu: 4 detik
  2. Gardu transaksi : 5 detik

Dalam kondisi normal, jumlah antrian kendaraan yang diperkenankan pada setiap gardu tol adalah maksimal 10 kendaraan

## 2.8 Teori Antrian

Antrian yang panjang sering sekali terjadi di lingkungan sekitar kita, seperti saat membeli tiket kereta api di stasiun, tiket menonton di bioskop dan sebagainya. Timbulnya antrian ini dikarenakan tingkat pelayanan yang tinggi yang melebihi kapasitas pelayanan. Tujuan teori antrian ialah merencanakan fasilitas pelayanan untuk mengatasi lamanya antrian yang sering terjadi.

Subyek penting yang berperan dalam sistem antrian ini adalah pelanggan pelayan, dimana terdapat periode waktu antar pelanggan untuk mendapatkan kebutuhan pelayanan dari pelayan. Menurut Gross *et al* (2008), sistem antrian adalah kedatangan pelanggan untuk mendapatkan pelayanan, menunggu untuk dilayani jika fasilitas pelayan masih sibuk, mendapatkan pelayanan dan kemudian meninggalkan sistem setelah dilayani.

Ada tiga komponen dalam sistem antrian yaitu:

1. Kedatangan, populasi yang akan dilayani
2. Antrian
3. Fasilitas pelayanan

### **2.8.1 Kedatangan Populasi yang akan Dilayani**

Karakteristik dari populasi yang akan dilayani dapat dilihat menurut ukurannya, pola kedatangan, serta perilaku dari populasi yang akan dilayani. Menurut ukurannya, populasi yang akan dilayani bisa terbatas (*finite*) bisa juga tidak terbatas (*infinite*). Sebagai contoh jumlah mahasiswa yang antri untuk registrasi di sebuah perguruan tinggi sudah diketahui jumlahnya (*finite*), sedangkan jumlah nasabah bank yang antri untuk setor, menarik tabungan, maupun membuka rekening baru, bisa tak terbatas (*infinte*).

Pola kedatangan adalah dengan cara bagaimana individu-individu dari populasi memasuki sistem. Pola kedatangan bias teratur, bisa juga acak (*random*). Untuk pola kedatangan acak dapat digambarkan menggunakan distribusi probabilitas poisson. Menurut Walpole (1995), distribusi poisson adalah distribusi peluang acak poisson  $X$ , yang menyatakan banyaknya sukses yang terjadi dalam suatu selang waktu atau daerah tertentu. Bilangan  $X$  yang menyatakan banyaknya hasil percobaan dalam suatu percobaan poisson disebut peubah acak poisson dan sebaran peluangnya disebut sebaran poisson. Ciri-ciri distribusi Poisson (Walpole, 1995):

1. Banyaknya hasil percobaan yang terjadi dalam suatu interval waktu atau suatu daerah tertentu, tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi pada interval waktu atau daerah yang lain yang terpisah.

2. Probabilitas terjadinya hasil percobaan selama suatu interval waktu yang singkat atau dalam suatu daerah yang kecil, sebanding dengan panjang interval waktu atau besarnya daerah tersebut dan tidak bergantung pada banyaknya hasil percobaan yang terjadi diluar interval waktu atau daerah tersebut.
  3. Probabilitas lebih dari satu hasil percobaan yang terjadi dalam interval waktu yang singkat atau dalam daerah yang kecil dapat diabaikan.
- Populasi yang akan dilayani mempunyai perilaku yang berbeda-beda dalam membentuk antrian. Ada tiga jenis perilaku: *reneging*, *balking*, dan *jockeying*. *Reneging* menggambarkan situasi dimana seseorang masuk dalam antrian, namun belum memperoleh pelayanan, kemudian meninggalkan antrian tersebut. *Balking* menggambarkan orang yang tidak masuk dalam antrian dan langsung meninggalkan tempat antrian. *Jockeying* menggambarkan orang yang pindah-pindah antrian. Pada studi ini, perilaku yang dipakai adalah *Reneging*.

### 2.8.2 Antrian

Menurut Walpole (1995), Batasan panjang antrian bisa terbatas (limited) bisa juga tidak terbatas (unlimited). Sebagai contoh antrian di jalan tol masuk dalam kategori panjang antrian yang tidak terbatas. Sementara antrian di rumah makan, masuk kategori Panjang antrian yang terbatas karena keterbatasan tempat. Dalam kasus batasan panjang antrian yang tertentu (definite line-length) dapat menyebabkan penundaan kedatangan antrian bila batasan telah tercapai.

### 2.8.3 Fasilitas Pelayanan

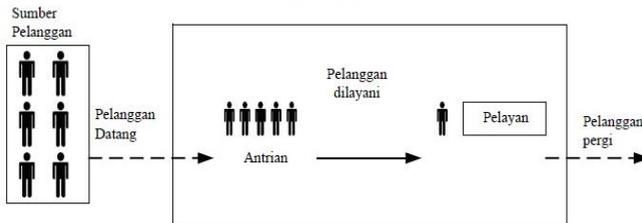
Karakteristik fasilitas pelayanan dapat dilihat dari tiga hal, yaitu tata letak (lay out) secara fisik dari sistem antrian, disiplin antrian, waktu pelayanan.

#### ➤ Tata Letak

Tata letak atau struktur antrian dapat digambarkan dengan jumlah saluran atau bisa juga disebut sebagai jumlah pelayan. Menurut Napitu (2008), ada 4 model tata letak sistem antrian yaitu:

#### 1. Single Channel-Single Server

Struktur antrian ini hanya memiliki satu pemberi layanan serta satu jenis layanan yang diberikan. Contoh dari sistem ini adalah pembelian tiket busoleh satu loket. Struktur antrian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.

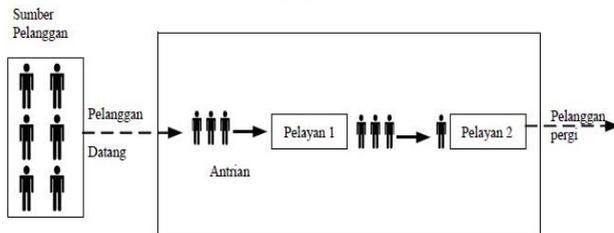


**Gambar 2.1** Struktur Antrian Single Channel-Single Server

(Sumber: Napitu, 2008)

## 2. Single Channel-Multiserver

Struktur antrian ini memiliki dua atau lebih jenis layanan yang dilaksanakan secara berurutan, tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan. Contohnya adalah pada proses pencucian mobil. Struktur antrian ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.

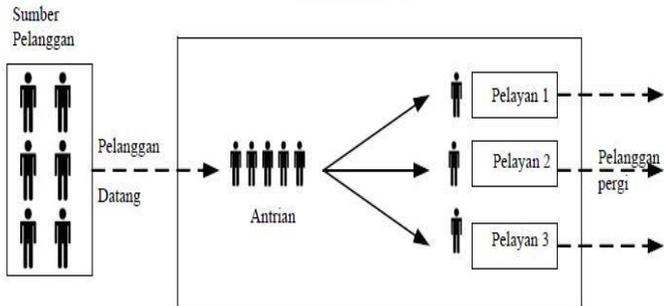


**Gambar 2.2** Struktur Antrian Single Channel-Multi Server

(Sumber: Napitu, 2008)

## 3. Multichannel-Single Server

Struktur antrian ini memiliki satu jenis layanan dalam sistem antrian tersebut, namun terdapat lebih dari satu pemberi layanan. Contoh dari struktur antrian ini adalah pembelian tiket yang dilayani oleh lebih dari satu loket, pelayanan nasabah bank, dan lain-lain. Struktur antrian ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.

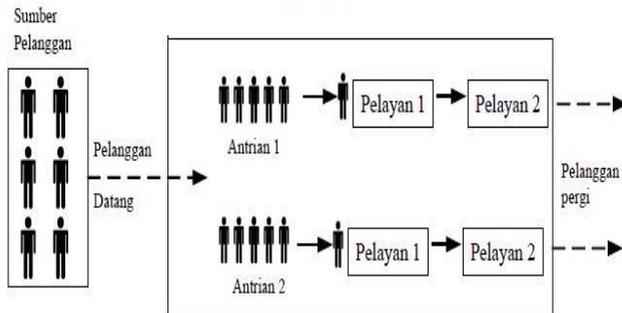


**Gambar 2.3** Struktur Antrian Multichannel-Single Server

(Sumber: Napitu, 2008)

#### 4. Multichannel-Multiserver

Struktur antrian ini memiliki lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan dalam setiap jenis layanan. Contoh dari struktur antrian ini adalah pelayanan kepada pasien di rumah sakit dari pendaftaran, diagnosa, tindakan medis sampai dengan pembayaran. Setiap sistem-sistem ini mempunyai beberapa fasilitas pelayanan pada setiap tahap, sehingga lebih dari satu individu dapat dilayani pada suatu waktu. Struktur antrian ini dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



**Gambar 2.4** Struktur Multi Channel-Multi Server

(Sumber: Napitu, 2008)

#### ➤ Disiplin Antrian

Disiplin antrian adalah konsep membahas mengenai kebijakan dalam mana para langganan dipilih dari antrian untuk dilayani, berdasarkan urutan kedatangan pelanggan. Menurut Gross (2008), ada 4 bentuk disiplin pelayanan yang biasa digunakan dalam praktek yaitu:

1. First Come, First Served (FCFS) atau First In, First Out (FIFO)

Datang pertama, dilayani pertama merupakan suatu peraturan dimana pelanggan yang dilayani terlebih dahulu adalah pelanggan yang datang pertama kali. Contohnya seperti pelanggan yang antri pada loket penjualan tiket.

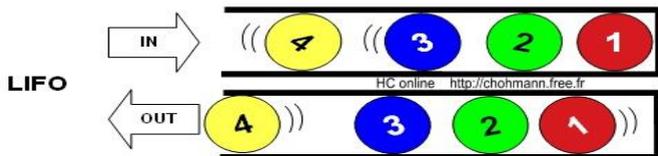


**Gambar 2.5** Disiplin Antrian First In, First Out

(Sumber: <<https://slideshow.com/products/>>, (5 Desember 2018))

## 2. Last Come, First Served (LCFS)

Datang terakhir, dilayani pertama merupakan antrian dimana pelanggan yang datang terakhirlah yang akan dilayani terlebih dahulu. Contohnya seperti pada sistem antrian bongkar muat barang dalam truk, dimana barang yang masuk terakhir akan keluar terlebih dahulu. Disiplin antrian ini dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Input sequence 1, 2, 3, 4 ≠ Output sequence 4, 3, 2, 1

**Gambar 2.6** Disiplin Antrian Last In, First Out

(Sumber: <<https://eleque.com/disiplin-antrian/>>, 5 Desember 2018))

### 3. Service in Random Order (SIRO)

Pelayanan dalam urutan acak merupakan salah satu disiplin antrian dimana pelayanan dilakukan dengan aturan acak (Random Order). Contohnya seperti dalam suatu kegiatan arisan, dimana pemenangnya didasarkan pada proses undian.

### 4. Priority Service (PS)

Disiplin antrian ini merupakan prioritas pelayanan yang dilakukan khusus kepada pelanggan utama yang mempunyai prioritas tinggi dibandingkan dengan pelanggan yang mempunyai prioritas rendah. Contohnya seperti pada pasien rumah sakit yang mendapatkan prioritas penanganan terlebih dahulu dikarenakan mempunyai penyakit yang lebih berat dibandingkan dengan pasien lain.

## **2.9 Sistem Antrian Gerbang Tol**

Sistem antrian yang digunakan pada gerbang tol adalah Single Channel-Single Server. Menurut Kakiay (2004), Single channel berarti hanya ada satu jalur yang memasuki sistem pelayanan atau satu fasilitas pelayanan. Single server berarti hanya ada satu pelayanan sistem. Antrian dengan saluran tunggal merupakan model antrian yang paling sederhana dan banyak dijumpai.

Asumsi yang digunakan dalam model antrian ini adalah:

1. Kedatangan dilayani berdasarkan antrian first come first served (FCFS) dan setiap konsumen yang datang menanti gilirannya untuk dilayani tanpa memperhatikan panjangnya antrian
2. Kedatangan tidak tergantung pada kedatangan sebelumnya dan rata-rata tingkat kedatangan tidak berubah setiap waktunya
3. Kedatangan mengikuti distribusi poisson dan berasal dari sumber yang tidak terbatas
4. Waktu pelayanan bervariasi antara konsumen yang satu dengan dengan konsumen yang lainnya serta tidak bergantung satu sama lain tetapi rata-rata tingkat pelayanan diketahui
5. Waktu pelayanan mengikuti berdistribusi eksponensial negatif
6. Rata-rata laju pelayanan lebih besar dari rata-rata kedatangan.

## **2.10 Sistem Pembayaran pada Gerbang Tol**

Gerbang tol memiliki berbagai macam system pengumpulan atau pembayaran tol. Sistem pembayaran yang hingga saat ini diterapkan di gerbang-gerbang tol Indonesia adalah Gardu Tol Otomatis (GTO).

### **2.10.1 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis**

Gardu Tol Otomatis (GTO) merupakan system pembayaran non-tunai yang menggunakan uang elektronik yang tersimpan didalam kartu. Cara pembayaran menggunakan GTO yaitu kartu yang sudah berisikan uang elektronik disentuh pada mesin GTO pada gardu tol dan palang penghalan akan terbuka. Pemerintah sedang mengoptimalkan penggunaan system pembayaran GTO di seluruh gerbang tol Indonesia karena dengan sistem ini transaksi pembayaran tol

akan lebih cepat. Gambar 2.7 menunjukkan contoh pembayaran menggunakan GTO.



**Gambar 2.7** Alat Pembayaran Gardu Tol Otomatis

(Sumber:

<URL:<http://www.tribunnews.com/nasional/2017/11/26/e-toll-sering-bermasalah-maryono-ingat-ditempel-bukan-digesek>>, (5 Desember 2018))



**Gambar 2.8** Gerbang Tol Otomatis

(Sumber: <URL:<https://www.merdeka.com/uang/jasa-marga-klaim-masyarakat-lebih-senang-bayar-tol-pakai-kartu.html>>, (5 Desember 2018))

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Umum**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai langkah–langkah yang diambil selama penulisan tugas akhir serta bagan aliran penyusunan penulisan tugas akhir ini. Hal ini bertujuan agar pekerjaan yang dilakukan sesuai dengan aturan-aturan yang berlaku selama pelaksanaan penulisan.

#### **3.2 Uraian Kegiatan**

Uraian kegiatan yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri dari berbagai tahapan antara lain adalah:

##### **3.2.1 Tahap Identifikasi Masalah**

Dalam tahap ini, hal yang diamati adalah kondisi lapangan dan permasalahan yang terjadi. Dari pengamatan yang telah dilakukan, maka diangkat topik evaluasi gerbang tol pada tugas akhir ini. Sehingga hal yang perlu diidentifikasi adalah kondisi lapangan Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi pada Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi di Sumatera Utara. Beberapa rumusan masalah yang dapat diambil terkait permasalahan yang terjadi di gerbang tol tersebut yaitu:

1. Berapa panjang antrian yang terjadi pada gerbang tol dilihat dari tingkat kedatangan dan waktu pelayanan?

Panjang antrian yang terjadi pada gerbang tol dilihat dari tingkat kedatangan dan waktu pelayanan yang dapat dihitung melalui data primer yang berisi hasil survei tingkat kedatangan kendaraan yang memasuki gerbang tol, panjang antrian pada

gerbang tol, dan waktu pelayanan gerbang tol yang dilakukan pada gerbang tol yang dievaluasi.

2. Berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan yang ada pada gerbang tol dengan menggunakan sistem Gerbang Tol Otomatis (GTO)?

Jumlah gardu tol yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan yang ada pada gerbang tol dengan menggunakan sistem Gerbang Tol Otomatis (GTO) dapat dihitung dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Data tersebut kemudian digunakan untuk analisis tingkat kedatangan dan analisis waktu pelayanan. Setelah itu direncanakan gerbang tol yang optimal dengan menggunakan sistem antrian *First In, First Out* (FIFO).

3. Berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan yang ada pada gerbang tol dengan menggunakan sistem Gerbang Tol Otomatis (GTO) pada 5 tahun mendatang?

Jumlah gardu tol yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan yang ada pada gerbang tol dengan menggunakan sistem Gerbang Tol Otomatis (GTO) dapat dihitung dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Data tersebut kemudian digunakan untuk analisis tingkat kedatangan dan analisis waktu pelayanan. Setelah itu direncanakan gerbang tol yang optimal dengan

menggunakan sistem antrian *First In, First Out* (FIFO).

### **3.2.2 Tahap Studi Literatur**

Dalam tahap ini penulis mencari acuan yang dapat menunjang pelaksanaan penulisan tugas akhir ini, baik berupa jurnal, informasi–informasi dari internet, dan buku tulis.

### **3.2.3 Tahap Pengumpulan Data**

Data yang dikumpulkan dalam penulisan tugas akhir ini terdiri dari 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Berikut penjelasan tentang data-data yang akan dikumpulkan:

#### **1. Data Primer**

Data primer dilakukan dengan pengambilan data secara langsung di lapangan berupa metode observasi yaitu survei secara langsung di lapangan. Survei dilakukan pada gerbang tol di Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi karena pada gerbang tol ini terjadi kemacetan. Survei yang dilakukan meliputi:

1. Tingkat kedatangan, dilakukan dengan cara menghitung jumlah kendaraan yang datang memasuki gerbang tol.
2. Waktu pelayanan (*service time*), dilakukan pada saat kendaraan dalam keadaan berhenti di depan gardu (loket) untuk mengadakan transaksi sampai kendaraan tersebut bergerak meninggalkan gardu dan melewati palang.
3. Panjang antrian, dilakukan dengan mengukur panjang antrian yang terjadi sesaat setelah kendaraan berada tepat di depan gardu untuk melakukan transaksi

## 2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data–data yang didapatkan dari hasil studi yang telah dilaksanakan sebelumnya, yang terdiri dari:

1. Data Konfigurasi Gerbang Tol  
Untuk mengetahui berapa jumlah gardu tol yang ada pada gerbang tol
2. Data Volume Lalu-Lintas  
Untuk mengetahui tingkat kedatangan gerbang tol.

### 3.2.4 Tahap Analisis Data

Dalam tahap ini data diolah dari pengumpulan data yang telah dilakukan untuk menganalisis objek penelitian. Tahap analisis data yang dilakukan meliputi:

#### 1. Analisis Tingkat Kedatangan

Analisis tingkat kedatangan kendaraan diperlukan untuk menghitung jumlah berapa banyak kendaraan yang datang pada gerbang tol yang ditinjau. Analisis tingkat kedatangan dilakukan dengan menggunakan analisis regresi linear untuk mendapatkan volume lalu lintas *peak hour*. Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam desain ( $q_jp$ ) yang ditetapkan dari LHRT, menggunakan faktor  $k$

$$q_jp = LHRT \times k \quad (3.1)$$

dimana:

$q_jp$  = arus lalu lintas dalam satuan kendaraan/jam, yang digunakan untuk desain

LHRT = volume lalu lintas rata-rata tahunan uang ditetapkan dari survey perhitungan lalu lintas selama satu tahun penuh dibagi jumlah hari dalam tahun tersebut, dinyatakan dalam kend./hari

$k$  = faktor rencana, ditetapkan dari kajian fluktuasi arus lalu lintas jamjaman selama satu tahun. Nilai  $k$  yang dapat digunakan untuk jalan bebas hambatan yaitu sebesar 11%

## 2. Analisis Waktu Pelayanan

Menganalisis waktu pelayanan yang telah disurvei sebelumnya menggunakan frekuensi kendaraan yang melintas sehingga mendapatkan frekuensi kumulatif serta presentase. Untuk waktu pelayanan (WP) dapat diperoleh melalui:

$$WP = \frac{1}{\mu} \quad (3.2)$$

dimana:

WP = waktu pelayanan

$\mu$  = tingkat pelayanan

## 3. Analisis Intensitas Lalu Lintas

Menganalisis tingkat pelayanan berdasarkan waktu pelayanan dan tingkat kedatangan kendaraan tiap golongan per gardunya Perbandingan antara waktu antar kedatangan dengan tingkat pelayanan dengan persyaratan bahwa nilai tersebut harus kurang dari 1, karena jika nilai tersebut lebih dari 1 menunjukkan bahwa tingkat antar kedatangan selalu lebih besar dari tingkat pelayanan dilambangkan dengan  $\rho$ . Notasi  $\rho$  yang didefinisikan sebagai nisbah antara tingkat kedatangan ( $\lambda$ ),

dengan tingkat pelayanan ( $\mu$ ) dengan persyaratan bahwa nilai tersebut harus selalu lebih kecil dari 1.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \quad (3.3)$$

dimana:

$\rho$  = intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian

$\mu$  = tingkat pelayanan

$\lambda$  = tingkat kedatangan

Jika nilai  $\rho > 1$ , hal ini berarti bahwa tingkat kedatangan lebih besar dari tingkat pelayanan. Jika hal ini terjadi, maka dapat dipastikan akan terjadi antrian yang akan selalu bertambah panjang (tidak terhingga).

#### 4. Analisis Antrian pada Gerbang Tol

Untuk mengetahui panjang antrian yang terjadi dan waktu untuk mengantri dalam gerbang tol. Menggunakan jumlah gardu tol yang sama dengan analisis perbandingan tingkat pelayanan dan tingkat kedatangan. Sistem antrian yang dipakai dalam disiplin antrian gerbang tol adalah *First In First Out* (FIFO) atau *First Come First Served* (FCFS). FIFO/FCFS disini merupakan sistem dimana kendaraan yang pertama memasuki antrian maka ialah yang mendapatkan fasilitas layanan terlebih dahulu.

Persamaan (3.4) – (3.7) berikut merupakan analisis yang dapat digunakan untuk menghitung n, q, d, dan w pada disiplin antrian FIFO. (Tamin, 2003)

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (3.4)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} = \frac{\rho^2}{1-\rho} \quad (3.5)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{(\mu-\lambda)} \quad (3.6)$$

$$\bar{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} = d - \frac{1}{\mu} \quad (3.7)$$

dimana:

$\lambda$  = tingkat kedatangan rata-rata

$\mu$  = tingkat pelayanan rata-rata

$\rho$  = intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian =  $\frac{\lambda}{\mu}$

$\bar{n}$  = jumlah rata-rata kendaraan atau orang dalam sistem  
(kendaraan atau orang per satuan waktu)

$\bar{q}$  = jumlah rata-rata kendaraan atau orang dalam antrian  
(kendaraan atau orang per satuan waktu)

$\bar{d}$  = waktu rata-rata kendaraan atau orang dalam sistem  
(satuan waktu)

$\bar{w}$  = waktu rata-rata kendaraan atau orang dalam antrian  
(satuan waktu)

Beberapa asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FIFO adalah:

- a. Persamaan (3.4) – (3.7) hanya berlaku untuk lajur-tunggal dengan nilai  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ . Jika nilai  $\rho > 1$ , maka

- diharuskan menambah beberapa lajur-tunggal (multilajur
- b. Jika terdapat lebih dari 1 (satu) lajur (katakanlah  $N$  lajur), maka diasumsikan bahwa tingkat kedatangan ( $\lambda$ ) akan membagi dirinya secara merata untuk setiap lajur sebesar  $\frac{\lambda}{N}$  dimana  $N$  adalah jumlah lajur. Dengan demikian, dapat diasumsikan akan terbentuk  $N$  buah antrian berlajur-tunggal dimana setiap antrian berlajur-tunggal akan dapat menggunakan persamaan (3.3) – (3.6)
  - c. Kendaraan yang sudah mengantri pada suatu lajur antrian diasumsikan tidak boleh berpindah antrian ke lajur lainnya
  - d. Waktu pelayanan antar tempat pelayanan diasumsikan relative sama (atau dengan kata lain standar deviasi waktu pelayanan antar tempat pelayanan relative kecil).

## 5. Analisis Regresi Linear

Analisis regresi linear merupakan salah satu metode statistika yang dapat digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua peubah atau lebih. Analisis ini dapat memodelkan hubungan antara peubah tidak bebas dengan satu atau lebih peubah bebas. Pada tugas akhir ini menggunakan analisis regresi linear sederhana, yaitu:

Analisis ini digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu peubah tidak bebas dengan satu peubah bebas menggunakan Persamaan (3.8).

$$y = a + bx \quad (3.8)$$

Nilai  $a$  dan  $b$  dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.9) dan (3.10).

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x \sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3.9)$$

$$a = \frac{\sum y - (b \sum x)}{n} \quad (3.10)$$

dimana: y = peubah tidak bebas

x = peubah bebas

a = konstanta regresi

b = koefisien regresi

n = jumlah data pengamatan

### 3.2.5 Pembahasan

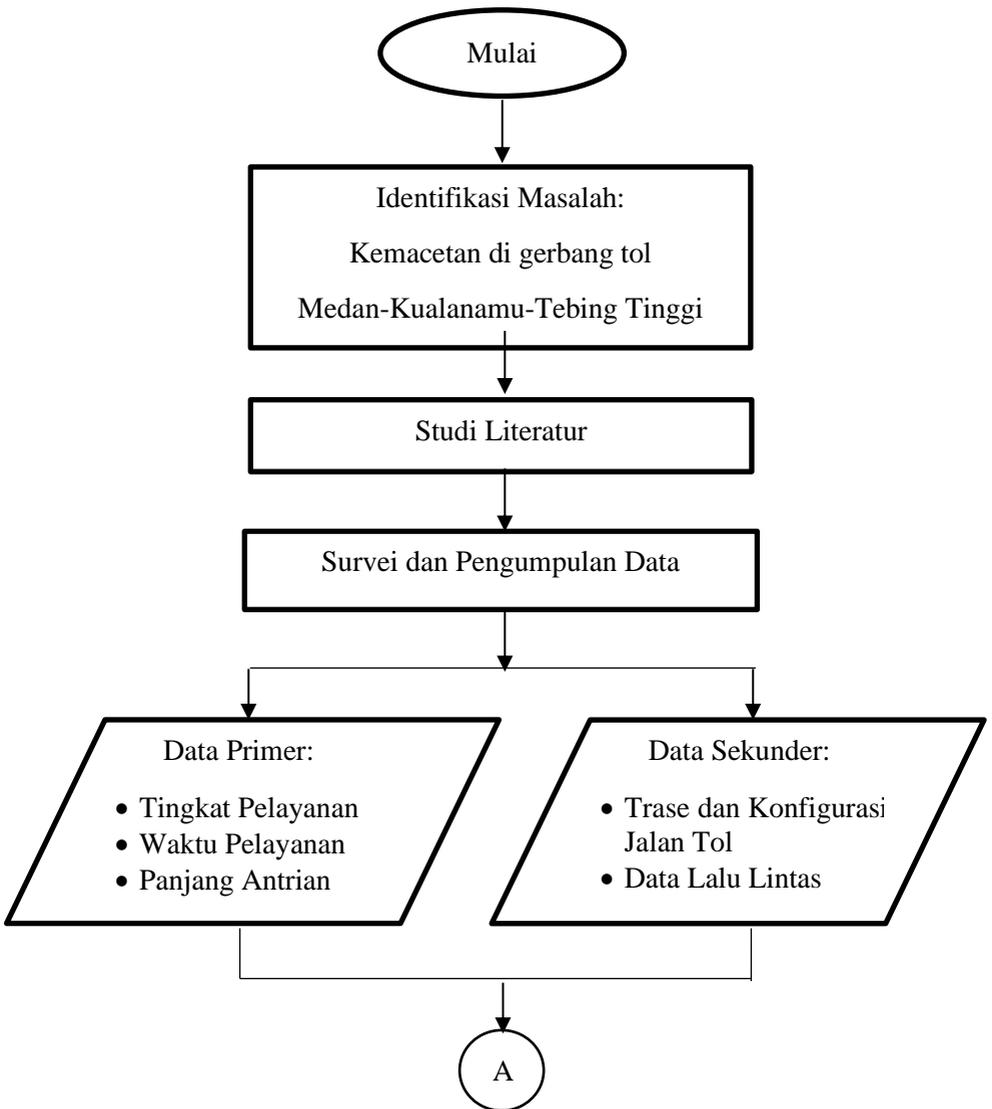
Pada tahap ini adalah tahap membahas evaluasi Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi di Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi seperti tingkat kedatangan, panjang antrian, dan jumlah gerbang tol yang optimal dengan meninjau sistem gerbang tol otomatis (GTO).

### 3.2.6 Kesimpulan

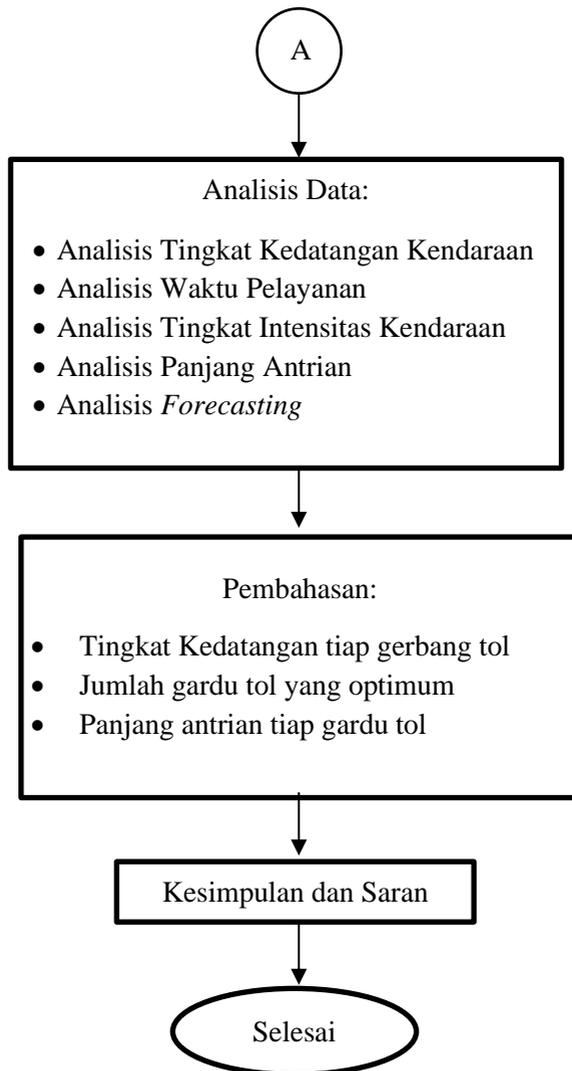
Setelah mengolah data-data yang ada, maka akan didapatkan kesimpulan dan saran yang nantinya bisa menjadi acuan ataupun referensi perencanaan gerbang tol pada gerbang tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi.

### 3.3 Bagan Alir (*Flowchart*)

Uraian kegiatan dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Bagan Alir (*flowchart*) yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 3.1** Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir



**Gambar 3.1** Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir (Lanjutan)



## 2. Formulir Waktu Pelayanan Kendaraan

Formulir ini digunakan untuk mencatat waktu yang diperlukan gardu tol untuk melayani setiap 1 (satu) kendaraan yang masuk ke gerbang tol. Formulir ini digunakan dengan cara mengisi waktu saat survei, kemudian mengisi waktu yang diperlukan gardu tol setiap 1 (satu) kendaraan yang masuk ke gerbang tol. Pencatatan ini dilakukan selama 3 (tiga) jam dengan dibagi tiap 1 jam. Formulir yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2** Formulir Waktu Pelayanan

Waktu	Gardu Tol				

## 3. Formulir Panjang Antrian Kendaraan

Formulir ini digunakan untuk menghitung panjang antrian yang terjadi di tiap gardu tol saat kendaraan berhenti tepat di depan gardu tol untuk melakukan transaksi. Formulir ini digunakan dengan cara mengisi waktu saat survei, kemudian menghitung panjang antrian pada gardu tol. Pencatatan ini dilakukan selama 3 (tiga) jam dengan dibagi tiap 1 jam. Formulir yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3** Formulir Panjang Antrian Kendaraan

Waktu	Gardu Tol					Panjang Antrian (m)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB IV**

### **PENGUMPULAN DATA**

#### **4.1 Umum**

Dalam penyelesaian tugas akhir ini diperlukan beberapa data untuk dianalisis. Ada dua tipe data yang digunakan, yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan, sedangkan data sekunder adalah data penunjang yang didapatkan dari berbagai sumber (dokumen, buku, tugas akhir terdahulu, maupun data dari instansi terkait).

#### **4.2 Data Primer**

Terdapat tiga data primer yang digunakan dalam mengevaluasi kinerja dan pelayanan gerbang tol yang ditinjau, yaitu tingkat kedatangan kendaraan pada tiap gerbang tol yang ditinjau, waktu pelayanan, dan panjang antrian.

##### **4.2.1 Tingkat Pelayanan Kendaraan**

Terdapat dua gerbang tol yang ditinjau yang tiap gerbang tol dipisahkan antara jalur masuk dan keluar kendaraan. Tingkat kedatangan kendaraan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

**Tabel 4.1** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rambah Masuk Gardu Tol *Multi*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	372	107	51	39	30
17:00-18:00	393	153	59	44	36
18:00-19:00	321	160	68	48	49
<b>TOTAL</b>	1086	420	178	131	115
<b>PROPORSI</b>	56%	22%	9%	7%	6%

**Tabel 4.2** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rambah Masuk Gardu Tol *Single*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	253	0	0	0	0
17:00-18:00	310	0	0	0	0
18:00-19:00	263	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	826	0	0	0	0
<b>PROPORSI</b>	100%	0%	0%	0%	0%

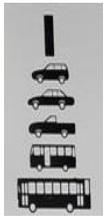
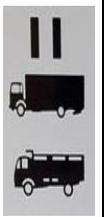
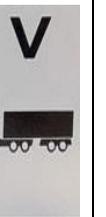
**Tabel 4.3** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rambah Keluar Gardu Tol *Multi*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	325	145	52	27	16
17:00-18:00	344	132	55	34	23
18:00-19:00	355	124	43	29	14
<b>TOTAL</b>	1024	401	150	90	53
<b>PROPORSI</b>	60%	23%	9%	5%	3%

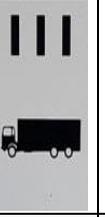
**Tabel 4.4** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Sei Rambah Keluar Gardu Tol *Single*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	347	0	0	0	0
17:00-18:00	389	0	0	0	0
18:00-19:00	229	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	965	0	0	0	0
<b>PROPORSI</b>	100%	0%	0%	0%	0%

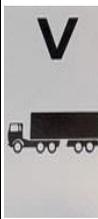
**Tabel 4.5** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Masuk Gardu Tol *Multi*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	286	194	56	39	37
17:00-18:00	424	201	68	54	50
18:00-19:00	336	183	60	48	42
<b>TOTAL</b>	1046	578	184	141	129
<b>PROPORSI</b>	50%	28%	9%	7%	6%

**Tabel 4.6** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Masuk Gardu Tol *Single*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	454	0	0	0	0
17:00-18:00	401	0	0	0	0
18:00-19:00	339	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	1194	0	0	0	0
<b>PROPORSI</b>	100%	0%	0%	0%	0%

**53Tabel 4.7** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar Gardu Tol *Multi*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	356	175	52	31	20
17:00-18:00	481	158	55	43	27
18:00-19:00	219	138	37	36	18
<b>TOTAL</b>	1056	471	144	110	65
<b>PROPORSI</b>	57%	26%	8%	5%	4%

**Tabel 4.8** Tingkat Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar Gardu Tol *Single*

<b>GOLONGAN</b>	1	2	3	4	5
<b>WAKTU</b>					
16:00-17:00	352	0	0	0	0
17:00-18:00	312	0	0	0	0
18:00-19:00	420	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	1084	0	0	0	0
<b>PROPORSI</b>	100%	0%	0%	0%	0%

#### 4.2.2 Panjang Antrian Kendaraan

Panjang antrian rata-rata yang terjadi pada gerbang-gerbang yang ditinjau dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

**Tabel 4.9:** Panjang Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Masuk

Panjang (dalam meter)	Gardu Tol		
	Gate 1 (GTO Multi)	Gate 3 (GTO Multi)	Gate 5 (GTO Single)
16:00-17:00	51.82 m	53.68 m	45.60 m
17:00-18:00	115.30 m	85.75 m	65.60 m
18:00-19:00	84.40 m	75.20 m	62.20 m

**Tabel 4.10:** Panjang Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Keluar

Panjang (dalam meter)	Gardu Tol		
	Gate 2 (GTO Multi)	Gate 4 (GTO Multi)	Gate 6 (GTO Single)
16:00-17:00	52.20 m	58.70 m	49.60 m
17:00-18:00	65.35 m	85.50 m	98.42 m
18:00-19:00	55.90 m	63.36 m	66.75 m

**Tabel 4.11:** Panjang Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi  
Masuk

Panjang (dalam meter)	Gardu Tol		
	Gate 1 (GTO Multi)	Gate 3 (GTO Multi)	Gate 5 (GTO Single)
16:00-17:00	85.28 m	105.55 m	75.68 m
17:00-18:00	105.62 m	113.92 m	124.74 m
18:00-19:00	80.43 m	75.15 m	78.35 m

**Tabel 4.12:** Panjang Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar

Panjang (dalam meter)	Gardu Tol		
	Gate 2 (GTO Multi)	Gate 4 (GTO Multi)	Gate 6 (GTO Single)
16:00-17:00	65.42 m	60.68 m	75.56 m
17:00-18:00	85.66 m	97.90 m	105.45 m
18:00-19:00	50.50 m	56.68 m	53.50 m

#### 4.2.3 Waktu Pelayanan

Waktu pelayanan rata-rata dari gerbang yang ditinjau dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

**Tabel 4.13:** Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Sei Rampah Masuk

Waktu (dalam detik)	Gardu Tol		
	Gate 1 (GTO Multi)	Gate 3 (GTO Multi)	Gate 5 (GTO Single)
16:00-17:00	5.563 detik	5.332 detik	5.25 detik
17:00-18:00	5.268 detik	5.275 detik	5.167 detik
18.00-19.00	5.175 detik	5.217 detik	5.374 detik

**Tabel 4.14:** Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Sei Rampah Keluar

Waktu (dalam detik)	Gardu Tol		
	Gate 2 (GTO Multi)	Gate 4 (GTO Multi)	Gate 6 (GTO Single)
16:00-17:00	5.756 detik	5.619 detik	5.576 detik
17:00-18:00	5.637 detik	5.709 detik	5.670 detik
18.00-19.00	5.520 detik	5.621 detik	5.550 detik

**Tabel 4.15:** Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Masuk

Waktu (dalam detik)	Gardu Tol		
	Gate 1 (GTO Multi)	Gate 3 (GTO Multi)	Gate 5 (GTO Single)
16:00-17:00	5.751 detik	5.563 detik	5.642 detik
17:00-18:00	5.464 detik	5.528 detik	5.513 detik
18.00-19.00	5.689 detik	5.593 detik	5.698 detik

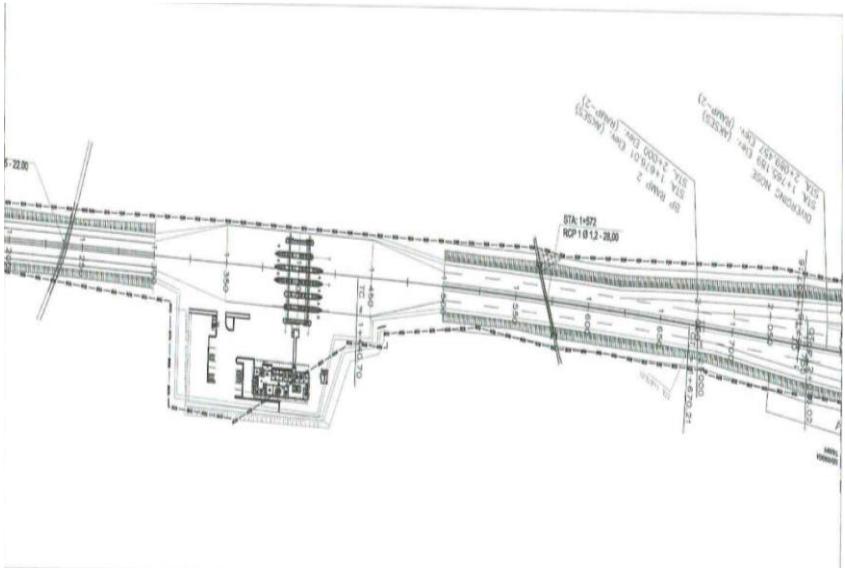
**Tabel 4.16:** Waktu Pelayanan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Keluar

Waktu (dalam detik)	Gardu Tol		
	Gate 2 (GTO Multi)	Gate 4 (GTO Multi)	Gate 6 (GTO Single)
16:00-17:00	5.653 detik	5.649 detik	5.723 detik
17:00-18:00	5.862 detik	5.813 detik	5.659 detik
18.00-19.00	5.473 detik	5.410 detik	5.520 detik

### 4.3 Data Sekunder

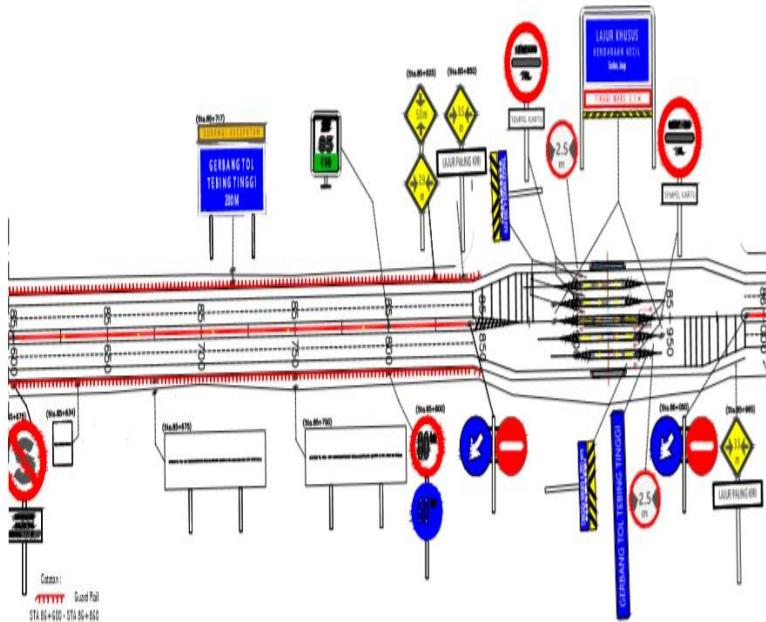
#### 4.3.1 Data Konfigurasi Gerbang Tol

Data Konfigurasi dari gerbang yang ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 4.1** Konfigurasi Gerbang Tol Sei Rampah

(Sumber: PT. Jasa Marga Kualanamu Tol, 2019)



**Gambar 4.2** Konfigurasi Gerbang Tol Tebing Tinggi

(Sumber: PT. Jasa Marga Kualanamu Tol, 2019)

## BAB V

### ANALISIS DATA

#### 5.1 Analisis Tingkat Kedatangan (*Arrival Rate*)

Untuk analisis tingkat kedatangan, maka perlu dilakukan analisis regresi linear untuk menghitung jumlah kendaraan yang datang pada gerbang tol yang ditinjau terlebih dahulu.

##### 5.1.1 Menggunakan Analisis Regresi Linear

Pada analisis ini tingkat kedatangan yang dianalisis adalah tingkat kedatangan kendaraan dengan jumlah kendaraan yang didapat dari hasil regresi linear.

Hasil perhitungan analisis tingkat kedatangan volume *peak hour* pada gerbang tol yang ditinjau, yaitu:

#### 1. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Data historis volume lalu lintas tahunan pada tahun 2014-2018 untuk gerbang tol Sei Rampah arah masuk dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut:

**Tabel 5.1** Volume Lalu Lintas Tahunan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Tahun	Jumlah Kendaraan
2014	3.853.257
2015	4.086.583
2016	4.376.372
2017	4.392.526
2018	4.569.438

(Sumber: PT Jasa Marga Kualanamu Tol, 2019)

Untuk menghitung hasil volume kendaraan pada tahun 2019, digunakan metode regresi linear dengan program bantu Microsoft Excel yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut:

**Tabel 5.2** Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.968305317
R Square	0.937615188
Adjusted R Square	0.91682025
Standard Error	81863.90768
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	3.0217E+11	3.02E+11	45.08863	0.006741211
Residual	3	20105098144	6.7E+09		
Total	4	3.22276E+11			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-346186652.8	52189496.38	-6.633263	0.00698	-512276922.7	-180096382.9	-512276922.7	-180096382.9
X Variable 1	173830.5	25887.64064	6.714807	0.006741	91444.47368	256216.5263	91444.47368	256216.5263

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.2, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2019 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lalu lintas 2019} &= a+bx \\
 &= -346186652.8 + (173830.5 \times 2019) \\
 &= 4.777.127 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah dilakukan digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2019 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}\text{Volume lalu lintas harian} &= 4.777.127/365 \\ &= 13.088 \text{ kendaraan/hari}\end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } peak \text{ hour} &= 13,088 \times 0.11 \\ &= 1,440 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 70% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 15% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 7% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut:

**Tabel 5.3** Proporsi Golongan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rambah Arah Masuk

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	70%	1008
II	15%	215
III	7%	101
IV	4%	58
V	4%	58

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1930/2756 \times 100\% = 70\%$  kendaraan/jam dan proporsi GTO *Single* =  $826/2756 \times 100\% = 30\%$ .

## 2. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Hasil perhitungan volume lalu lintas kendaraan pada tahun 2019 dengan menggunakan data historis tahun 2014-2018 untuk Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut:

**Tabel 5.4** Volume Lalu Lintas Tahunan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Tahun	Jumlah Kendaraan
2014	3.957.458
2015	4.036.513
2016	4.285.875
2017	4.441.417
2018	4.728.684

(Sumber: PT Jasa Marga Kualanamu Tol, 2019)

Untuk menghitung hasil volume kendaraan pada tahun 2019, digunakan metode regresi linear dengan program bantu Microsoft Excel yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini:

**Tabel 5.5** Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018

## SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.985794414
R Square	0.971790626
Adjusted R Square	0.962387502
Standard Error	60575.2333
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	3.7922E+11	3.79E+11	103.3476	0.002028126
Residual	3	11008076668	3.67E+09		
Total	4	3.90228E+11			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-388296980.2	38617640.04	-10.0549	0.002095	-511195546.1	-265398414	-511195546	-265398414
X Variable 1	194735.6	19155.5707	10.166	0.002028	133774.0248	255697.175	133774.0248	255697.1752

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.5, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2019 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2019} &= a+bx \\
 &= -388296980.2 + (194735.6 \times 2019) \\
 &= 4.874.197 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lalu lintas harian} &= 4.874.197/365 \\
 &= 13.354 \text{ kendaraan/hari.}
 \end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } peak \text{ hour} &= 13.354 \times 0.11 \\ &= 1.470 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 74% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 15% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 6% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 3% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 2% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut:

**Tabel 5.6** Proporsi Golongan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	74%	1088
II	15%	221
III	6%	88
IV	3%	44
V	2%	29

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan

yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

### 3. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Hasil perhitungan volume lalu lintas kendaraan pada tahun 2019 dengan menggunakan data historis tahun 2014-2018 untuk Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut

**Tabel 5.7** Volume Lalu Lintas Tahunan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Tahun	Jumlah Kendaraan
2014	5.505.745
2015	5.913.651
2016	5.755.875
2017	6.241.417
2018	6.528.684

(Sumber: PT Jasa Marga Kualanamu Tol, 2019)

Untuk menghitung hasil volume kendaraan pada tahun 2019, digunakan metode regresi linear dengan program bantu Microsoft Excel yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini:

**Tabel 5.8** Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018

## SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.932071985
R Square	0.868758186
Adjusted R Square	0.825010914
Standard Error	168438.5968
Observations	5

## ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	1	5.63419E+11	5.63E+11	19.85857	0.02103449
Residual	3	85114682646	2.84E+10		
Total	4	6.48533E+11			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-472537556	107382188.1	-4.40052	0.021756	-814275604	-130799508	-814275603.9	-130799508.1
X Variable 1	237364.4	53264.96117	4.456295	0.021034	67851.5211	406877.279	67851.52113	406877.2789

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.8, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2024 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2019} &= a+bx \\
 &= -472537556 + (237364.4 \times 2019) \\
 &= 6.701.168 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lalu lintas harian} &= 6.161.952/365 \\
 &= 18.360 \text{ kendaraan/hari.}
 \end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned} \text{Volume arus } peak \text{ hour} &= 16.883 \times 0.11 \\ &= 2.019 \text{ kendaraan/jam.} \end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 69% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 18% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 5% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut:

**Tabel 5.9** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	69%	1393
II	18%	363
III	5%	101
IV	4%	81
V	4%	81

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh

kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

#### 4. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Hasil perhitungan volume lalu lintas kendaraan pada tahun 2024 dengan menggunakan data historis tahun 2014-2018 untuk Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut:

**Tabel 5.10** Volume Lalu Lintas Tahunan Jalan Lintas Tebing Tinggi Tahunan Arah Keluar

Tahun	Jumlah Kendaraan
2014	4.921.341
2015	5.256.419
2016	5.537.524
2017	5.694.857
2018	5.876.496

(Sumber: PT Jasa Marga Kualanamu Tol, 2019)

Untuk mencari hasil volume kendaraan pada tahun 2019, digunakan metode regresi linear dengan program bantu Microsoft Excel yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 dibawah ini:

**Tabel 5.11** Hasil Regresi Linear dari Volume Lalu Lintas Tahun 2014-2018

## SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.98707828
R Square	0.97432353
Adjusted R Square	0.965764707
Standard Error	69613.24151
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	5.51662E+11	5.52E+11	113.8385	0.00175983
Residual	3	14538010179	4.85E+09		
Total	4	5.662E+11			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-468050269.4	44379508.85	-10.5465	0.001821	-609285673.4	-326814865	-609285673.4	-326814865.4
X Variable 1	234874.8	22013.63985	10.66951	0.00176	164817.5732	304932.027	164817.5732	304932.0268

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.11, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2024 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2019} &= a+bx \\
 &= -468050269.4 + (234874.8 \times 2024) \\
 &= 6.161.952 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}\text{Volume lalu lintas harian} &= 6.161.952/365 \\ &= 16.882 \text{ kendaraan/hari.}\end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } peak \text{ hour} &= 16,823 \times 0.11 \\ &= 1.857 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 73% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 16% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 5% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 2% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut:

**Tabel 5.12** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	73%	1356
II	16%	297
III	5%	93
IV	4%	74
V	2%	37

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai

V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

## **5.2 Analisis Waktu Pelayanan (*Service Time*)**

Untuk melakukan Analisis Waktu Pelayanan, maka perlu dilakukan survei untuk menghitung waktu pelayanan setiap kendaraan yang melakukan transaksi pada gerbang tol yang ditinjau terlebih dahulu. Kemudian dari data waktu pelayanan tersebut diolah sehingga didapatkan grafik frekuensi kumulatif dari gerbang tol yang ditinjau.

### **5.2.1 Menggunakan Volume Kendaraan Hasil Survei**

#### **1. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol *Multi***

Hasil perhitungan Analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk gardu tol *multi* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

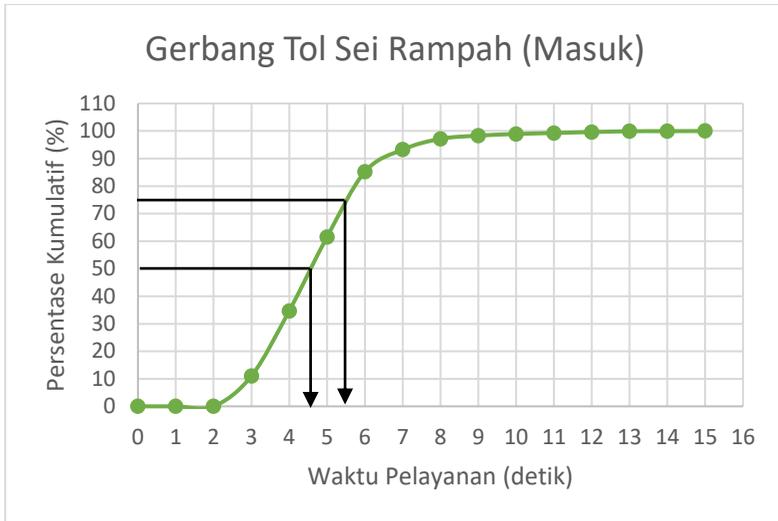
Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk, didapatkan Tabel 5.13 berikut:

**Tabel 5.13** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol *Multi*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	170	170	9.22	9.22
4	490	660	26.59	35.81
5	495	1155	26.86	62.67
6	426	1581	23.11	85.78
7	137	1718	7.43	93.22
8	74	1792	4.02	97.23
9	19	1811	1.03	98.26
10	13	1824	0.71	98.97
11	7	1831	0.38	99.35
12	5	1836	0.27	99.62
13	5	1841	0.27	99.89
14	1	1842	0.05	99.95
15	1	1843	0.05	100.00
Total	1843		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.1** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol *Multi*

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 5 detik
Modus	= 5 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.278 detik
Persentase kumulatif 50%	= 4.5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 5.5 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu  $5.258 = 5.3$  detik.

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk gardu tol *multi*, didapatkan:

$$\lambda = 1008 \text{ Kendaraan/jam}$$

$$N = 2 \text{ Gardu yang beroperasi}$$

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{1008/2}{\mu} < 1$$

$$\text{Diperoleh: } \mu = 503 \text{ Kendaraan/jam}$$

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{504}$$

$$WP = 8 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 907$  kendaraan/jam, diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk gardu tol *multi* adalah 8 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah  $5.278 = 5.3$  detik/kendaraan.

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada Gerbang Tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $\leq 5$  detik/kendaraan.

## 2. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol *Single*

Hasil perhitungan analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk gardu tol *single* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

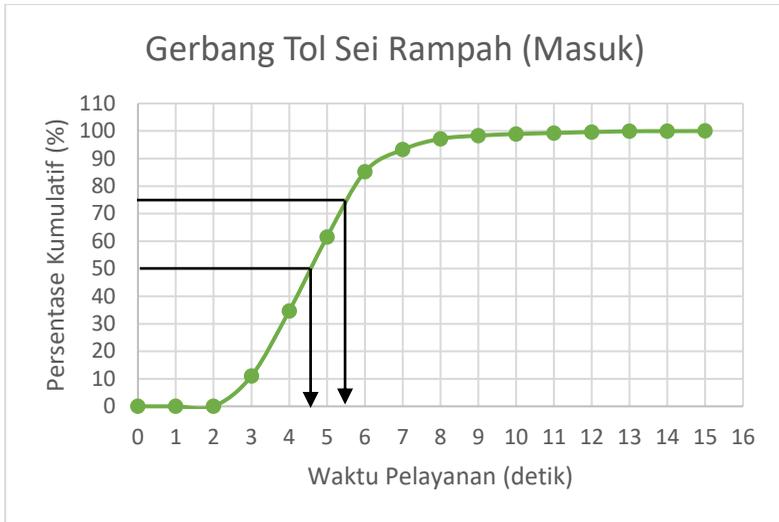
Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk, didapatkan Tabel 5.14 berikut.

**Tabel 5.14** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol *Single*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	122	122	14.86	14.86
4	143	265	17.42	32.28
5	221	486	26.92	59.20
6	202	688	24.60	83.80
7	81	769	9.87	93.67
8	28	797	3.41	97.08
9	12	809	1.46	98.54
10	3	812	0.37	98.90
11	3	815	0.37	99.27
12	4	819	0.49	99.76
13	2	821	0.24	100.00
14	0	821	0.00	100.00
Total	821		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.2** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Gardu Tol *Single*

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 5 detik
Modus	= 5 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.312 detik
Persentase kumulatif 50%	= 4.5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 5.5 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu  $5.312 = 5.3$  detik.

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk gardu tol *single*, didapatkan:

$$\lambda = 533 \text{ Kendaraan/jam}$$

N = 1 Gardu yang beroperasi

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{533/1}{\mu} < 1$$

Diperoleh:  $\mu = 532 \text{ Kendaraan/jam}$

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{533}$$

$$WP = 6.75 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 907 \text{ kendaraan/jam}$ , diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk gardu tol *single* adalah 6.75 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah  $5.312 = 5.3 \text{ detik/kendaraan}$ .

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada Gerbang Tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5 \text{ detik/kendaraan}$ . Oleh karena itu, Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $\leq 5 \text{ detik/kendaraan}$ .

### 3. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Gardu Tol *Multi*

Hasil perhitungan analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *multi* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

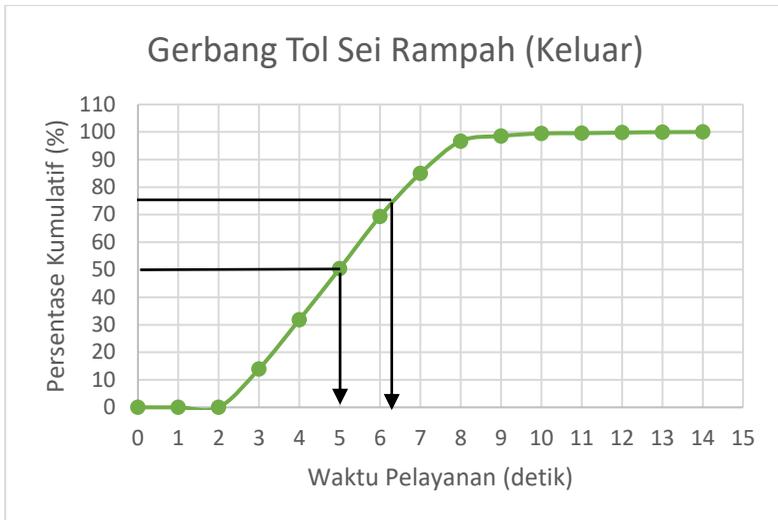
Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan gerbang tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *multi*, didapat Tabel 5.15 berikut.

**Tabel 5.15** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Gardu Tol *Multi*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	363	363	14.00	14.00
4	459	822	17.71	31.71
5	477	1299	18.40	50.12
6	485	1784	18.71	68.83
7	416	2200	16.05	84.88
8	300	2500	11.57	96.45
9	58	2558	2.24	98.69
10	25	2583	0.96	99.65
11	1	2584	0.04	99.69
12	5	2589	0.19	99.88
13	3	2592	0.12	100.00
14	0	2592	0.00	100.00
15	0	2592	0.00	100.00
Total	2592		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.3** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah keluar Gardu Tol *Multi*

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 6 detik
Modus	= 6 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.561 detik
Persentase kumulatif 50%	= 5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 6.2 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu  $5.561 = 5.6$  detik

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *multi*, didapatkan:

$$\lambda = 985 \text{ Kendaraan/jam}$$

N = 2 Gardu yang beroperasi

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{985/2}{\mu} < 1$$

Diperoleh:  $\mu = 492$  Kendaraan/jam

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{493}$$

$$WP = 7.30 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 985$  kendaraan/jam, diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *multi* adalah 7.30 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah  $5.561 = 5.6$  detik/kendaraan.

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada gerbang tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, gerbang tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *multi* belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 5$  detik/kendaraan.

#### 4. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Gardu Tol *Single*

Hasil perhitungan analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *single* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

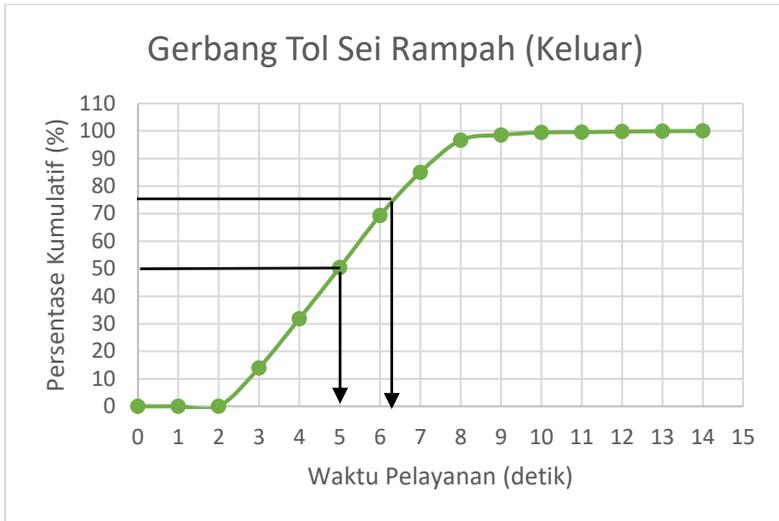
Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan gerbang tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *single*, didapat Tabel 5.15 berikut.

**Tabel 5.16** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Gardu Tol *Single*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	121	121	13.69	13.69
4	149	270	16.86	30.54
5	157	427	17.76	48.30
6	174	601	19.68	67.99
7	133	734	15.05	83.03
8	102	836	11.54	94.57
9	24	860	2.71	97.29
10	16	876	1.81	99.10
11	0	876	0.00	99.10
12	5	881	0.57	99.66
13	3	884	0.34	100.00
14	0	884	0.00	100.00
Total	884		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.4** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah Keluar Gardu Tol *Single*

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 6 detik
Modus	= 6 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.598 detik
Persentase kumulatif 50%	= 5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 6.2 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu  $5.598 = 5.6$  detik

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *single*, didapatkan:

$$\lambda = 485 \text{ Kendaraan/jam}$$

N = 1 Gardu yang beroperasi

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{485/1}{\mu} < 1$$

Diperoleh:  $\mu = 484 \text{ Kendaraan/jam}$

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{484}$$

$$WP = 7.43 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 485 \text{ kendaraan/jam}$ , diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *single* adalah 7.43 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah  $5.598 = 5.6 \text{ detik/kendaraan}$ .

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada gerbang tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5 \text{ detik/kendaraan}$ . Oleh karena itu, gerbang tol Sei Rampah arah keluar gardu tol *single* belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 5 \text{ detik/kendaraan}$ .

##### 5. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol *Multi*

Hasil perhitungan analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *multi* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

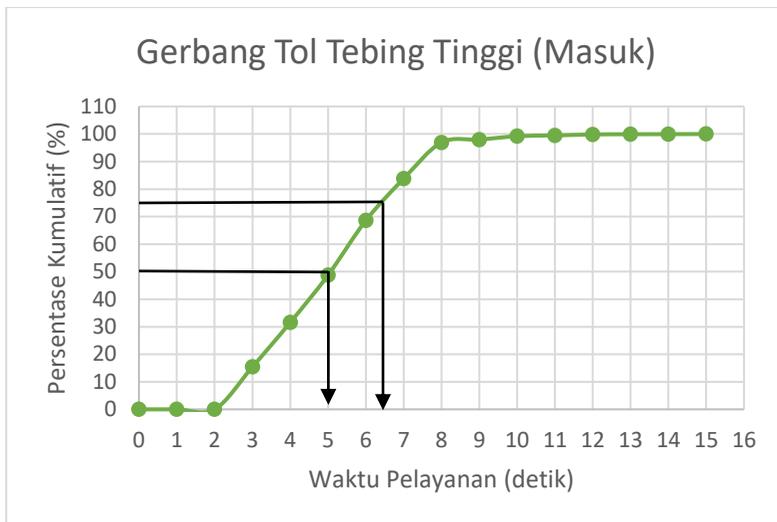
Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *multi*, didapat Tabel 5.16 berikut.

**Tabel 5.17** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol *Multi*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	302	302	17.83	17.83
4	293	595	17.30	35.12
5	271	866	16.00	51.12
6	272	1138	16.06	67.18
7	271	1409	16.00	83.18
8	271	1680	16.00	99.17
9	5	1685	0.30	99.47
10	2	1687	0.12	99.59
11	4	1691	0.24	99.82
12	2	1693	0.12	99.94
13	1	1694	0.06	100.00
14	0	1694	0.00	100.00
15	0	1694	0.00	100.00
Total	1694		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.5** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol *Multi*

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 5 detik
Modus	= 6 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.563 detik
Persentase kumulatif 50%	= 5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 6.5 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu  $5.563 = 5.6$  detik

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *multi*, didapatkan:

$$\lambda = 1353 \text{ Kendaraan/jam}$$

$$N = 2 \text{ Gardu yang beroperasi}$$

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{1353/2}{\mu} < 1$$

$$\text{Diperoleh: } \mu = 675 \text{ Kendaraan/jam}$$

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{676}$$

$$WP = 5.33 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 1353$  kendaraan/jam, diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *multi* adalah 5.33 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah 5.6 detik/kendaraan.

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada gerbang tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *multi* belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $\leq 5$  detik/kendaraan.

## 6. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol *Single*

Hasil perhitungan analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *single* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

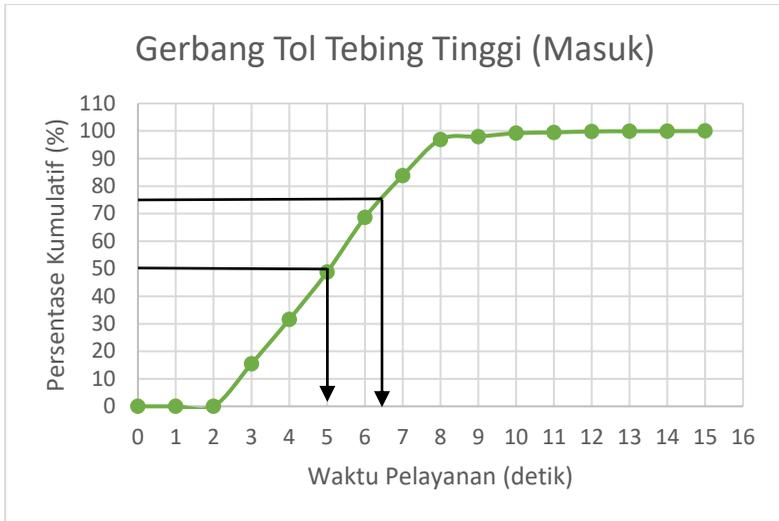
Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *single*, didapat Tabel 5.17 berikut.

**Tabel 5.18** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol *Single*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	115	115	14.16	14.16
4	147	262	18.10	32.27
5	138	400	17.00	49.26
6	143	543	17.61	66.87
7	123	666	15.15	82.02
8	126	792	15.52	97.54
9	11	803	1.35	98.89
10	7	810	0.86	99.75
11	0	810	0.00	99.75
12	2	812	0.25	100.00
13	0	812	0.00	100.00
14	0	812	0.00	100.00
Total	812		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.6** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Gardu Tol *Single*

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 6 detik
Modus	= 6 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.590 detik
Persentase kumulatif 50%	= 5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 6.5 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu  $5.590 = 5.6$  detik.

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *single*, didapatkan:

$$\lambda = 666 \text{ Kendaraan/jam}$$

N = 1 Gardu yang beroperasi

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{666/1}{\mu} < 1$$

Diperoleh:  $\mu = 665$  Kendaraan/jam

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{665}$$

$$WP = 5.4 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 2019$  kendaraan/jam, diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk adalah 5.4 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah 5.6 detik/kendaraan.

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada gerbang tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk gardu tol *single* belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 5$  detik/kendaraan.

## 7. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol *Multi*

Contoh hasil perhitungan analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *multi* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

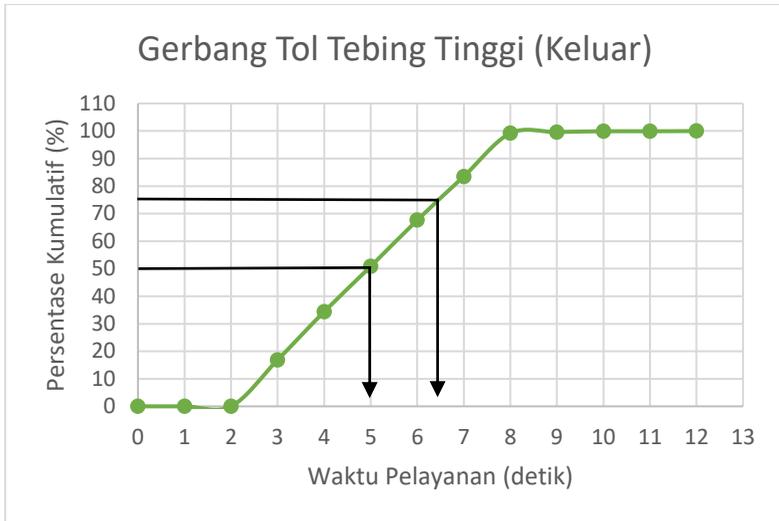
Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *multi*, didapat Tabel 5.18 berikut.

**Tabel 5.19** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol *Multi*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	427	427	15.50	15.50
4	446	873	16.19	31.69
5	473	1346	17.17	48.86
6	538	1884	19.53	68.38
7	421	2305	15.28	83.67
8	364	2669	13.21	96.88
9	30	2699	1.09	97.97
10	34	2733	1.23	99.20
11	8	2741	0.29	99.49
12	10	2751	0.36	99.85
13	2	2753	0.07	99.93
14	1	2754	0.04	99.96
15	1	2755	0.04	100.00
Total	2755		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.7** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 6 detik
Modus	= 5 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.585 detik
Persentase kumulatif 50%	= 5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 6.5 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu 5.6 detik.

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *multi*, didapatkan:

$$\lambda = 1241 \text{ Kendaraan/jam}$$

N = 2 Gardu yang beroperasi

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{1241/2}{\mu} < 1$$

Diperoleh:  $\mu = 621$  Kendaraan/jam

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{621}$$

$$WP = 5.80 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 1851$  kendaraan/jam, diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *multi* adalah 5.80 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah 5.6 detik/kendaraan.

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada gerbang tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *multi* belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 5$  detik/kendaraan.

## 8. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol *Single*

Contoh hasil perhitungan analisis waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan hasil survei pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *single* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

Berdasarkan nilai rata-rata waktu pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *single*, didapat Tabel 5.19

**Tabel 5.20** Tabel Waktu Pelayanan Kendaraan pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol *Single*

WP	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	Persentase	Persentase Kumulatif
3	146	146	16.01	16.01
4	167	313	18.31	34.32
5	163	476	17.87	52.19
6	188	664	20.61	72.81
7	117	781	12.83	85.64
8	108	889	11.84	97.48
9	15	904	1.64	99.12
10	5	909	0.55	99.67
11	0	909	0.00	99.67
12	2	911	0.22	99.89
13	1	912	0.11	100.00
14	0	912	0.00	100.00
Total	912		100	

Analisis ini tidak memperhitungkan akselerasi dan deselerasi tiap kendaraan sesuai golongan kendaraannya.

Berdasarkan tabel waktu pelayanan, didapat grafik persentase kumulatif (%) dan waktu pelayanan dengan 3 gardu diperoleh waktu transaksi rata-rata sebagai berikut:



**Gambar 5.8** Grafik Persentase Kumulatif (%) dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Gardu Tol *Single*

Dari tabel dan grafik frekuensi waktu pelayanan di atas didapatkan data sebagai berikut:

Median	= 6 detik
Modus	= 6 detik
Rata-rata waktu pelayanan	= 5.63 detik
Persentase kumulatif 50%	= 5 detik
Persentase kumulatif 75%	= 6.5 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gardu tol otomatis dilihat dari nilai rata-rata waktu pelayanan, Persentase kumulatif 50%, dan Persentase kumulatif 75%. Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai median dan modus. Kemudian diambil nilai yang paling mendekati nilai median dan modus, yang dalam hal ini adalah adalah rata-rata waktu pelayanan yaitu 5.6 detik.

Jika diperhitungkan waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *single*, didapatkan:

$$\lambda = 610 \text{ Kendaraan/jam}$$

N = 1 Gardu yang beroperasi

$$\frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \rightarrow \frac{610/1}{\mu} < 1$$

Diperoleh:  $\mu = 609$  Kendaraan/jam

Jadi, waktu pelayanan maksimal yang dapat dilayani adalah:

$$WP = \frac{1(\text{jam})}{\mu} \rightarrow WP = \frac{3600}{617}$$

$$WP = 5.83 \text{ detik/kendaraan (maks)}$$

Dari tingkat kedatangan  $\lambda = 1851$  kendaraan/jam, diperoleh bahwa waktu pelayanan maksimal pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *single* adalah 5.83 detik/kendaraan, sedangkan rata-rata waktu pelayanan dari data yang tersedia adalah 5.63 detik/kendaraan.

Sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol, waktu pelayanan pada gerbang tol dengan sistem tertutup harus  $\leq 5$  detik/kendaraan. Oleh karena itu, gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar gardu tol *single* belum memenuhi persyaratan karena rata-rata waktu pelayanan pada setiap gardu  $< 5$  detik/kendaraan.

### 5.3 Analisis Intensitas Lalu Lintas

Dengan tingkat kedatangan seperti pada analisis di atas, maka perlu dilakukan analisis intensitas lalu lintas ( $\rho$ ) terhadap gardu pelayanan yang terbuka untuk mengetahui seberapa besar intensitas yang terjadi pada gardu tersebut. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan berbagai kondisi waktu pelayanan

berdasarkan data waktu pelayanan yang tercatat ketika survei hingga waktu pelayanan maksimal seperti pada analisis waktu pelayanan sebelumnya, sehingga bisa diketahui intensitas lalu lintas di setiap kondisi waktu pelayanan.

### 5.3.1 Menggunakan Volume Kendaraan Hasil Regresi

Intensitas Lalu Lintas ( $\rho$ ) adalah perbandingan Tingkat Kedatangan ( $\lambda$ ) dan Tingkat Pelayanan ( $\mu$ ) yang memiliki persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1.

#### 1. Analisis Intensitas Lalu Lintas pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Dengan menggunakan waktu pelayanan yang telah didapatkan dari hasil analisis waktu pelayanan pada sub-bab sebelumnya, maka dihitung analisis intensitas lalu lintas yaitu sebagai berikut:

$$\lambda = 1440 \text{ kendaraan/jam}$$

$$N = 3 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\mu = \frac{1}{WP} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.3} \rightarrow \mu = 680 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{1440/3}{680} \rightarrow \rho = 0.707 < 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih dalam kategori aman.

#### 2. Analisis Intensitas Lalu Lintas pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Dengan menggunakan waktu pelayanan yang telah didapatkan dari hasil analisis waktu pelayanan pada sub-bab sebelumnya, maka dihitung analisis intensitas lalu lintas yaitu sebagai berikut:

$$\lambda = 1470 \text{ kendaraan/jam}$$

$$N = 3 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\mu = \frac{1}{WP} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.6} \rightarrow \mu = 643 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{1470/3}{643} \rightarrow \rho = 0.763 < 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih dalam kategori aman.

### 3. Analisis Intensitas Lalu Lintas Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Dengan menggunakan waktu pelayanan yang telah didapatkan dari hasil analisis waktu pelayanan pada sub-bab sebelumnya, maka dihitung analisis intensitas lalu lintas yaitu sebagai berikut:

$$\lambda = 2019 \text{ kendaraan/jam}$$

$$N = 3 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\mu = \frac{1}{WP} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.6} \rightarrow \mu = 643 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{2019/3}{680} \rightarrow \rho = 1.05 > 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi akan menyebabkan antrian yang panjang. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang panjang untuk WP 5.6 detik adalah:

$$\text{Rumus: } \rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\frac{2019/N}{643} < 1$$

$N = 4$  (Jumlah gardu tol yang dibutuhkan)

Dengan WP 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan adalah 4 gardu tol.

#### 4. Analisis Intensitas Lalu Lintas Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Dengan menggunakan waktu pelayanan yang telah didapatkan dari hasil analisis waktu pelayanan pada sub-bab sebelumnya, maka dihitung analisis intensitas lalu lintas yaitu sebagai berikut:

$$\lambda = 1851 \text{ kendaraan/jam}$$

$$N = 3 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\mu = \frac{1}{WP} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5} \rightarrow \mu = 720 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{1851/3}{720} \rightarrow \rho = 0.86 < 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi masih dalam kategori aman.

#### 5.4 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO)

Analisis antrian dilakukan agar kita dapat melihat seberapa panjang antrian secara hitungan dan dapat melihat jumlah gardu yang dibutuhkan pada tabel hasil analisis. Dalam melakukan analisis antrian sama seperti Analisis intensitas lalu lintas, yaitu dengan menggunakan berbagai kondisi waktu pelayanan berdasarkan data waktu pelayanan yang tercatat ketika survei hingga waktu pelayanan maksimal seperti pada analisis waktu pelayanan sebelumnya, sehingga bisa diketahui antrian disetiap

kondisi waktu pelayanan.  $\lambda$  adalah tingkat kedatangan kendaraan,  $\mu$  adalah tingkat pelayanan berdasarkan waktu pelayanan yang terjadi, dan  $\rho$  adalah intensitas lalu lintas berdasarkan waktu pelayanan yang terjadi.

### 5.4.1 Menggunakan Volume Kendaraan Hasil Regresi

#### 1. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 3 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1440$  kendaraan/jam

$\mu = 1200$  kendaraan/jam

$\rho = 0.400$

WP = 3 detik/kendaraan

N = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1440/3)}{1200 - (1440/3)} = 0.667 = 1 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1440/3)^2}{1200(1200 - (1440/3))} = 0.267 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{1200 - (1440/3)} \times 3600 = 5 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu-(\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1440/3)}{1200(1200-(1440/3))} \times 3600 = 2 \text{ Detik}$$

Pada WP 3 detik/kendaraan, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut:

**Tabel 5.21** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	3	1	5	1	5	5	2
3	3	1	5	1	5	5	2
5	3	1	5	1	5	5	2

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 4 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1440$  kendaraan/jam

$\mu = 900$  kendaraan/jam

$\rho = 0.533$

WP = 4 detik/kendaraan

N = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu-(\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1440/3)}{900-(1440/3)} = 1.143 = 2 \text{ Kendaraan}$$

1

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

$$q = \frac{(1440/3)^2}{900(900 - (1440/3))} = 0.610 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{900 - (1440/3)} \times 3600 = 8.57 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1440/3)}{900(900 - (1440/3))} \times 3600 = 4.57 \text{ Detik}$$

Pada WP 4 detik/kendaraan, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut:

**Tabel 5.22** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	4	1	5	1	5	9	5
3	4	1	5	1	5	9	5
5	4	1	5	1	5	9	5

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.3 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1440$  kendaraan/jam

$$\mu = 579 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.667$$

$$WP = 5.3 \text{ detik/kendaraan}$$

$$N = 3 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1440/3)}{720 - (1440/3)} = 2.409 = 2 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1440/3)^2}{720(720 - (1440/3))} = 1.702 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{720 - (1440/3)} \times 3600 = 18 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1440/3)}{720(720 - (1440/3))} \times 3600 = 12.7 \text{ Detik}$$

Pada WP 5.3 detik/kendaraan, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5.3 detik dengan kondisi gerbang tol

yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut:

**Tabel 5.23** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rambah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 5 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	5.3	2	10	1	5	18	12.7
3	5.3	2	10	1	5	18	12.7
5	5.3	2	10	1	5	18	12.7

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 6 detik/kendaraan

$$\text{Diketahui: } \lambda = 1440 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\mu = 600 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.8$$

$$\text{WP} = 6 \text{ detik/kendaraan}$$

$$N = 3 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1440/3)}{600 - (1440/3)} = 4 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1440/3)^2}{600(600 - (1440/3))} = 3 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{600 - (1440/3)} \times 3600 = 30 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

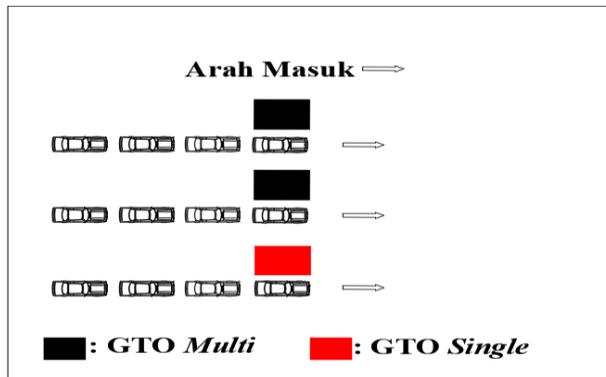
$$w = \frac{(1440/3)}{600(600 - (1440/3))} \times 3600 = 24 \text{ Detik}$$

Pada WP 6 detik/kendaraan, terdapat kurang dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah hanya dari golongan I saja. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 6 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut:

**Tabel 5.24** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 6 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	6	4	20	3	15	30	24
3	6	4	20	3	15	30	24
5	6	4	20	3	15	30	24

Sketsa antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk dengan menggunakan WP 6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.9** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2019

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 7 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda$  = 1440 kendaraan/jam

$\mu$  = 515 kendaraan/jam

$\rho$  = 0.933

WP = 7 detik/kendaraan

$N$  = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

$$n = \frac{(1440/3)}{515 - (1440/3)} = 14 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1440/3)^2}{515(515 - (1440/3))} = 13 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{515 - (1440/3)} \times 3600 = 105 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1440/3)}{515(515 - (1440/3))} \times 3600 = 98 \text{ Detik}$$

Pada WP 7 detik/kendaraan, terdapat bahwa ada lebih dari 10 antrian yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pelayanan 7 detik tidak lagi ideal karena akan terjadi antrian yang panjang.

## 2. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 3 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1470$  kendaraan/jam

$$\mu = 1200 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.408$$

$$WP = 3 \text{ detik/kendaraan}$$

$$N = 3 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1470/3)}{1200 - (1470/3)} = 0.690 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1470/3)^2}{1200(1200-(1470/3))} = 0.282 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{1200 - (1470/3)} \times 3600 = 5 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1470/3)}{1200(1200 - (1470/3))} \times 3600 = 2 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut:

**Tabel 5.25** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	3	1	5	1	5	5	2
4	3	1	5	1	5	5	2
6	3	1	5	1	5	5	2

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 4 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1470$  kendaraan/jam

$\mu = 900$  kendaraan/jam

$\rho = 0.544$

WP = 4 detik/kendaraan

$N = 3$  (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1470/5)}{900 - (1470/3)} = 1.195 = 2 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1470/5)^2}{900(900 - (1470/3))} = 0.651 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{900 - (1470/3)} \times 3600 = 8.780 = 9 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1470/3)}{900(900 - (1470/3))} \times 3600 = 4.780 = 5 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 4 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut:

**Tabel 5.26** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	4	1	5	1	5	9	5
4	4	1	5	1	5	9	5
6	4	1	5	1	5	9	5

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1470$  kendaraan/jam

$\mu = 720$  kendaraan/jam

$\rho = 0.762$

WP = 5.6 detik/kendaraan

N = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1470/3)}{720 - (1470/3)} = 3.206 = 3 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1470/3)^2}{720(720 - (1470/3))} = 2.443 = 2 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{720 - (1470/3)} \times 3600 = 23.551 = 23.6 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1470/3)}{720(720-(1470/3))} \times 3600 = 17.951 = 18 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5.6 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut:

**Tabel 5.27** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	5.6	3	15	2	10	23.6	18
4	5	3	15	2	10	23.6	18
6	5	3	15	2	10	23.6	18

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1470$  kendaraan/jam

$$\mu = 600 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.817$$

$$WP = 6 \text{ detik/kendaraan}$$

$$N = 3 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1470/5)}{600 - (1470/5)} = 4.455 = 5 \text{ Kendaraan}$$

111

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

$$q = \frac{(1470/5)^2}{600(600 - (1470/5))} = 3.638 = 4 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{600 - (1470/5)} \times 3600 = 32.727 = 33 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

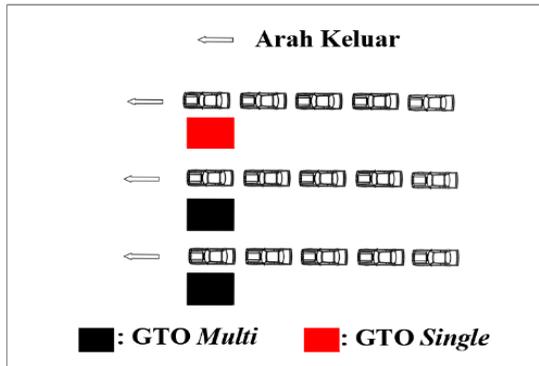
$$w = \frac{(1470/5)}{600(600 - (1470/5))} \times 3600 = 26.727 = 27 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 6 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut:

**Tabel 5.28** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 6 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	6	5	25	4	20	33	27
4	6	5	25	4	20	33	27
6	6	5	25	4	20	33	27

Sketsa antrian pada Gerbang Tol Sei Rambah arah keluar dengan menggunakan WP 6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.10** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Tahun 2019

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 7 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1470$  kendaraan/jam

$\mu = 515$  kendaraan/jam

$\rho = 0.953$

WP = 7 detik/kendaraan

$N = 3$  (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

$$n = \frac{(1470/3)}{515 - (1470/3)} = 20 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1470/3)^2}{515(515 - (1470/3))} = 19 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{515 - (1470/3)} \times 3600 = 16.670 = 148 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1470/3)}{515(515 - (1470/3))} \times 3600 = 9.670 = 141 \text{ Detik}$$

Pada WP 7 detik/kendaraan, terdapat bahwa ada lebih dari 10 antrian yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pelayanan 7 detik tidak lagi ideal karena akan terjadi antrian yang panjang.

### 3. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 3 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 2019$  kendaraan/jam

$\mu = 1200$  kendaraan/jam

$\rho = 0.561$

WP = 3 detik/kendaraan

N = 4 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$$

$$n = \frac{(2019/3)}{1200 - (2019/3)} = 0.726 = 1 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(2019/3)^2}{1200(1200-(2019/3))} = 0.305 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{1200 - (2019/3)} \times 3600 = 5.178 = 6 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(2019/3)}{1200(1200 - (2019/3))} \times 3600 = 2.178 = 3 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (4 gardu terbuka sehingga terdapat 4 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut:

**Tabel 5.29** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	3	1	5	1	5	6	3
3	3	1	5	1	5	6	3
5	3	1	5	1	5	6	3
7	3	1	5	1	5	6	3

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 4 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 2019$  kendaraan/jam

$\mu = 900$  kendaraan/jam

$\rho = 0.561$

WP = 4 detik/kendaraan

N = 4 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{1-\rho}$$

$$n = \frac{(2019/3)}{900 - (2019/3)} = 1.277 = 2 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(2019/3)^2}{900(900 - (2019/3))} = 0.716 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{900 - (2019/3)} \times 3600 = 9.108 = 10 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(2019/3)}{900(900 - (2019/3))} \times 3600 = 5.108 = 6 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 4 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (4 gardu terbuka sehingga terdapat 4 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut:

**Tabel 5.30** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	4	1	5	1	5	10	6
3	4	1	5	1	5	10	6
5	4	1	5	1	5	10	6
7	4	1	5	1	5	10	6

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 2019$  kendaraan/jam

$$\mu = 720 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.701$$

$$\text{WP} = 5.6 \text{ detik/kendaraan}$$

$$N = 4 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(2019/3)}{720 - (2019/3)} = 3.655 = 4 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(2019/3)^2}{720(720 - (2019/3))} = 2.870 = 3 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{720 - (2019/3)} \times 3600 = 26.067 = 26 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

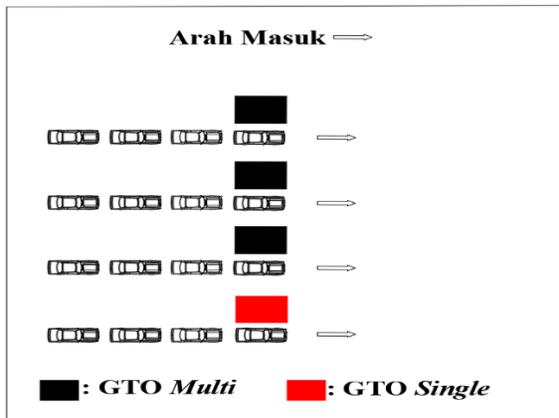
$$w = \frac{(2019/3)}{720(720 - (2019/3))} \times 3600 = 20.467 = 20.4 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (4 gardu terbuka sehingga terdapat 4 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut:

**Tabel 5.31** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
1	5.6	4	20	3	15	26	20.4
3	5.6	4	20	3	15	26	20.4
5	5.6	4	20	3	15	26	20.4
7	5.6	4	20	3	15	26	20.4

Sketsa antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk dengan menggunakan WP 5.6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.11** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2019

#### 4. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 3 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1851$  kendaraan/jam

$$\mu = 1200 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.514$$

$$WP = 3 \text{ detik/kendaraan}$$

$$N = 3 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1851/3)}{1200 - (1851/3)} = 1.058 = 1 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1851/3)^2}{1200(1200 - (1851/3))} = 0.544 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{1200 - (1851/3)} \times 3600 = 6.175 = 7 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1851/3)}{1200(1200 - (1851/3))} \times 3600 = 3.175 = 4 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 3 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut:

**Tabel 5.32** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 3 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	3	1	5	1	5	7	4
4	3	1	5	1	5	7	4
6	3	1	5	1	5	7	4

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 4 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1851$  kendaraan/jam

$\mu = 900$  kendaraan/jam

$\rho = 0.686$

WP = 4 detik/kendaraan

N = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1851/3)}{900 - (1851/3)} = 2.180 = 2 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1851/3)^2}{900(900 - (1851/3))} = 1.495 = 1 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{900 - (1851/3)} \times 3600 = 12.721 = 13 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

$$w = \frac{(1851/3)}{900(900-(1851/3))} \times 3600 = 8.721 = 9 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 4 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut:

**Tabel 5.33** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 4 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	3	2	10	1	5	13	9
4	3	2	10	1	5	13	9
6	3	2	10	1	5	13	9

- Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1851$  kendaraan/jam

$\mu = 720$  kendaraan/jam

$\rho = 0.857$

WP = 5.6 detik/kendaraan

N = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

$$n = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} = \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

$$n = \frac{(1851/3)}{720 - (1851/3)} = 5.990 = 6 \text{ Kendaraan}$$

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

$$q = \frac{(1851/3)^2}{720(720-(1851/3))} = 5.133 = 5 \text{ Kendaraan}$$

$$d = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600$$

$$d = \frac{1}{720 - (1851/3)} \times 3600 = 34.951 = 35 \text{ Detik}$$

$$w = \frac{\lambda/N}{\mu(\mu - (\lambda/N))} = d - \frac{1}{\mu}$$

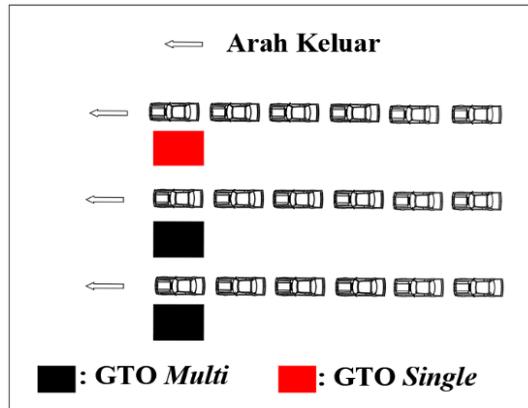
$$w = \frac{(1851/3)}{720(720 - (1851/3))} \times 3600 = 29.951 = 30 \text{ Detik}$$

Pada WP 5.6 detik/kendaraan, terdapat lebih dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah gabungan dari semua golongan yaitu 2 golongan I, 1 golongan II, 1 golongan III, IV, dan V. Untuk gardu 5 (*Single*), kendaraan yang lewat semuanya golongan 1 yaitu 6 kendaraan. Hasil perhitungan antrian menggunakan WP 5 detik dengan kondisi gerbang tol yang beroperasi penuh (3 gardu terbuka sehingga terdapat 3 lajur antrian yang terjadi) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut:

**Tabel 5.34** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik

Gardu Tol	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
2	5.6	6	72.8	5	25	35	30
4	5.6	6	72.8	5	25	35	30
6	5.6	6	30	5	25	35	30

Sketsa antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk dengan menggunakan WP 5.6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.12** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2019

### 5.5 Analisis Peramalan (*Forecasting*)

Analisis *forecasting* dilakukan dengan tujuan untuk menghitung kemampuan gerbang tol untuk melayani kendaraan yang masuk dengan jumlah kendaraan yang semakin meningkat dari tahun ke tahun. Perkiraan peningkatan jumlah kendaraan pada gerbang tol dihitung menggunakan data historis jumlah kendaraan dari tahun 2014-2018 melalui analisis regresi linear. Dari analisis tersebut akan menghasilkan jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol hingga 5 tahun kedepan. Hasil *forecasting* volume lalu lintas kendaraan ini akan digunakan untuk menghitung jumlah gardu optimum yang dibutuhkan untuk menampung volume kendaraan yang akan masuk ke gerbang tol.

#### 5.5.1 Analisis Tingkat Kedatangan pada Tahun 2024

Analisis tingkat kedatangan dihitung dengan cara melakukan regresi linear data historis tahun 2014-2018 untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol pada tahun 2024. Hasil perhitungan analisis tingkat kedatangan kendaraan pada tahun 2024 pada gerbang tol yang ditinjau adalah:

### 1. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.1 maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2024 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume lalu lintas 2024} &= a+bx \\ &= -346186652.8 + (173830.5 \times 2024) \\ &= 5.646.280 \text{ kendaraan} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned} \text{Volume lalu lintas harian} &= 5.646.280/365 \\ &= 15.470 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned} \text{Volume arus } peak \text{ hour} &= 15.470 \times 0.11 \\ &= 1.702 \text{ kendaraan/jam.} \end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada waktu survei yang terdapat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 70% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 15% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 7% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan

sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.34 berikut:

**Tabel 5.35** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	70%	1.192
II	15%	255
III	7%	119
IV	4%	68
V	4%	68

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

## 2. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.4, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2024 yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Volume Lalu Lintas 2024} &= a+bx \\ &= -388296980.2 + (194735.6 \times 2024) \end{aligned}$$

$$= 5.847.875 \text{ kendaraan}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\text{Volume lalu lintas harian} = 5.847.875/365$$

$$= 16.022 \text{ kendaraan/hari.}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\text{Volume arus } \textit{peak hour} = 16.022 \times 0.11$$

$$= 1.763 \text{ kendaraan/jam.}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 74% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 15% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 6% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 3% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 3% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.35 berikut:

**Tabel 5.36** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	74%	1.305
II	15%	264
III	6%	106
IV	3%	53
V	2%	35

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

### 3. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.7, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2024 yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2024} &= a+bx \\
 &= -472537556 + (237364.4 \times 2024) \\
 &= 7.887.990 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan

cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}\text{Volume lalu lintas harian} &= 7.887.990/365 \\ &= 21.611 \text{ kendaraan/hari.}\end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } \textit{peak hour} &= 21.611 \times 0.11 \\ &= 2378 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 69% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 18% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 5% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.36 berikut:

**Tabel 5.37** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	69%	1.641
II	18%	427
III	5%	120
IV	4%	95
V	4%	95

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

#### 4. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.10, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2024 yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2024} &= a+bx \\
 &= -468050269.4 + (234874.8 \times 2024) \\
 &= 6.161.952 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan

cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}\text{Volume lalu lintas harian} &= 6.161.952/365 \\ &= 16.882 \text{ kendaraan/hari.}\end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } \textit{peak hour} &= 16.882 \times 0.11 \\ &= 1858 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survey yang terdapat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 73% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 16% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 5% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 2% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.37 berikut:

**Tabel 5.38** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	73%	1.356
II	16%	298
III	5%	943
IV	4%	74
V	2%	37

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

### 5.5.2 Analisis Intensitas Lalu Lintas pada Tahun 2024

Intensitas Lalu Lintas ( $\rho$ ) adalah perbandingan Tingkat Kedatangan ( $\lambda$ ) dan Tingkat Pelayanan ( $\mu$ ) yang memiliki persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1. Analisis Intensitas dilakukan menggunakan waktu pelayanan rata-rata saat ini pada setiap gerbang yang dianalisis

Gerbang Tol Sei Rampah dan Tebing Tinggi pada tahun 2024 direncanakan dengan GTO *Multi* dan GTO *Single*.

#### 1. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Hasil perhitungan analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut:

Waktu Pelayanan = 5.3 detik

$\lambda$  = 1702 kendaraan/jam

N = 3 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\mu = \frac{1}{WP} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.3} \rightarrow \mu = 680 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{1702/3}{680} \rightarrow \rho = 0.835 < 1$$

Dari hasil perhitungan didapatkan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang ada masih dalam kategori aman.

## 2. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Hasil perhitungan analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut:

Waktu Pelayanan = 5.6 detik

$\lambda$  = 1762 kendaraan/jam

N = 3 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\mu = \frac{1}{WP} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.6} \rightarrow \mu = 643 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{1762/3}{643} \rightarrow \rho = 0.913 < 1$$

Dari hasil perhitungan didapatkan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang ada masih dalam kategori aman.

### 3. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Hasil perhitungan Analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut

$$\text{Waktu Pelayanan} = 5.6 \text{ detik}$$

$$\lambda = 2378 \text{ kendaraan/jam}$$

$$N = 3 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.6} \rightarrow \mu = 643 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{2378/3}{643} \rightarrow \rho = 1.23 > 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi akan menyebabkan antrian yang panjang. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang panjang untuk WP 5.6 detik adalah:

$$\text{Rumus: } \rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\frac{2378/N}{643} < 1$$

$$N = 5 \text{ (Jumlah gardu tol yang dibutuhkan)}$$

Dengan WP 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan adalah 5 gardu tol.

### 4. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Hasil perhitungan Analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut:

Waktu Pelayanan = 5.6 detik

$\lambda$  = 2210 kendaraan/jam

N = 3 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5} \rightarrow \mu = 720 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{2210/3}{720} \rightarrow \rho = 1.03 > 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi akan menyebabkan antrian yang panjang. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang panjang untuk WP 5 detik adalah:

$$\text{Rumus: } \rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\frac{2210/N}{643} < 1$$

N = 4 (Jumlah gardu tol yang dibutuhkan)

Dengan WP 5 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan adalah 4 gardu tol.

### **5.5.3 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO) pada Tahun 2024**

Analisis antrian ini dilakukan untuk menghitung seberapa panjang antrian secara hitungan dan menghitung jumlah gardu optimum yang dibutuhkan. Analisis antrian ini dihitung menggunakan waktu pelayanan rata-rata yang telah dihitung pada sub-bab sebelumnya pada setiap gerbang yang ditinjau.  $\lambda$  adalah tingkat kedatangan kendaraan,  $\mu$  adalah tingkat pelayanan berdasarkan waktu pelayanan yang terjadi, dan  $\rho$  adalah intensitas lalu lintas berdasarkan waktu pelayanan yang terjadi.

### 1. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Sei Rambah Arah Masuk

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.3 detik/kendaraan

$$\text{Diketahui: } \lambda = 1702 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\mu = 679 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.835$$

$$WP = 5.3 \text{ detik/kendaraan}$$

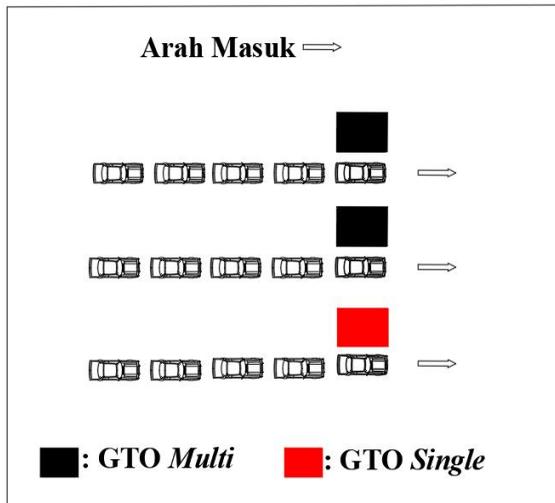
$$N = 3 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.38 berikut:

**Tabel 5.39** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rambah Arah Masuk Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.3 detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
3	5.3	5	25	4	20	32.2	26.9
3	5.3	5	25	4	20	32.2	26.9
3	5.3	5	25	4	20	32.2	26.9

Dari Tabel 5.38 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5.3 detik, gardu tol yang berjumlah 3 buah yang ada masih mampu menampung volume kendaraan yang masuk ke gerbang tol pada tahun 2024. Sehingga jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 3 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 25 meter. Sketsa antrian pada Gerbang Tol Sei Rambah arah masuk dengan menggunakan WP 5.3 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.13** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2024

## 2. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda$  = 1762 kendaraan/jam

$\mu$  = 643 kendaraan/jam

$\rho$  = 0.8

WP = 5.6 detik/kendaraan

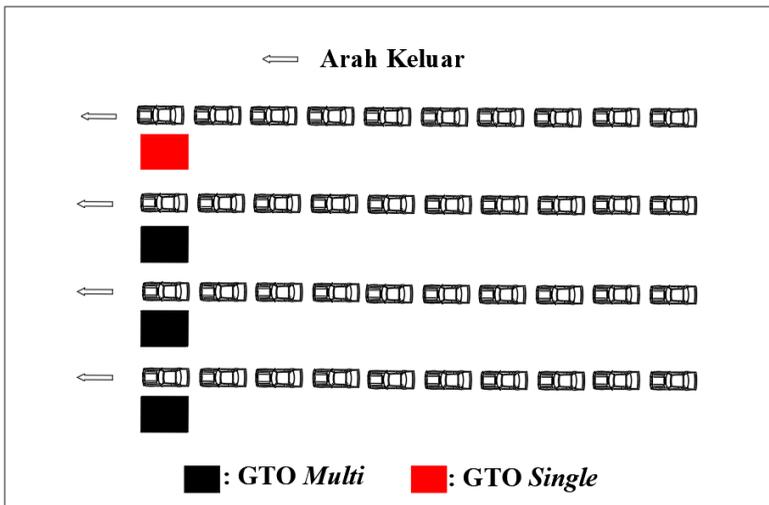
N = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

Pada WP 5.6 detik/kendaraan, terdapat lebih dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah gabungan dari semua golongan yaitu 5 golongan I, 2 golongan II, 1 golongan III, IV, dan V. Untuk gardu 5 (*Single*), kendaraan yang lewat semuanya golongan 1 yaitu 10 kendaraan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.36 berikut Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut

**Tabel 5.40** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
3	5.6	10	96.5	9	91.5	27.1	21.5
3	5.6	10	96.5	9	91.5	27.1	21.5
3	5.6	10	50	9	45	27.1	21.5

Dari Tabel 5.39 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5.6 detik, gardu tol yang berjumlah 3 buah yang ada masih mampu menampung volume kendaraan yang masuk ke gerbang tol pada tahun 2024. Sehingga jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 3 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 96.5 meter. Sketsa antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar dengan menggunakan WP 5.6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.14** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah  
Arah Keluar Tahun 2024

### 3. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda$  = 2378 kendaraan/jam

$\mu$  = 643 kendaraan/jam

$\rho$  = 0.74

WP = 5.6 detik/kendaraan

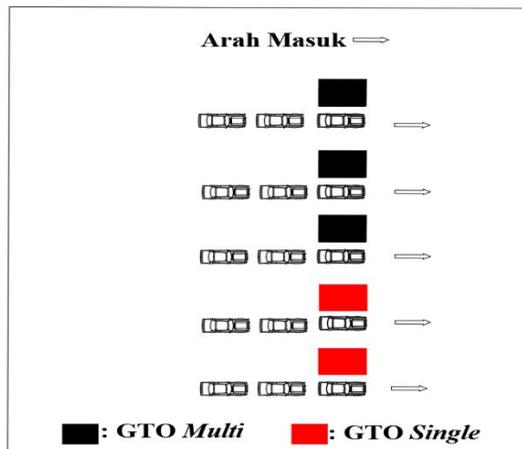
N = 5 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.40 berikut:

**Tabel 5.41** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
5	5.6	3	15	2	10	21.5	15.9
5	5.6	3	15	2	10	21.5	15.9
5	5.6	3	15	2	10	21.5	15.9
5	5.6	3	15	2	10	21.5	15.9
5	5.6	3	15	2	10	21.5	15.9

Dari Tabel 5.40 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 5 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 15 meter. Sketsa antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk dengan menggunakan WP 5.6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.15** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2024

#### 4. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5 detik/kendaraan

$$\text{Diketahui: } \lambda = 2210 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\mu = 720 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\rho = 0.656$$

$$\text{WP} = 5 \text{ detik/kendaraan}$$

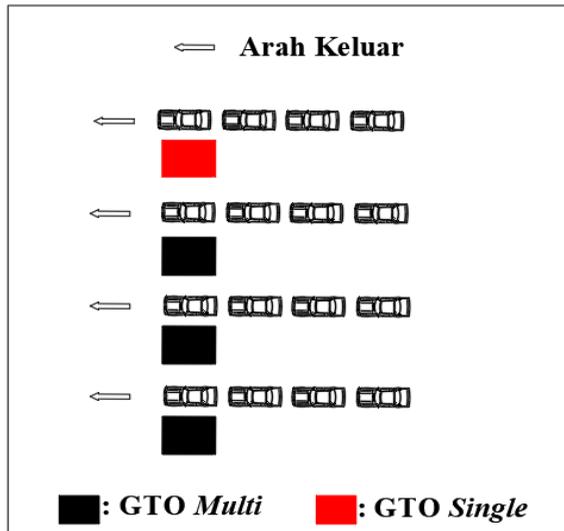
$$N = 4 \text{ (Jumlah lajur antrian yang terjadi)}$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.41 berikut:

**Tabel 5.42** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2024 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
4	5.6	4	20	3	15	21.5	16.5
4	5.6	4	20	3	15	21.5	16.5
4	5.6	4	20	3	15	21.5	16.5
4	5.6	4	20	3	15	21.5	16.5

Dari Tabel 5.41 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 4 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 20 meter. Sketsa antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar dengan menggunakan WP 5 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.16** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2024

#### 5.5.4 Analisis Tingkat Kedatangan pada Tahun 2029

Analisis tingkat kedatangan dihitung dengan cara melakukan regresi linear data historis tahun 2014-2018 untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol pada tahun 2029. Hasil perhitungan analisis tingkat kedatangan kendaraan pada tahun 2029 pada gerbang tol yang ditinjau adalah:

##### 1. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.1, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2029 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume lalu lintas 2029} &= a+bx \\ &= -346186652.8 + (173830.5 \times 2029) \end{aligned}$$

$$= 6.515.432 \text{ kendaraan}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2029 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\text{Volume lalu lintas harian} = 6.515.432/365$$

$$= 17.851 \text{ kendaraan/hari}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\text{Volume arus } \textit{peak hour} = 17.851 \times 0.11$$

$$= 1.964 \text{ kendaraan/jam.}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 70% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 15% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 7% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.42 berikut:

**Tabel 5.43** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2029

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	70%	1.374
II	15%	295
III	7%	137
IV	4%	79
V	4%	79

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

## 2. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.2, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2029 yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2029} &= a+bx \\
 &= -388296980.2 + (194735.6 \times 2029) \\
 &= 6.821.553 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}\text{Volume lalu lintas harian} &= 6.821.553 / 365 \\ &= 18.690 \text{ kendaraan/hari.}\end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } peak \text{ hour} &= 18.690 \times 0.11 \\ &= 2.056 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 74% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 15% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 6% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 3% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 3% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.43 berikut:

**Tabel 5.44** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Sei Rambah Arah Keluar Tahun 2029

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	74%	1.521
II	15%	309
III	6%	123
IV	3%	62
V	2%	41

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

### 3. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.3, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2029 yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2029} &= a+bx \\
 &= -472537556 + (237364.4 \times 2024) \\
 &= 9.074.812 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan

cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}\text{Volume lalu lintas harian} &= 9.074.812/365 \\ &= 24.863 \text{ kendaraan/hari.}\end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } \textit{peak hour} &= 24.863 \times 0.11 \\ &= 2.735 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 69% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 18% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 5% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.44 berikut:

**Tabel 5.45** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2029

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	69%	1.887
II	18%	493
III	5%	137
IV	4%	109
V	4%	109

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

#### 4. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linear dari volume lalu lintas pada Tabel 5.4, maka dapat dihitung volume lalu lintas pada tahun 2029 yaitu sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Lalu Lintas 2029} &= a+bx \\
 &= -468050269.4 + (234874.8 \times 2029) \\
 &= 8.510.700 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas yang telah didapat digunakan untuk mendapatkan tingkat kedatangan kendaraan saat *peak hour* dengan

cara jumlah kendaraan tahun 2024 dibagi dengan 365 hari untuk mendapatkan volume lalu lintas harian.

$$\begin{aligned}\text{Volume lalu lintas harian} &= 8.510.700/365 \\ &= 23.317 \text{ kendaraan/hari.}\end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat volume lalu lintas harian dari perhitungan diatas diubah menjadi volume arus *peak hour* dengan cara volume lalu lintas harian dikali dengan faktor k (0.11).

$$\begin{aligned}\text{Volume arus } \textit{peak hour} &= 23.317 \times 0.11 \\ &= 2.565 \text{ kendaraan/jam.}\end{aligned}$$

Kemudian proporsi jumlah kendaraan golongan I sampai dengan golongan V dihitung dengan acuan pada proporsi kendaraan yang masuk pada saat survei yang terdapat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Kendaraan golongan I memiliki proporsi kendaraan sebesar 73% dari total kendaraan. Kendaraan golongan II memiliki proporsi kendaraan sebesar 16% dari total kendaraan. Kendaraan golongan III memiliki proporsi kendaraan sebesar 5% dari total kendaraan. Kendaraan golongan IV memiliki proporsi kendaraan sebesar 4% dari total kendaraan. Kendaraan golongan V memiliki proporsi kendaraan sebesar 2% dari total kendaraan. Jumlah kendaraan yang masuk ke gerbang tol dapat dilihat pada Tabel 5.46 berikut:

**Tabel 5.46** Jumlah Kendaraan yang Masuk ke Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2029

Golongan	Proporsi	Jumlah Kendaraan/Jam
I	73%	1872
II	16%	411
III	5%	128
IV	4%	103
V	2%	51

Kendaraan golongan I dapat melewati seluruh gardu tol yang ada yaitu GTO *Multi* dan GTO *Single*. Kendaraan golongan II sampai V hanya dapat melewati GTO *Multi* karena ketinggian kendaraan lebih dari 2.1 meter. Proporsi GTO *Multi* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Multi* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Proporsi GTO *Single* adalah jumlah kendaraan yang masuk ke GTO *Single* saat survei dibagi dengan seluruh kendaraan yang masuk ke gerbang tol saat survei. Maka, proporsi GTO *Multi* =  $1618/2683 \times 100\% = 63\%$  dan proporsi GTO *Single* =  $965/2583 \times 100\% = 37\%$ .

### 5.5.5 Analisis Intensitas Lalu Lintas pada Tahun 2029

Intensitas Lalu Lintas ( $\rho$ ) adalah perbandingan Tingkat Kedatangan ( $\lambda$ ) dan Tingkat Pelayanan ( $\mu$ ) yang memiliki persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1. Analisis Intensitas dilakukan menggunakan waktu pelayanan rata-rata saat ini pada setiap gerbang yang dianalisis.

Gerbang Tol Sei Rampah dan Tebing Tinggi pada tahun 2024 direncanakan dengan Gerbang Tol Otomatis (GTO).

#### 1. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Hasil perhitungan analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut:

Waktu Pelayanan = 5.3 detik

$\lambda$  = 1964 kendaraan/jam

N = 3 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.3} \rightarrow \mu = 680 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{1964/3}{680} \rightarrow \rho = 0.963 < 1$$

Dari hasil perhitungan didapatkan  $\rho < 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang ada masih dalam kategori aman. Namun pada perhitungan panjang antrian, antrian yang terjadi tidak memenuhi syarat pelayanan minimum yaitu kurang dari 10 kendaraan yang mengantri, sehingga diperlukan penambahan jumlah gardu tol.

## 2. Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar

Hasil perhitungan analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut:

Waktu Pelayanan = 5.6 detik

$\lambda$  = 2056 kendaraan/jam

N = 3 (jumlah gardu yang terbuka)

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.6} \rightarrow \mu = 643 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{2056/3}{643} \rightarrow \rho = 1.066 > 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi akan menyebabkan antrian yang panjang. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang panjang untuk WP 5.6 detik adalah:

$$\text{Rumus: } \rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\frac{2056/N}{643} < 1$$

$N = 4$  (Jumlah gardu tol yang dibutuhkan)

Dengan WP 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan adalah 4 gardu tol.

### 3. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Hasil perhitungan Analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut

$$\text{Waktu Pelayanan} = 5.6 \text{ detik}$$

$$\lambda = 2735 \text{ kendaraan/jam}$$

$$N = 3 \text{ (jumlah gardu yang terbuka)}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5.6} \rightarrow \mu = 643 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{2735/3}{643} \rightarrow \rho = 1.418 > 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi akan menyebabkan antrian yang panjang. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang panjang untuk WP 5.6 detik adalah:

$$\text{Rumus: } \rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\frac{2735/N}{643} < 1$$

$N = 5$  (Jumlah gardu tol yang dibutuhkan)

Dengan WP 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan adalah 5 gardu tol.

#### 4. Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Hasil perhitungan Analisis intensitas lalu lintas dapat dilihat sebagai berikut:

Waktu Pelayanan = 5.6 detik

$\lambda = 2565$  kendaraan/jam

$N = 3$  (jumlah gardu yang terbuka)

$$\mu = \frac{1}{\text{WP}} \rightarrow \mu = \frac{3600}{5} \rightarrow \mu = 720 \text{ kend/jam}$$

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} \rightarrow \rho = \frac{2565/3}{720} \rightarrow \rho = 1.188 > 1$$

Dengan hasil analisis yaitu  $\rho > 1$ , berarti intensitas lalu lintas yang terjadi akan menyebabkan antrian yang panjang. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang panjang untuk WP 5 detik adalah:

$$\text{Rumus: } \rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1$$

$$\frac{2565/N}{643} < 1$$

$N = 4$  (Jumlah gardu tol yang dibutuhkan)

Dengan WP 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan adalah 4 gardu tol.

### 5.5.6 Analisis Antrian pada Gerbang Tol (Antrian FIFO) pada Tahun 2029

Analisis antrian ini dilakukan untuk menghitung seberapa panjang antrian secara hitungan dan menghitung jumlah gardu optimum yang dibutuhkan. Analisis antrian ini dihitung menggunakan waktu pelayanan rata-rata yang telah dihitung pada sub-bab sebelumnya pada setiap gerbang yang ditinjau.  $\lambda$  adalah tingkat kedatangan kendaraan,  $\mu$  adalah tingkat pelayanan berdasarkan waktu pelayanan yang terjadi, dan  $\rho$  adalah intensitas lalu lintas berdasarkan waktu pelayanan yang terjadi.

#### 1. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.3 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda = 1964$  kendaraan/jam

$\mu = 679$  kendaraan/jam

$\rho = 0.723$

WP = 5.3 detik/kendaraan

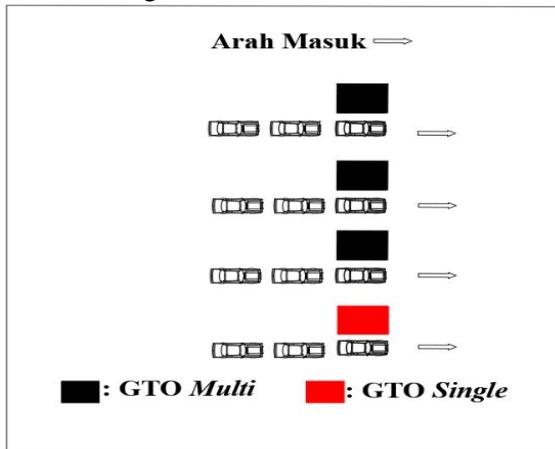
N = 4 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

Dikarenakan panjang antrian yang melebihi standar pelayanan minimal (SPM) dengan 3 jumlah lajur antrian, maka perhitungan ini menggunakan 4 lajur antrian. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.47 berikut:

**Tabel 5.47** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.3 Detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
4	5.3	3	15	2	10	19.1	13.8
4	5.3	3	15	2	10	19.1	13.8
4	5.3	3	15	2	10	19.1	13.8
4	5.3	3	15	2	10	19.1	13.8

Dari Tabel 5.47 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5.3 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 4 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 20 meter. Sketsa antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk dengan menggunakan WP 5.3 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.17** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Masuk Tahun 2029

## 2. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Sei Rempah Arah Keluar

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda$  = 2056 kendaraan/jam

$\mu$  = 643 kendaraan/jam

$\rho$  = 0.800

WP = 5.6 detik/kendaraan

N = 4 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

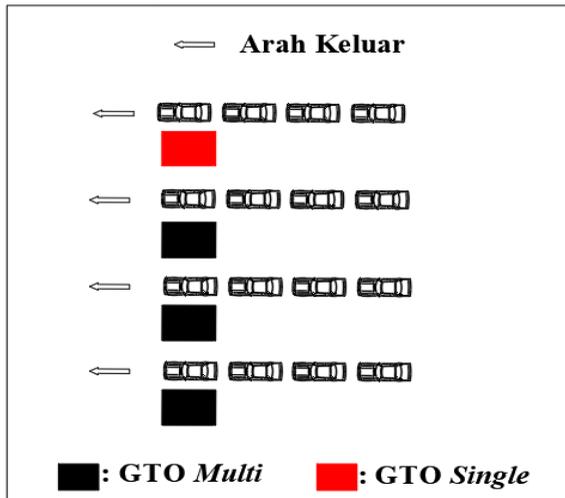
Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.48 berikut

**Tabel 5.48** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Sei Rempah Arah Keluar Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 Detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
4	5.6	4	20	3	15	27.9	21.3
4	5.6	4	20	3	15	27.9	21.3
4	5.6	4	20	3	15	27.9	21.3
4	5.6	4	20	3	15	27.9	21.3

Dari Tabel 5.48 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 4 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 20 meter. Sketsa antrian pada

Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar dengan menggunakan WP 5.6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.18** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Sei Rampah Arah Keluar Tahun 2029

### 3. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5.6 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda$  = 2735 kendaraan/jam

$\mu$  = 643 kendaraan/jam

$\rho$  = 0.7

WP = 5.6 detik/kendaraan

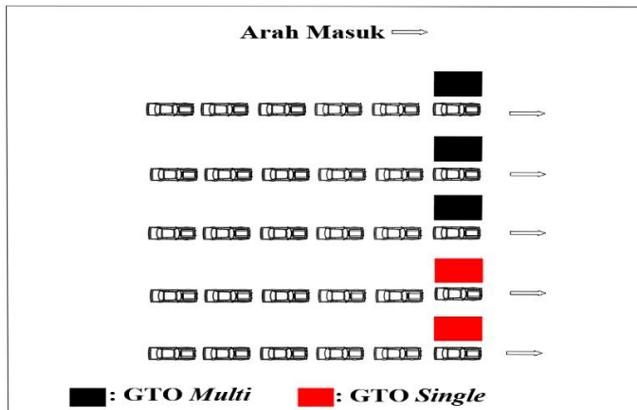
N = 3 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

Pada WP 5.6 detik/kendaraan, terdapat lebih dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah gabungan dari semua golongan yaitu 2 golongan I, 1 golongan II, 1 golongan III, IV, dan V. Untuk gardu 5 (*Single*), kendaraan yang lewat semuanya golongan 1 yaitu 8 kendaraan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.49 berikut:

**Tabel 5.49** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 Detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
5	5.6	6	77.8	5	25	37.5	31.9
5	5.6	6	77.8	5	25	37.5	31.9
5	5.6	6	77.8	5	25	37.5	31.9
5	5.6	6	30	5	25	37.5	31.9
5	5.6	6	30	5	25	37.5	31.9

Dari Tabel 5.49 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 5 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 77.8 meter. Sketsa antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk dengan menggunakan WP 5.6 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.19** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Masuk Tahun 2029

#### 4. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar

Panjang kendaraan pada perhitungan analisis dibedakan sesuai golongannya, yaitu golongan I = 5 m; golongan II = 8,7 m; golongan III = 12,1 m; golongan IV = 21 m; golongan V = 21 m.

Menggunakan Waktu Pelayanan = 5 detik/kendaraan

Diketahui:  $\lambda$  = 2565 kendaraan/jam

$\mu$  = 720 kendaraan/jam

$\rho$  = 0.891

WP = 5 detik/kendaraan

N = 4 (Jumlah lajur antrian yang terjadi)

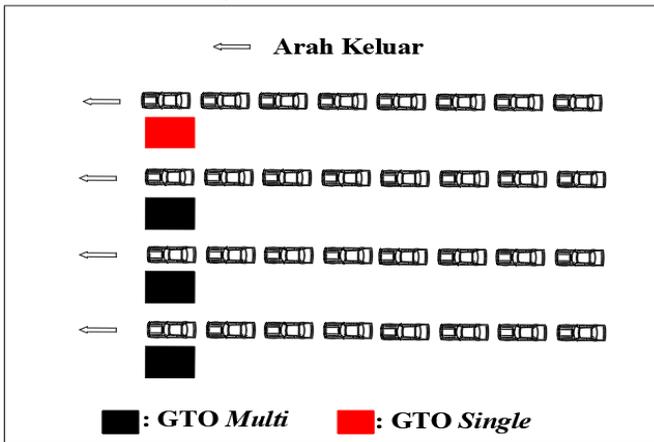
Pada WP 5 detik/kendaraan, terdapat lebih dari 5 kendaraan yang mengantri sehingga diasumsikan bahwa kendaraan yang mengantri adalah gabungan dari semua golongan yaitu 3 golongan I, 2 golongan II, 1 golongan III, IV, dan V. Untuk gardu 5 (*Single*),

kendaraan yang lewat semuanya golongan 1 yaitu 8 kendaraan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.50 berikut:

**Tabel 5.50** Perhitungan Antrian Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2029 Menggunakan Waktu Pelayanan 5.6 Detik

Jumlah Gardu Tol (N)	WP	Perhitungan					
		n (kend)	n (meter)	q (kend)	q (meter)	d (detik)	w (detik)
4	5.6	8	86.5	7	77.8	45.7	40.7
4	5.6	8	86.5	7	77.8	45.7	40.7
4	5.6	8	86.5	7	77.8	45.7	40.7
4	5.6	8	40	7	35	45.7	40.7

Dari Tabel 5.50 dapat dilihat bahwa dengan waktu pelayanan kendaraan rata-rata 5.6 detik, jumlah gardu tol yang dibutuhkan pada tahun 2024 adalah sebanyak 4 gardu tol dengan panjang antrian terpanjang adalah sepanjang 86.5 meter. Sketsa antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar dengan menggunakan WP 5 detik adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.20** Sketsa Antrian pada Gerbang Tol Tebing Tinggi Arah Keluar Tahun 2029

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Tugas akhir ini merupakan evaluasi kinerja dan pelayanan Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi. Dari hasil analisis, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Panjang antrian yang terjadi pada gerbang tol yang ditinjau adalah sebagai berikut:
  - a. Pada Gerbang Tol Sei Rampah arah masuk, panjang antrian yang terjadi dengan kondisi 3 gardu tol yang beroperasi dengan menggunakan WP 3 detik = 5 m; WP 4 detik = 5 m; WP 5.3 detik = 10 m; WP 6 detik = 20 m.
  - b. Pada Gerbang Tol Sei Rampah arah keluar, panjang antrian yang terjadi dengan kondisi 3 gardu tol yang beroperasi dengan menggunakan WP 3 detik = 5 m; WP 4 detik = 5 m; WP 5.6 detik = 15 m; WP 6 detik = 25 m.
  - c. Pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah masuk, panjang antrian yang terjadi dengan kondisi 3 gardu tol yang beroperasi dengan menggunakan WP 3 detik = 5 m; WP 4 detik = 5 m; WP 5.6 detik = 20 m.
  - d. Pada Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar, panjang antrian yang terjadi dengan kondisi 4 gardu tol yang beroperasi dengan menggunakan WP 3 detik = 5 m; WP 4 detik = 10 m; WP 5.6 detik = 72.8 m.
2. Dengan jumlah tingkat kedatangan yang ada maka jumlah gardu yang perlu dibuka untuk masing-masing gerbang tol yaitu untuk gerbang tol Sei Rampah arah masuk = 3 gardu; untuk gerbang tol Sei Rampah arah keluar = 3 gardu; untuk

gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk = 4 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar = 3 gardu.

- 3 Dengan jumlah tingkat kedatangan yang sudah diramalkan maka jumlah gardu yang perlu dibuka untuk masing-masing gerbang tol pada tahun 2024 yaitu untuk gerbang tol Sei Rampah arah masuk = 3 gardu; untuk gerbang tol Sei Rampah arah keluar = 3 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk = 4 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar = 4 gardu. Untuk tahun 2029, Jumlah gardu yang perlu dibuka untuk masing-masing gerbang tol yaitu untuk gerbang tol Sei Rampah arah masuk = 4 gardu; untuk gerbang tol Sei Rampah arah keluar = 4 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah masuk = 5 gardu; untuk gerbang tol Tebing Tinggi arah keluar = 4 gardu.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil tugas akhir ini, berikut saran yang dapat diberikan oleh penyusun kepada perencana gerbang tol, badan pengelola jalan tol ataupun pemerintah agar tercapainya gerbang tol yang baik dan sesuai dengan standar pelayanan minimum:

1. Untuk dapat tercapainya kelancaran arus lalu lintas pada gerbang tol, perlu diberikan beberapa informasi kepada para pengguna jalan tol. Ada beberapa hal yang dapat dilakukan pengelola untuk tercapainya situasi arus lalu lintas kendaraan yang baik, hal-hal yang dapat dilakukan sebagai berikut:
  - a. Sosialisasi kepada pengguna jalan tol terkait kesadaran saldo *e-toll* agar sudah cukup saat mau memasuki gerbang tol
  - b. Mempermudah pengisian (*top up*) dan pembelian *e-toll card*.

- c. Pelatihan-pelatihan untuk operator gardu tol dalam hal perbaikan pelayanan.
  - d. Memperlajari sistem pembayaran yang paling efektif untuk transaksi gerbang tol yang dapat diterapkan kedepannya.
2. Untuk mengantisipasi peningkatan volume kendaraan yang masuk pada gerbang tol yang dapat mengakibatkan kemacetan pada gerbang tol untuk masa jangka panjang, ada beberapa hal yang dapat dilakukan pengelola yaitu sebagai berikut:
  - a. Penambahan jumlah gardu tol pada gerbang tol yang diperkirakan akan terjadi kemacetan.
  - b. Membuat gerbang tol berbasis *Toll Plaza* bila lahan yang ada terbatas.
  - c. Menggunakan sistem *One Way* dan *Contraflow* pada saat-saat tertentu.
3. Survei pengamatan waktu pelayanan seyogyanya dihitung pada setiap golongan kendaraan mulai dari saat mulai merapat, *tapping*, hingga meninggalkan *gate*. Selain itu, analisis panjang antrian dihitung berdasarkan lama pelayanan dan jumlah kendaraan sesuai dengan golongannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengatur Jalan Tol. (2016). Tujuan dan Manfaat. Tersedia pada: <http://bpjt.pu.go.id/konten/jalan-tol/tujuan-dan-manfaat>, (Diakses: 25 Mei 2019).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2009). Standar Konstruksi dan Bangunan Nomor 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2014). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Fahza A. dan Widyastuti, H. (2019). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan Lalu Lintas pada Ruas Jalan Tol Surabaya-Gempol. *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, 2019. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Gross, D., Shortle, J. F., Thompson, J. M., Harris C. M., (2008). *Fundamental of Queueing Theory*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kakiay, T. J. (2004). Dasar Teori Antrian untuk Kehidupan Nyata. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2007). Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370/KPTS/2007 tentang Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2014). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Napitu, L. F. (2008). Analisis Antrian Pada PT. Bank Rakyat Indonesia Cabang Pematang Siantar Unit Pasar Horas. Universitas Sumatera Utara.
- Pemerintah Indonesia. (2004). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan. Jakarta: Sekretariat Negara.

- Pemerintah Indonesia. (2005). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Tamin, O. Z. (2003). Perencanaan dan Permodelan Transportasi (Edisi Kedua). Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Tappangrara, M. A. dan Buana, C. (2013) Manajemen Lalu-Lintas akibat Adanya Pembangunan Hotel Santika Gubeng. J. Apl. Tek. Sipil, vol. 2, no. 2. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Walpole, R. E. (1995). Pengantar Statiska. Jakarta: Penerbit Gramedia Pustaka Utama.

Lampiran 1 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Sei Rampah arah Masuk Gardu 1 (GTO)

Gardu 1																																																
16.00-17.00										17.00-18.00										18.00-19.00																												
3	4	5	3	4	5	7	3	5	3	4	4	4	4	4	6	7	4	3	3	6	6	5	4	7	6	5	5	4	5	5	6	4	6	5	4	4	6	4										
3	3	4	3	3	5	8	8	4	5	4	4	4	3	5	5	5	5	4	4	6	8	4	4	6	12	6	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	4	3										
5	3	3	2	6	5	4	10	4	3	4	4	4	4	6	5	4	5	5	5	7	6	4	6	7	6	4	6	4	4	5	6	4	7	6	5	8	7	5										
4	5	3	4	4	7	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	6	4	4	4	4	6	5	6	7	6	4	4	4	5	5	6	6	12	6	5	6	5											
3	4	4	4	4	7	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	5	5	5	4	7	6	6	4	7	4	6	4	4	3	6	6	8	7	7	4	6	4										
3	4	4	3	5	6	3	13	4	6	5	3	5	5	4	4	7	6	3	3	4	4	5	5	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	4	5	5	3	6										
4	3	3	3	5	5	3	6	6	5	5	3	7	5	5	3	4	4	6	6	5	9	5	6	5	7	6	5	5	6	5	5	6	4	5	8	4	7	5										
3	5	5	6	8	3	5	4	5	4	4	8	4	3	4	4	5	4	4	5	4	7	7	5	5	6	5	5	4	5	6	4	5	8	7	3	5	5											
3	5	4	5	4	5	5	3	4	3	4	3	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	6	4	6	6	5	5	4	5	4	8	5	8	7	3	5	5											
5	5	2	7	5	4	5	4	4	5	6	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	7	3	5	6									
6	6	4	4	5	4	4	5	3	6	6	5	5	4	7	6	4	8	8	8	4	4	5	5	7	6	5	5	4	5	8	4	5	8	6	4	6	6											
4	5	5	4	4	5	4	5	3	6	6	6	5	6	11	5	3	5	5	4	6	11	7	6	7	4	4	5	3	4	4	6	10	4	7	4	4	7	4										
4	5	3	3	4	4	6	6	4	5	6	5	4	6	4	8	3	6	6	4	6	5	5	6	8	6	4	3	3	4	7	7	7	3	9	5	5	5											
3	3	5	6	6	3	3	9	5	4	7	4	5	5	5	13	5	7	7	4	6	7	5	7	5	5	4	3	3	5	5	5	5	4	4	4	4	4											
3	5	3	5	5	3	4	10	5	7	6	3	4	4	4	5	4	8	8	5	6	8	5	4	6	4	4	4	5	6	3	4	5	6	6	5	8	5	8										
4	5	4	3	5	3	5	4	4	8	6	4	5	3	5	4	4	5	5	4	7	6	5	4	5	5	5	6	5	6	5	4	6	8	5	3	7	5											
5	6	4	5	4	5	4	4	4	4	4	3	6	3	6	6	4	4	4	4	6	9	6	5	6	6	5	5	6	5	6	3	4	6	5	4	6	5	4										
3	3	4	3	4	4	4	3	6	5	5	6	13	4	4	7	5	4	4	4	4	5	5	4	6	6	5	5	4	5	4	5	4	5	4	3	5	4	3	5									
3	5	4	5	5	4	4	4	4	8	4	5	4	5	3	6	4	4	4	4	5	4	6	5	6	5	6	6	5	4	3	4	7	4	4	5	4	5	4										
4	4	3	6	5	4	6	5	3	5	5	4	3	6	5	4	5	4	4	6	5	4	5	6	7	7	11	4	3	5	5	14	4	3	6	7	7	11	4	3	6	7							
4	4	6	5	5	4	7	5	4	7	5	10	5	4	6	5	12	5	5	6	5	4	6	7	5	4	4	6	4	5	8	5	4	4	3	7	5	4	3	7	5								
5	5	5	4	8	4	4	4	4	6	6	5	4	4	2	5	8	5	5	4	5	4	6	5	5	4	4	4	3	6	5	4	3	5	4	9	6	4	4	9	6								
4	5	4	4	4	4	5	5	7	6	6	6	6	3	4	7	4	4	4	5	4	6	8	4	4	7	5	3	4	4	5	4	3	4	3	4	3	7	7	5	3	4	3	7					
5	3	3	3	3	6	3	3	5	4	6	5	4	3	5	6	5	5	5	4	5	5	5	6	6	6	6	6	10	5	4	6	4	7	4	5	5	7	6	10	5	4	6	4	7	4	5	5	7
4	6	3	5	5	6	3	6	3	4	5	5	5	5	6	5	5	4	4	6	4	5	9	5	5	5	5	5	5	8	5	4	5	5	4	5	8	8	5	5	8	5	4	5	8	8			

Lampiran 2 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Sei Rampah arah Masuk Gardu 3 (GTO)

Gardu 3

16.00-17.00													17.00-18.00													18.00-19.00													
4	5	6	6	8	7	4	5	4	6	5	6	4	5	8	7	5	5	6	7	7	5	5	6	4	4	6	4	4	8	4	6	6	4	6	6	3	8	3	
3	4	7	5	6	7	4	6	5	5	5	5	11	5	5	7	4	9	3	4	6	4	6	6	6	3	9	5	5	4	6	5	6	6	4	5	6	6	4	
4	6	5	4	8	6	6	6	5	5	6	5	6	6	7	6	6	9	3	6	7	6	4	6	3	3	5	5	5	6	4	6	4	3	6	4	6	3	5	
3	6	4	6	5	6	4	5	6	6	7	6	4	5	4	5	8	7	5	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	3	5	6	6	4	6	6	6	3	6	
3	4	5	5	6	4	5	6	5	5	6	4	10	5	4	6	5	6	3	4	7	4	6	4	5	3	5	5	5	3	4	4	5	3	5	5	5	5	5	
4	8	6	5	6	6	5	5	5	6	7	4	6	4	5	6	6	4	4	3	4	5	5	4	5	10	6	6	8	6	5	6	7	4	6	7	7	6	6	
4	6	11	4	5	6	6	5	6	4	8	6	10	6	4	4	11	5	6	3	4	6	6	7	6	4	6	6	6	5	4	6	5	4	4	7	5	5	8	
6	7	4	5	4	5	7	8	5	4	6	4	4	6	6	8	7	5	4	4	8	4	7	6	5	5	8	5	5	4	6	6	4	5	3	5	6	5	6	
5	6	5	5	4	6	6	6	5	6	4	4	9	6	7	6	8	6	6	6	6	5	6	7	6	5	6	6	5	5	6	5	13	6	5	5	4	5	9	
4	6	5	4	5	8	6	5	5	4	7	6	8	7	7	5	6	6	7	6	7	6	5	5	6	6	4	5	5	4	6	6	7	6	5	5	6	6	4	
5	5	6	5	4	6	6	8	5	4	4	6	4	6	5	5	5	7	3	4	4	4	3	4	4	5	5	6	6	5	4	6	6	8	5	4	4	6	4	5
5	4	5	4	5	12	6	5	15	6	6	6	6	6	6	5	8	6	5	6	6	4	3	5	3	6	3	6	6	6	6	4	6	6	6	6	6	5	6	5
4	5	5	4	4	10	5	6	4	4	4	6	6	6	3	5	6	9	5	6	5	3	4	3	4	4	5	4	4	3	6	5	5	6	4	4	4	6	4	4
6	5	5	6	6	6	7	5	4	4	6	4	6	5	5	5	6	6	3	6	4	5	4	5	4	3	6	5	5	6	6	6	6	4	6	6	4	6	4	
5	6	6	5	9	4	7	6	4	13	5	5	8	7	4	9	6	6	3	4	7	3	3	5	5	5	5	5	5	4	4	4	7	6	7	5	6	6	6	
6	5	8	6	8	6	5	6	6	7	6	6	5	6	6	5	6	6	4	8	4	5	6	4	4	4	4	5	6	4	4	4	4	4	4	4	5	3	3	
5	4	4	5	8	5	5	6	5	8	5	4	5	5	3	8	5	6	4	4	7	4	7	5	5	5	5	5	5	4	4	5	6	7	4	4	4	7	7	
6	6	8	8	6	5	4	9	6	7	6	6	5	7	4	7	4	5	3	5	5	6	6	6	8	3	6	6	6	6	6	4	4	6	5	3	6	3	6	3
4	5	6	6	7	5	4	6	4	7	8	4	4	6	8	5	4	3	4	4	5	7	4	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	3	4	3	3	
6	7	8	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	6	4	6	4	6	6	5	4	5	5	5	5	5	4	3	6	6	3	4	6	4	4	4	
6	7	6	6	5	6	4	4	7	5	9	4	6	4	7	6	4	4	4	3	4	5	3	5	7	6	4	5	3	5	7	6	5	5	7	3	8	7	7	
5	4	6	7	8	4	4	6	7	6	7	4	5	7	5	10	4	6	6	5	3	4	6	4	6	6	6	6	6	4	4	5	3	6	6	4	6	5	5	
6	8	8	8	7	4	6	4	6	4	6	5	5	6	9	6	3	5	7	6	6	5	4	7	5	5	5	5	5	4	4	6	8	4	7	5	4	6	3	
5	6	8	6	6	4	5	6	4	5	5	5	7	7	9	9	5	7	5	8	4	5	5	5	6	6	6	6	6	6	7	4	8	5	4	8	5	4	4	7
4	4	4	8	5	4	5	6	6	6	6	5	7	10	7	6	3	8	5	3	5	5	7	3	6	6	6	6	6	4	6	4	3	4	4	5	6	6	6	

Lampiran 3 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Sei Rampah arah Masuk Gardu 5 (GTO)

Gardu 5

16.00-17.00											17.00-18.00											18.00-19.00											
5	3	4	5	6	5	4	4	6	6	4	5	4	5	4	6	6	5	5	7	6	5	8	5	6	7	3	4	4	5	6			
5	7	4	5	7	6	5	5	5	5	4	4	3	5	4	3	5	5	6	4	6	6	4	5	7	6	7	5	3	5				
6	6	5	7	6	3	6	4	8	6	3	6	3	3	6	7	6	5	6	4	5	4	6	7	7	4	5	9	8	6	12	3	4	4
4	9	3	5	7	6	8	5	5	6	3	8	5	5	3	5	4	4	6	3	7	4	6	6	6	6	7	8	7	4	5			
6	4	5	5	5	5	13	3	4	6	5	6	5	5	3	9	6	6	7	6	7	6	6	4	3	7	6	5	6	5	12	5	6	3
5	3	3	5	6	4	5	5	3	4	3	6	5	4	6	5	3	6	5	4	6	3	6	3	8	5	4	7	5	5	3	5	5	5
4	8	6	5	5	6	12	5	4	3	6	6	3	4	3	6	5	7	5	5	7	3	5	5	4	6	5	5	8	5	5	7	3	6
8	5	6	4	3	4	6	5	3	6	6	4	3	7	5	3	6	4	7	6	5	5	9	3	7	3	7	8	4	4	6	5	6	
6	7	6	7	6	5	4	3	4	6	5	3	3	5	3	10	6	6	5	5	3	5	6	4	5	5	11	5	6	6	7	3	3	
7	5	5	3	3	6	6	6	5	3	3	5	5	8	6	5	3	4	5	5	4	5	5	3	6	7	5	4	5	6	6	5	5	
11	7	5	3	4	3	13	5	5	4	6	6	4	6	4	3	5	4	6	8	3	5	5	4	7	7	5	4	3	7	7	5	5	
4	3	5	5	7	6	4	6	3	4	4	4	3	5	6	3	4	9	7	5	4	6	5	5	8	6	5	6	5	7	5	5	3	
9	5	7	4	6	6	7	6	5	3	3	4	3	5	5	6	5	4	7	8	6	5	8	3	6	6	4	3	3	8	3	5	5	
5	7	5	8	5	11	6	4	5	5	6	5	5	3	5	5	6	6	8	6	4	4	6	4	6	7	8	5	3	5	5	3	6	
7	5	8	4	6	4	6	7	4	3	3	4	9	4	6	3	9	6	5	8	5	6	3	4	5	5	3	6	5	6	6	4	4	
6	3	6	7	5	3	4	3	4	6	4	5	4	5	5	5	4	5	6	5	4	4	5	4	5	6	3	3	3	8	7	6	5	
8	7	6	6	6	7	4	7	3	3	6	5	3	5	5	6	5	7	7	5	4	4	7	5	6	3	3	3	6	3	5	5	5	
5	5	5	6	4	4	4	4	6	6	3	6	3	4	5	5	4	7	12	6	4	4	6	6	6	6	5	6	6	8	7	7	6	
4	5	4	5	5	4	3	7	4	6	5	5	5	6	4	6	5	6	6	6	6	4	6	4	5	7	5	4	8	5	6	3	6	
5	3	5	6	3	7	7	3	4	5	7	3	5	6	3	5	6	6	6	7	6	4	4	6	9	4	5	6	6	6	5	7	7	
6	3	5	4	4	3	5	5	4	6	3	9	4	5	6	4	4	5	5	6	6	8	5	3	6	8	5	7	4	6	6	5	5	
7	4	4	7	4	4	4	7	6	7	4	5	6	7	4	5	6	3	5	5	6	7	4	6	3	4	5	10	5	6	5	5	5	
9	3	5	7	3	7	4	6	6	5	7	5	6	5	3	3	6	6	4	6	5	4	6	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	
7	6	6	4	4	6	6	7	5	5	5	4	4	4	4	6	6	3	5	5	6	9	5	3	6	7	4	4	6	6	4	3	3	
6	3	6	7	7	10	6	4	6	5	6	4	3	6	3	3	3	4	5	5	7	6	4	3	5	5	6	5	3	6	4	5	5	

Lampiran 4 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Sei Rampah arah Keluar Gardu 2 (GTO)

Gardu 2

16.00-17.00										17.00-18.00										18.00-19.00														
4	6	5	6	6	6	4	7	5	4	5	6	7	7	3	6	4	6	5	5	7	8	8	7	5	6	8	7	7	4	8	7	6	4	6
5	6	7	4	4	5	4	4	3	7	5	6	8	7	6	8	8	6	4	6	8	6	6	4	8	5	6	5	4	10	6	3	7	8	9
4	4	4	6	7	7	3	3	4	4	6	4	3	7	8	3	3	5	7	7	6	5	6	4	7	3	8	5	7	3	7	4	4	5	4
5	5	5	4	4	5	3	4	4	4	5	5	6	4	6	3	3	3	4	4	4	3	8	5	8	5	8	5	3	4	7	5	5	4	3
5	5	4	5	5	6	4	4	6	6	5	5	5	7	3	5	3	7	6	3	8	5	5	5	6	7	5	8	4	5	8	10	8	6	7
3	7	7	4	7	6	5	5	4	7	6	4	3	4	8	3	6	4	6	8	3	6	5	5	4	5	4	5	8	9	4	9	4	8	
7	6	3	5	6	7	4	5	5	7	6	7	5	5	8	6	3	3	4	6	7	5	8	3	8	4	3	6	4	8	3	6	7	6	
7	4	6	5	4	7	3	4	4	7	4	3	7	8	6	8	6	3	5	8	6	6	7	5	3	9	3	7	6	5	3	5	3	5	
5	3	6	5	7	3	6	8	4	5	7	3	5	4	5	3	3	5	8	4	3	8	6	4	6	3	4	7	4	6	7	5	4	8	
4	6	4	5	7	7	4	6	4	6	7	7	3	5	8	4	8	6	8	4	7	3	3	8	7	4	6	5	7	8	6	5	5	7	
4	6	4	3	4	4	7	8	5	6	4	7	6	4	3	3	4	6	8	3	6	3	8	7	3	3	8	5	6	4	4	6	8		
7	5	4	4	6	6	3	7	4	6	6	8	4	6	7	3	3	7	4	6	3	5	8	8	7	4	9	4	4	4	3	9	3		
4	5	6	4	5	7	6	4	5	5	4	6	5	6	6	8	8	5	3	3	5	5	8	6	5	6	6	7	6	3	3	5	6		
6	7	7	6	3	4	5	5	7	6	6	7	4	4	7	8	4	7	8	6	7	4	7	5	5	7	4	3	5	9	3	3	9		
7	6	3	5	4	7	3	3	5	5	5	6	5	5	3	6	8	7	7	3	7	6	7	6	3	3	6	3	8	3	3	7	4		
6	5	7	6	7	7	6	5	4	6	5	7	4	3	5	6	5	5	6	4	6	5	8	7	3	7	4	9	3	6	4	6	6		
4	3	5	5	7	6	4	8	3	5	6	8	4	8	4	4	8	7	5	5	5	4	6	3	6	4	5	4	6	7	6	3	6		
3	5	4	4	7	6	6	4	5	6	4	5	4	6	3	5	6	7	6	4	3	4	3	8	10	9	3	8	4	4	8	6	3		
6	4	6	9	4	5	4	6	6	6	5	6	4	8	5	5	7	7	4	4	6	6	5	6	8	3	7	4	8	11	7	6	6		
4	4	4	3	4	6	5	3	4	4	6	4	3	4	8	8	6	8	7	6	7	3	7	6	6	8	3	7	7	7	5	5	6		
5	4	6	4	5	6	5	5	5	6	6	3	8	6	5	7	3	7	4	4	3	7	7	3	4	7	8	7	7	4	4	10	5		
6	6	5	6	5	6	4	5	7	4	5	5	8	7	6	7	6	6	6	7	8	3	5	5	9	5	5	3	8	6	9	4	6		
4	7	5	5	7	3	5	4	4	7	5	3	6	7	6	7	5	3	3	3	5	6	6	10	4	3	7	6	9	3	4	5	6		
4	6	5	7	6	6	4	5	4	6	6	8	3	7	6	5	5	7	5	5	5	7	6	5	8	8	4	4	7	5	6				
7	5	4	7	4	6	7	4	4	5	4	5	5	4	4	7	4	5	3	6	6	5	6	7	7	4	9	7	8	4	7	5			

Lampiran 5 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Sei Rampah arah Keluar Gardu 4 (GTO)

Gardu 4 (GTO Multi)

16.00-17.00										17.00-18.00										18.00-19.00															
6	4	7	7	3	5	7	7	2	7	4	5	8	3	4	5	3	6	5	4	7	6	5	3	5	3	8	5	3	6	4	6	7	8	7	5
5	4	8	6	3	4	3	5	6	6	7	8	8	8	4	3	8	8	7	4	5	3	5	6	4	6	6	3	8	6	10	4	8	4	5	8
3	7	4	8	6	4	3	3	6	7	3	4	3	5	7	7	4	7	3	7	7	3	3	8	4	4	8	6	7	6	7	9	5	3	9	6
5	4	5	4	8	7	3	7	4	4	6	4	8	8	6	5	7	7	5	5	4	8	7	8	6	7	6	5	5	4	7	3	3	5	5	6
3	5	4	8	5	5	6	3	3	3	7	6	5	4	4	6	5	6	8	7	6	6	5	8	4	7	9	4	4	3	5	8	4	8	6	7
5	8	5	8	5	5	6	9	7	3	3	8	4	3	6	5	8	7	7	8	5	3	7	8	7	3	10	4	5	5	5	7	3	7	8	8
6	6	6	5	5	8	4	6	7	6	5	6	6	8	5	7	5	5	4	4	3	8	4	5	7	5	6	5	6	6	5	5	6	7	5	6
6	8	8	3	9	9	3	4	3	7	4	7	3	6	6	6	3	5	6	7	7	6	3	7	7	7	8	8	7	7	7	5	8	5	6	6
5	8	3	7	5	4	8	8	7	5	8	4	3	8	7	7	4	3	6	5	5	5	4	7	4	3	4	3	8	3	5	3	4	3	5	5
5	7	8	3	6	5	4	5	8	4	4	8	4	6	5	7	8	7	4	4	7	4	4	6	4	6	4	4	6	4	4	3	6	5	4	4
7	4	5	7	5	3	9	6	3	5	7	4	3	3	5	6	5	5	6	6	8	3	7	6	3	6	6	9	7	3	4	5	3	5	3	5
3	7	6	7	8	8	3	4	4	7	3	5	8	3	4	5	6	8	8	4	4	8	5	7	4	6	3	3	7	7	5	9	6	8	6	7
7	5	4	7	7	5	8	3	4	8	5	6	3	5	5	7	3	3	6	8	5	6	6	7	4	4	4	3	6	7	6	5	8	7	3	6
8	4	7	3	5	8	4	4	5	8	4	3	4	5	5	7	5	5	7	5	6	5	7	3	6	7	8	7	7	8	5	8	7	6	6	
4	3	4	5	8	5	6	6	7	8	3	5	5	8	6	6	4	4	3	4	6	5	4	7	9	9	6	7	8	6	8	3	7	8	8	
7	6	7	9	5	7	6	4	5	7	4	7	5	3	6	3	8	4	4	6	7	5	4	7	6	3	7	3	8	5	6	5	6	6	6	
7	7	8	6	5	8	5	7	7	4	3	3	5	8	7	6	8	7	5	5	6	8	8	3	5	8	8	9	4	7	7	6	5	7	7	
3	5	8	5	5	8	7	8	7	4	7	8	8	5	4	6	8	3	3	3	7	3	5	5	5	5	5	5	8	4	7	9	7	7	7	
5	7	5	3	5	3	4	6	7	6	6	7	5	8	4	3	4	5	7	8	3	4	4	7	6	6	7	6	4	3	7	9	3	6	6	
4	3	7	8	3	5	5	7	4	5	4	5	8	6	3	7	4	4	4	8	4	5	3	3	5	6	10	5	6	8	3	3	7	8	8	
8	8	3	4	3	5	6	7	4	4	4	3	7	6	7	6	7	5	5	3	5	8	4	7	4	4	6	4	7	4	4	3	8	8	8	
6	4	3	6	7	4	6	5	4	6	6	5	6	8	7	7	8	8	5	6	7	7	8	3	6	7	3	8	8	5	4	4	6	7	7	
3	7	8	7	3	3	9	6	4	6	6	8	5	6	8	7	4	6	4	3	8	7	5	3	6	4	4	10	9	6	8	5	7	5	7	
6	9	3	5	5	7	4	8	6	6	6	3	3	6	6	5	8	3	7	7	4	3	7	8	5	4	4	3	7	6	4	5	5	5	5	
7	7	9	6	5	7	8	4	6	6	6	6	3	5	3	5	6	6	4	4	8	4	6	4	3	4	3	5	4	6	3	3	7	4	4	

Lampiran 6 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Sei Rampah arah Keluar Gardu 6 (GTO)

Gardu 6																																				
16.00-17.00														17.00-18.00										18.00-19.00												
5	3	8	5	3	6	4	6	7	8	7	5	4	7	6	6	5	3	6	12	6	4	6	7	7	7	7	3	5	6	4	3	6	7	6	4	
4	6	6	3	8	6	10	4	8	4	5	8	3	6	7	4	13	5	4	6	6	5	4	3	6	8	6	3	5	5	5	5	8	7	8	3	7
4	4	8	6	7	6	7	9	5	3	9	6	6	7	6	3	8	3	5	6	6	4	4	3	6	4	4	8	4	8	4	7	5	4	8	6	4
6	7	6	5	5	4	7	3	3	5	5	6	6	5	9	7	6	6	3	6	5	5	6	5	4	3	7	8	4	6	8	4	4	8	4	4	3
4	7	9	4	4	3	5	8	4	8	6	7	7	9	6	6	10	6	3	4	5	5	3	4	6	5	7	4	7	7	6	6	8	6	7	5	
7	3	10	4	5	5	5	7	3	7	8	8	6	5	9	3	5	8	4	4	8	5	6	9	3	3	7	4	6	7	5	7	4	6	5	6	
7	5	6	5	6	6	5	5	6	7	5	6	6	5	5	6	6	4	4	5	3	7	6	6	5	8	3	8	3	5	3	8	7	3	5	5	
7	7	8	8	7	7	7	5	8	5	6	6	3	3	4	7	6	4	4	5	7	4	6	6	8	8	8	5	4	4	8	5	8	7	5	5	
4	3	4	3	8	3	5	3	4	3	5	5	3	3	6	5	6	6	3	4	10	5	7	7	6	8	6	3	5	5	4	3	7	6	6	8	
4	6	4	4	6	4	4	3	6	5	4	4	5	7	5	5	4	5	5	6	6	4	7	5	8	6	4	3	6	7	8	8	3	4	8	4	
3	6	6	9	7	3	4	5	3	5	3	5	3	4	6	7	12	3	4	3	8	8	7	4	4	4	4	6	3	7	4	8	3	7	6	3	7
4	6	3	3	7	7	5	9	6	8	6	7	3	4	8	6	7	5	8	7	4	6	4	6	9	7	4	8	4	6	5	3	7	7	5	3	
4	4	4	3	6	7	6	5	8	7	3	6	8	5	6	6	10	4	7	6	4	6	4	7	4	7	7	3	8	5	8	4	3	7	3	3	
3	6	7	8	7	7	8	5	8	7	6	3	10	5	7	6	5	8	3	7	5	4	9	5	4	3	8	8	3	4	8	5	6	5	8		
7	9	9	6	7	8	6	8	3	7	8	3	6	4	3	6	5	3	7	5	8	7	5	6	4	13	3	5	8	8	6	5	7	6	8		
7	6	3	7	3	8	5	6	5	6	6	5	7	4	5	8	5	4	6	6	8	5	9	6	8	13	8	8	8	8	7	3	7	4	8		
3	5	8	8	9	4	7	7	6	5	7	5	4	6	6	12	4	3	6	7	5	5	9	6	7	10	6	8	4	7	6	4	5	4	6		
5	5	5	5	5	8	4	7	9	7	7	5	5	4	6	5	4	5	4	5	9	6	6	8	7	3	4	6	6	5	7	4	3	4	3	4	
7	6	6	7	6	4	3	7	9	3	6	5	4	5	10	7	6	5	4	4	8	4	4	3	6	7	8	6	7	4	5	3	3	6			
3	5	6	10	5	6	8	3	3	7	8	5	4	7	8	6	5	7	10	6	5	4	6	7	5	5	4	6	3	8	5	4	3	3	3		
7	4	4	6	4	7	4	4	3	8	8	7	8	5	10	6	5	5	9	3	4	7	9	8	12	7	7	5	6	6	5	3	7	6	6		
3	6	7	3	8	8	5	4	4	6	7	6	4	3	6	4	5	9	6	6	5	7	5	4	10	7	6	3	7	6	5	5	7	5	5		
3	6	4	4	10	9	6	8	5	7	5	3	4	6	5	6	3	10	4	6	4	9	6	5	10	5	8	5	8	4	8	7	8	5	5		
8	5	4	4	3	5	3	6	4	5	5	6	3	7	4	12	5	6	4	8	4	6	10	4	6	3	5	8	5	5	6	8	5	4	4	4	
4	3	4	3	5	4	6	3	3	7	4	7	7	3	5	4	7	6	5	3	3	6	6	6	3	3	3	3	4	6	3	7	7	6	7	6	7

Lampiran 7 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Tebing Tinggi arah Masuk Gardu 1 (GTO)

Gardu 1																																						
16.00-17.00					17.00-18.00					18.00-19.00																												
6	7	4	8	4	4	8	7	7	5	5	8	6	3	4	4	3	5	5	4	6	5	4	4	3	6	4	6	7	4	8	4	6	6	5	6	3	3	5
3	6	6	4	8	5	3	4	3	8	4	6	5	4	5	8	8	6	8	5	6	7	3	8	7	3	7	4	8	8	5	7	4	4	4	7	5	4	5
4	5	5	5	5	6	3	3	5	4	8	3	5	3	4	3	8	6	8	3	5	4	3	6	8	3	4	8	6	7	8	4	4	5	6	8	7	5	5
3	6	6	8	7	5	10	7	7	7	4	4	4	8	7	7	8	7	5	6	6	3	3	4	7	3	6	8	4	4	4	8	3	3	3	7	3	8	
7	3	6	3	5	6	4	4	6	4	6	7	4	7	3	7	8	4	5	8	8	3	8	8	7	7	3	8	5	4	4	6	5	5	3	3	4	4	
5	6	8	8	4	4	8	6	3	7	11	6	5	4	7	8	7	8	7	6	4	5	5	5	6	8	5	4	8	3	8	6	6	4	6	6	3	3	
6	4	8	4	8	8	4	6	11	10	12		5	3	5	6	6	6	8	7	3	6	4	5	8	4	6	5	7	7	4	7	7	3	3	5	5	7	
7	6	7	7	3	3	3	5	7	5	10		6	7	6	3	6	4	7	6	3	7	6	7	8	4	8	5	8	6	8	8	8	3	5	3	6	3	
3	12	3	8	6	5	4	6	6	5	8		6	6	8	6	8	4	6	3	8	8	4	3	3	8	8	8	5	5	3	8	4	3	6	8	7	6	5
8	7	8	3	5	7	5	4	4	6	7		8	6	7	6	8	7	5	7	3	4	3	4	7	5	4	6	7	7	4	3	8	5	8	8	7	7	
8	8	4	5	6	7	7	4	3	7	11		3	8	3	6	4	5	3	6	8	5	6	6	5	3	5	7	7	4	8	5	8	3	8	6	8	3	
3	9	3	5	8	3	7	10	5	8	5		8	5	7	4	6	6	3	8	8	6	3	4	8	6	7	6	8	3	6	4	6	5	8	3	6	6	
6	6	4	6	5	3	5	7	3	7	7		7	6	8	4	7	8	4	6	8	7	7	5	6	7	7	7	8	7	6	6	8	8	6	6	6	6	
6	5	3	3	3	5	10	7	3	8	8		5	4	7	5	4	4	5	5	7	6	8	4	7	5	7	4	5	4	4	4	5	7	4	6	8	7	
3	6	6	3	5	3	6	7	5	8	5		4	5	5	5	6	3	5	5	6	6	8	6	4	5	4	4	6	4	4	7	3	7	6	3	8	6	
4	7	3	4	8	6	3	7	8	6	3		6	7	7	8	5	7	4	5	3	7	6	7	5	5	3	3	5	3	7	4	7	4	3	5	6	7	
8	6	8	6	4	3	7	4	6	10	4		6	6	8	3	4	6	4	6	5	4	6	7	6	3	3	6	8	6	4	5	6	5	3	5	7	3	
7	5	5	4	8	3	7	8	7	6	6		4	7	5	7	8	3	5	3	6	8	7	6	5	7	6	8	6	6	7	4	5	3	8	6	7		
3	3	8	4	7	6	3	3	3	7	7		8	5	7	6	4	6	6	7	7	6	4	6	3	6	3	5	6	5	5	8	6	5	6	7	7		
7	4	8	4	5	6	6	6	12	7	5		3	6	4	5	4	8	7	3	5	5	4	3	7	7	3	4	5	7	6	6	7	5	6	3	5		
10	6	8	3	6	8	3	5	10	7	6		4	3	3	6	7	5	8	8	6	3	6	6	8	8	7	7	6	3	5	7	6	5	8	4	5		
7	8	7	8	4	4	5	6	6	3	6		5	3	4	7	3	7	4	4	8	3	3	4	8	3	6	3	8	6	7	3	5	8	6	6	5		
8	3	8	7	6	6	8	6	3	8	5		6	8	3	3	8	7	6	4	5	3	3	4	8	8	7	7	5	6	7	8	5	6	4	5	8		
12	3	6	8	4	8	8	10	4	3	3		6	5	7	6	5	7	6	3	7	6	6	6	6	3	4	8	4	4	7	4	3	7	5	5	5		
8	5	7	5	3	7	8	4	6	4	8		6	7	8	5	7	8	8	7	8	8	8	5	6	5	8	8	5	5	5	3	7	6	3	8	5		

Lampiran 8 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Tebing Tinggi arah Keluar Gardu 4 (GTO)

Gardu 4																																					
15.00-16.00												16.00-17.00										17.00-18.00															
5	3	5	7	8	11	3	3	5	7	3	7	7	6	7	7	8	5	3	7	8	6	4	5	3	6	8	6	4	4	6	5	6	6	6	8	5	8
5	10	4	4	5	10	3	7	5	6	10	5	7	9	7	8	5	8	7	9	6	4	8	3	3	3	4	4	5	5	6	6	4	8	8	7	4	5
3	6	6	9	5	6	4	8	3	3	6	5	7	5	4	6	4	10	3	10	6	8	6	5	7	6	7	10	6	8	9	10	7	6	7	5	3	5
8	3	8	4	4	4	3	8	4	6	4	6	3	8	5	3	5	9	6	5	6	7	6	3	4	7	6	6	6	5	5	3	5	7	7	6	8	
4	7	3	4	4	8	4	3	3	7	7	7	4	7	9	3	5	6	6	4	7	3	3	3	4	8	5	7	5	4	7	4	6	4	5	5	3	
4	4	4	7	5	5	7	6	4	7	7	5	5	6	8	6	6	4	6	8	5	4	3	4	6	7	6	5	6	4	5	6	3	6	7	4	8	
6	4	8	3	7	3	7	3	6	8	8	3	3	8	6	10	3	4	6	3	6	3	5	3	7	7	8	3	6	5	6	3	6	4	6	4	4	
4	3	4	3	4	3	7	6	7	6	5	7	4	6	5	7	6	3	5	3	4	4	3	7	5	3	10	5	3	4	6	5	3	8	4	6	7	
7	7	10	8	9	7	3	5	5	6	8	4	9	8	8	10	5	3	4	5	4	6	4	5	4	4	8	6	3	4	7	3	3	6	3	7	7	
8	4	3	10	5	8	4	5	5	5	6	5	8	5	6	8	7	4	8	7	5	6	7	3	5	4	4	3	4	9	7	5	7	5	7	3	3	
5	5	7	7	6	5	4	7	7	6	4	8	7	5	4	5	10	6	6	8	8	7	3	7	6	3	6	3	9	3	5	6	3	6	7	4	7	
6	6	7	5	7	6	4	3	5	4	4	5	7	8	6	7	6	7	3	3	7	4	7	8	7	5	4	10	4	3	5	6	6	4	5	7	8	
5	5	3	4	6	8	4	7	5	7	8	8	8	5	4	4	9	8	5	5	7	7	4	4	4	7	3	4	7	5	6	4	8	6	7	7	8	
8	6	5	4	8	3	6	8	3	7	6	5	6	7	4	8	3	4	3	5	6	4	3	6	7	6	10	3	6	3	6	4	8	7	4	3	5	
4	3	8	4	5	6	6	3	5	7	5	4	8	4	7	3	6	4	7	4	7	8	4	6	5	4	4	8	5	8	3	3	4	4	5			
5	6	8	7	6	7	5	5	8	4	6	8	5	4	6	6	6	14	3	10	4	6	4	6	5	5	6	8	3	7	7	4	5	10	6	8		
3	4	6	5	8	3	5	5	5	6	5	8	8	5	5	5	4	7	7	5	6	6	7	13	5	6	3	5	3	7	9	11	7	3	6	6	5	
6	3	7	6	3	4	5	6	3	8	5	7	4	7	7	8	8	7	5	6	7	5	7	7	8	5	3	5	6	4	3	4	6	3	5	4	5	
5	9	6	5	7	8	6	4	3	7	6	7	3	8	6	5	11	6	6	7	3	3	4	3	4	6	8	6	4	7	4	6	8	7	7	6	3	
10	4	6	4	7	5	6	7	8	8	3	8	3	7	5	6	5	15	7	5	6	8	4	7	6	5	3	5	6	3	8	6	7	7	5	8	4	
4	4	6	8	4	3	7	3	8	8	5		4	5	6	5	5	5	5	6	3	5	7	6		6	5	12	7	7	4	5	6	8	7	3	8	
7	3	3	6	6	7	7	8	6	6	6		7	5	3	6	5	3	6	6	6	4	5	4		8	5	6	5	6	7	5	6	4	5	4	3	
5	8	3	3	6	8	3	5	8	7	3		8	7	7	4	6	3	3	5	7	6	7	7		5	7	11	3	7	5	4	12	6	4	7	7	
3	5	4	3	7	4	10	5	4	8	5		5	7	3	11	7	6	3	8	7	9	6	5		5	5	4	7	3	7	3	12	5	8	7	4	
6	4	8	6	12	6	3	8	3	7	5		5	3	7	5	7	3	8	4	7	10	3	6		3	5	6	5	6	8	6	7	4	4	8	5	

Lampiran 9 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Tebing Tinggi arah Keuar Gardu 6 (GTO)

Gardu 6																																					
15.00-16.00												16.00-17.00										17.00-18.00															
6	5	3	3	6	8	6	3	5	7	6	4	5	4	6	6	5	4	4	4	3	3	3	3	6	6	4	8	8	4	3	3	7	7	3	4	7	3
8	7	4	8	4	6	7	3	4	5	8	8	5	5	4	5	6	8	6	5	4	9	5	6	4	6	6	3	6	6	8	7	8	4	6	6	7	4
3	8	7	4	8	5	5	5	8	3	7	4	7	3	6	6	3	5	6	8	8	5	5	6	4	4	6	3	3	8	6	4	7	6	4	3	4	5
8	6	6	5	7	8	6	3	5	6	7	8	8	4	4	4	9	6	3	5	6	6	6	9	3	6	6	5	4	8	4	4	8	4	6	6	4	6
4	7	7	8	6	3	8	5	6	7	6	3	5	7	6	3	8	5	4	5	5	6	6	4	10	4	3	7	8	6	3	5	5	5	6	8	8	5
3	7	6	5	7	6	6	6	4	3	5	6	5	7	3	3	4	5	7	5	5	3	5	3	3	5	7	4	3	5	7	8	3	4	6	3	5	7
7	8	6	5	8	7	5	9	5	3	6	4	6	4	8	3	6	4	4	5	5	4	4	4	5	9	4	8	6	6	5	8	4	8	4	3	6	6
7	6	5	5	5	6	3	3	9	7	6	8	6	7	4	7	5	8	4	4	6	5	4	3	5	5	6	8	4	4	5	5	5	3	6	3	5	3
3	6	6	7	4	6	8	3	5	3	7	7	3	7	7	5	6	7	4	6	6	5	4	3	4	6	7	4	7	5	3	6	7	7	3	6	4	
3	5	3	6	8	3	5	5	3	4	8	8	4	3	8	3	7	4	5	4	3	5	4	8	6	6	6	6	6	3	4	7	7	4	8	4	7	
4	4	8	6	4	5	5	7	3	8	3	6	6	4	6	8	4	8	12	4	3	5	6	3	5	7	8	4	4	8	6	7	5	8	6	3	7	
3	4	3	4	6	6	7	7	7	7	3	3	8	5	3	4	6	4	9	5	5	5	4	5	3	6	7	3	3	8	5	4	6	8	6	6	6	
8	5	6	8	4	4	7	5	6	3	6	5	7	5	3	5	8	3	5	10	6	6	7	4	5	8	5	5	7	5	3	4	8	5	8	5	8	5
4	3	8	5	6	4	3	8	5	6	5	5	6	6	6	3	5	3	7	3	6	5	8	8	5	7	8	4	6	5	6	6	6	4	6	4	6	4
5	6	5	5	4	6	7	8	8	6	4	6	4	4	6	10	8	5	5	3	6	3	4	9	6	4	6	6	6	8	4	3	6	3	4	7	7	7
4	5	3	5	3	5	3	6	3	7	5	6	3	5	5	8	3	5	6	7	8	4	3	5	3	6	4	7	7	5	4	4	3	7	6	7	7	
4	6	5	5	7	3	3	4	7	8	8	6	4	6	4	7	4	6	13	5	5	5	6	4	5	5	6	7	6	3	5	5	8	7	6	7	7	
3	3	8	4	6	7	4	4	8	7	5	5	4	7	3	7	5	9	7	6	3	7	4	4	6	6	3	4	8	4	5	3	3	6	7	3	6	7
5	4	8	8	6	5	4	4	9	5	4	5	6	8	4	5	4	6	6	7	4	6	5	10	8	3	5	3	4	4	4	3	7	4	4	6	4	6
5	5	4	3	5	6	4	7	7	6	7	4	6	8	7	5	3	5	4	5	3	3	4	9	7	4	3	7	6	5	3	3	8	5	7	7	4	4
7	8	3	3	5	3	3	8	7	4	8	12	7	5	7	6	5	6	5	4	8	3	3	7	7	5	4	7	7	8	8	3	7	4	4	4	4	4
4	8	6	7	6	8	7	5	8	7	4	5	4	8	8	7	3	3	9	6	7	6	6	6	3	5	5	5	6	7	4	4	4	3	4	6	6	6
6	3	4	8	8	5	4	9	4	4	6	6	6	3	6	5	4	4	7	5	4	6	3	5	3	6	4	4	6	3	8	7	3	7	3	7	3	7
5	7	6	3	6	6	6	8	6	7	4	6	6	8	4	9	3	6	6	5	3	3	5	10	3	6	3	6	6	3	6	3	8	5	3	7	3	7
6	6	4	8	5	4	6	3	9	6	4	4	7	7	5	6	4	6	8	6	4	4	8	5	4	8	5	7	8	5	6	8	7	8	5	8	5	8

Lampiran 10 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Tebing Tinggi arah keluar Gardu 2 (GTO)

Gardu 2																																			
16.00-17.00											17.00-18.00											18.00-19.00													
4	6	7	8	8	6	7	3	4	7	4	3	3	8	4	3	6	6	4	6	6	3	3	6	4	8	3	6	8	6	3	6	7	6		
5	3	4	8	3	6	7	6	7	8	3		8	6	3	6	7	6	5	7	3	5	4	5	5	4	4	4	7	4	7	5	4	3		
4	3	7	6	6	6	7	8	8	4	6		4	5	3	3	5	3	3	7	3	4	7	3	4	8	4	8	4	5	4	4	3	6		
5	5	6	6	4	4	8	8	8	8	7		3	3	6	3	6	3	4	8	8	8	3	5	8	5	3	4	7	4	6	5	4	6		
4	6	4	5	4	3	5	3	8	6	5		8	5	5	3	3	8	4	7	3	8	5	4	5	8	4	3	6	4	6	3	3	4		
7	4	8	4	3	3	7	5	4	8	4		8	6	8	4	7	6	4	4	6	8	6	6	7	3	5	5	4	5	5	7	7	3		
6	5	3	3	5	4	7	7	7	4	7		8	6	7	6	8	8	4	3	5	4	6	4	3	3	4	3	6	5	5	3	4	5	8	
7	6	7	7	4	7	3	4	8	8	6		3	3	4	3	6	3	6	4	3	5	6	6	7	5	6	5	3	7	4	3	3	3		
4	5	7	5	3	3	6	7	5	7	7		4	4	6	7	7	5	4	4	8	7	8	4	5	8	7	5	6	5	3	7	4	3	3	
4	3	8	8	6	7	8	8	6	6	5		5	8	7	6	6	8	5	3	4	8	6	3	6	5	3	6	3	4	3	7	3	3		
4	5	7	7	6	3	4	8	8	4	7		7	7	8	6	7	4	4	8	8	4	8	7	7	5	4	8	4	3	6	8	7	7		
3	5	7	7	4	6	6	3	5	3	7		5	5	4	4	8	5	5	3	7	4	4	6	7	3	6	4	3	4	3	8	5			
6	5	8	7	8	6	3	8	7	5	3		3	4	3	3	4	6	4	8	3	4	8	7	6	8	5	7	4	7	5	4	7			
4	8	8	6	7	5	4	4	6	5	8		3	6	5	7	6	3	4	4	8	5	8	5	4	8	5	4	7	4	5	3	8	6	4	5
6	5	7	3	4	8	8	6	5	5	7		8	4	7	6	8	8	4	7	6	3	7	8	7	5	3	8	8	5	8	4	6			
8	7	4	5	4	4	8	8	7	8	3		3	8	8	8	6	3	4	3	4	5	8	3	7	7	7	3	3	3	3	4	6			
7	8	4	3	6	6	7	3	6	4	5		3	7	6	8	7	8	3	6	3	8	7	7	5	3	7	8	4	5	6	3	4			
6	8	5	3	5	8	4	6	5	6	4		3	5	8	8	4	3	8	3	5	4	8	3	8	7	8	3	8	6	5	7	3			
4	8	5	3	4	4	8	5	6	7	8		6	4	5	4	4	8	5	7	3	5	4	3	7	5	6	4	5	4	5	5	3	3		
4	6	8	5	4	5	8	6	5	3	4		7	3	8	6	8	4	3	5	7	6	3	3	7	6	6	4	5	8	5	6	8			
4	4	3	3	8	5	4	3	5	3	4		4	6	6	3	6	8	3	5	8	3	3	6	7	5	4	4	5	3	3	3	3			
5	3	6	4	7	3	6	5	4	7	6		3	4	7	8	5	7	3	4	5	6	8	4	3	8	3	4	6	4	4	3	4			
8	6	5	8	7	3	8	8	8	5	8		5	7	8	4	4	5	4	8	5	7	7	3	6	6	7	7	6	3	6	7	5			
5	6	7	7	3	8	5	6	6	5	6		8	4	8	3	3	3	4	5	8	6	3	6	4	4	6	7	7	3	8	5	7			
5	4	8	8	3	4	4	5	4	8	7		5	7	3	5	8	6	8	7	3	3	7	3	8	5	3	7	7	8	7	6				

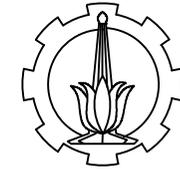
Lampiran 11 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Tebing Tinggi arah Masuk Gardu 4 (GTO)

Gardu 4																																					
16.00-17.00				17.00-18.00				18.00-19.00																													
6	6	6	5	7	5	3	4	4	8	3		7	6	5	6	5	8	7	6	3	3	8	5	5	3	7	3	7	7	6	4	4	4	4	8	8	5
6	5	4	8	8	8	6	5	7	6	3		4	6	6	3	7	5	4	7	7	6	3	5	5	5	12	8	5	6	3	8	8	3	8	3	7	3
8	3	5	3	4	4	8	3	5	5	8		6	6	8	3	5	7	8	6	6	8	4	4	6	4	10	4	4	6	5	4	4	6	4	4	3	3
8	8	5	5	6	5	5	7	7	7	7		4	6	3	7	6	6	6	5	8	6	5	6	4	5	9	4	5	7	7	4	4	3	6	7	5	5
6	6	3	5	7	8	4	4	5	4	4		3	7	4	5	7	4	8	4	5	3	8	5	4	5	6	7	3	4	6	7	7	7	6	4	4	6
3	8	5	8	7	5	3	6	8	8	4		5	3	3	4	3	7	8	6	6	6	8	4	8	5	5	8	6	6	4	6	6	7	3	8	5	6
3	8	7	7	8	4	7	5	4	7	5		6	7	4	3	8	7	5	6	5	5	6	6	4	6	8	7	5	7	6	8	8	7	5	5	8	
5	6	3	7	8	4	7	6	8	8	5		5	8	4	6	3	6	3	3	5	6	3	3	5	7	5	8	3	7	5	6	6	8	3	4	4	
6	5	7	7	7	6	6	3	3	5	7		5	7	3	6	7	3	4	4	5	4	3	8	4	8	8	3	5	7	7	8	8	7	4	7	6	
6	8	5	6	6	8	6	4	3	3	7		6	3	3	5	3	5	8	7	4	7	8	7	8	9	7	4	4	8	7	8	8	7	4	6	7	
4	5	7	3	3	4	3	8	4	7	7		4	6	6	6	8	6	3	7	8	8	4	4	4	5	5	7	7	4	3	3	3	8	4	6	8	
5	7	3	4	7	4	5	3	5	8	6		6	7	5	3	3	6	7	7	6	5	4	4	6	6	3	3	8	4	8	8	5	3	6	7		
3	4	5	5	4	5	3	6	5	3	7		6	6	6	5	7	4	5	3	8	5	3	5	8	8	7	5	8	8	4	6	6	7	6	8	8	
7	6	8	7	3	4	3	8	4	4	3		8	5	5	8	5	5	4	3	8	5	4	4	5	8		3	4	3	6	8	8	5	8	6	6	
6	3	4	3	8	8	4	3	4	8	6		5	8	5	7	6	4	3	5	7	6	5	7	4	10		6	8	4	7	7	7	5	5	7	7	
4	4	3	5	4	8	6	5	8	7		6	7	5	6	6	8	4	7	7	5	8	9	3	13		7	4	8	5	7	7	5	5	4	6		
4	3	7	8	3	5	6	6	7	6		7	8	6	7	5	5	7	4	3	5	7	11	8	11		3	6	6	7	7	7	4	3	3	6		
8	8	4	6	8	3	5	7	5	7		4	7	3	3	6	7	4	3	3	6	8	12	5	7		5	7	6	4	3	3	4	7	6	6		
5	7	4	4	7	6	7	5	5	8		3	7	6	8	8	8	4	5	7	3	4	11	5	6		5	3	5	4	7	7	6	4	7	8		
7	3	7	3	8	6	7	6	8	4		4	4	6	7	4	6	6	6	7	6	3	4	6	6		5	4	5	5	8	8	8	8	4	7		
6	5	3	3	3	7	8	6	8	6		4	7	6	6	5	8	8	3	8	7	5	4	5	5		5	4	5	5	7	7	6	3	5	5		
5	4	3	5	4	5	7	5	3	3		6	7	7	3	6	5	3	3	4	6	4	6	3	8		4	6	3	8	3	3	8	7	5	7		
7	6	6	3	5	3	5	8	5	3		8	5	7	3	3	5	3	8	5	3	7	11	3	8		3	3	7	7	3	3	5	4	3	7		
3	7	6	4	6	5	3	5	4	3		8	4	7	7	3	3	6	5	7	3	5	9	8	9		3	4	4	5	3	3	8	7	8	4		
8	8	8	5	4	4	4	3	3	3		6	7	8	6	5	7	3	4	7	7	7	5	3	8		7	8	3	6	4	4	4	4	7	8		

Lampiran 12 Hasil Survey Waktu Pelayanan (detik) Gerbang Tol Tebing Tinggi arah Keluar Gardu 6 (GTO)

Gardu 6

16.00-17.00											17.00-18.00											18.00-19.00												
8	4	7	6	6	6	5	8	7	8	4	6	3	4	4	4	7	4	5	5	4	7	5	8	3	4	5	7	8	5	4	7	7		
4	6	7	7	4	3	8	3	7	6	4	5	7	5	6	6	4	8	4	6	5	8	10	3	5	4	3	4	3	8	7	5	4	8	
7	5	3	8	5	8	4	8	3	7	3	3	8	6	5	8	4	3	7	5	7	5	12	4	5	3	6	7	3	5	5	5	7		
8	6	4	5	7	8	5	7	5	5	6	8	3	6	4	7	6	3	8	6	10	5	6	4	4	8	7	3	8	4	7	8	6	4	
7	6	6	5	4	3	7	8	7	8	5	5	3	6	5	6	7	6	6	3	10	4	9	8	5	7	6	8	3	8	4	4	3	8	
3	7	3	3	3	8	3	3	8	6	5	4	5	8	6	5	7	7	5	4	5	6	5	3	4	4	3	6	4	5	3	7	6	7	
4	6	6	3	4	8	5	3	7	8	4	7	3	4	3	6	10	9	5	5	4	3	9	6	8	8	7	5	3	6	4	3	7	7	
3	6	8	6	4	5	6	5	3	4	3	4	4	5	8	4	6	7	7	5	6	10	8	4	4	3	3	6	3	5	8	3	3	7	
5	3	8	4	4	6	7	4	5	8	8	6	5	4	7	6	8	9	5	9	10	6	3	8	7	4	5	7	7	3	7	4	5	6	3
6	7	3	6	5	3	4	4	7	3	3	6	3	4	6	3	3	5	5	7	6	4	6	8	8	7	6	6	8	4	3	7	6	8	
8	8	8	4	6	7	7	7	8	8	7	8	7	5	6	4	4	6	8	5	8	7	6	3	5	4	4	6	6	4	7	3	7		
7	8	6	4	7	4	7	4	6	6	4	8	8	6	6	7	3	6	5	4	5	7	4	5	3	3	6	4	7	3	4	7	3	4	7
3	3	8	7	6	8	7	6	8	7	7	3	4	7	4	8	5	5	6	5	3	3	5	7	3	4	6	5	6	3	8	3	6	3	
5	7	7	5	8	7	5	3	5	8	4	7	7	6	7	6	6	8	6	4	8	6	4	7	7	6	7	6	8	5	3	7	7	7	4
3	5	4	8	5	8	4	8	3	7	7	6	4	5	4	6	9	5	6	4	4	9	5	7	5	7	8	6	5	3	8	8	8	8	
4	4	7	4	4	5	6	6	7	6	8	3	5	7	6	4	6	9	5	4	7	9	5	6	3	8	3	4	8	4	3	8	5	5	4
6	5	6	3	3	4	7	6	3	8	5	6	5	6	3	5	7	3	4	7	8	5	8	5	8	6	3	4	8	5	4	8	5	4	
4	3	3	7	5	8	8	4	6	5	6	8	6	5	5	3	5	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	5	6	4	6	7	8	
8	8	5	7	6	7	5	5	5	5	8	8	6	7	5	4	5	6	4	5	5	9	8	5	8	6	4	7	5	6	6	7	5	8	
6	6	3	3	4	4	4	8	3	5	6	8	7	8	7	8	4	8	5	5	8	4	8	6	6	6	6	6	6	4	8	4	8	6	7
5	4	6	6	6	8	8	3	4	7	5	8	6	6	6	12	4	7	4	4	4	8	3	7	4	3	6	8	5	3	8	8	8	8	
3	5	7	7	3	8	5	6	4	3	3	5	8	4	4	4	7	8	5	8	7	6	6	3	8	4	8	3	3	5	3	5	4	4	
6	7	7	6	8	8	3	3	6	8	6	7	6	3	8	4	8	3	3	5	3	5	3	5	8	4	6	4	4	10	4	3	8	8	
4	7	6	3	6	7	6	8	6	8	8	8	8	4	6	4	4	6	4	4	10	4	3	8	4	6	4	4	6	4	5	7	6	4	
7	8	6	5	3	7	3	5	6	8	4	8	6	7	5	6	9	6	8	5	5	5	5	6	4	7	3	5	8	7	7	7	7	7	



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FTSLK - ITS

**TUGAS AKHIR  
(RC 14-1501)**

EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN  
GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI  
RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)

**NAMA GAMBAR**

*Layout Gerbang Tol  
Sei Rampah 2029*

**KETERANGAN**

-  : GTO Multi
-  : GTO Single

**NOMOR  
GAMBAR**

1

**JUMLAH  
GAMBAR**

7

**DOSEN PEMBIMBING I**

Ir. Hera Widyastuti, M.T. Ph.D

**DOSEN PEMBIMBING II**

Cahya Buana, S.T., M.T.

**NAMA MAHASISWA**

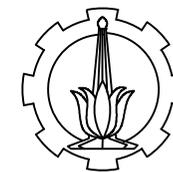
Rahmad Handika

**NRP MAHASISWA**

03111540000131



10 m



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FTSLK - ITS

**TUGAS AKHIR  
(RC 14-1501)**

EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN  
GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI  
RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)

**NAMA GAMBAR**

*Layout Gerbang Tol  
Tebing Tinggi 2019*

**KETERANGAN**

-  : GTO Multi
-  : GTO Single

NOMOR  
GAMBAR

JUMLAH  
GAMBAR

2

7

DOSEN PEMBIMBING I

Ir. Hera Widyastuti, M.T. Ph.D

DOSEN PEMBIMBING II

Cahaya Buana, S.T., M.T.

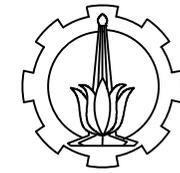
NAMA MAHASISWA

Rahmad Handika

NRP MAHASISWA

0311154000131





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FTSLK - ITS

**TUGAS AKHIR  
(RC 14-1501)**

EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN  
GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI  
RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)

**NAMA GAMBAR**

*Layout Gerbang Tol  
Tebing Tinggi 2024 dan 2029*

**KETERANGAN**

-  : GTO Multi
-  : GTO Single

NOMOR  
GAMBAR

JUMLAH  
GAMBAR

3

7

**DOSEN PEMBIMBING I**

Ir. Hera Widyastuti, M.T. Ph.D

**DOSEN PEMBIMBING II**

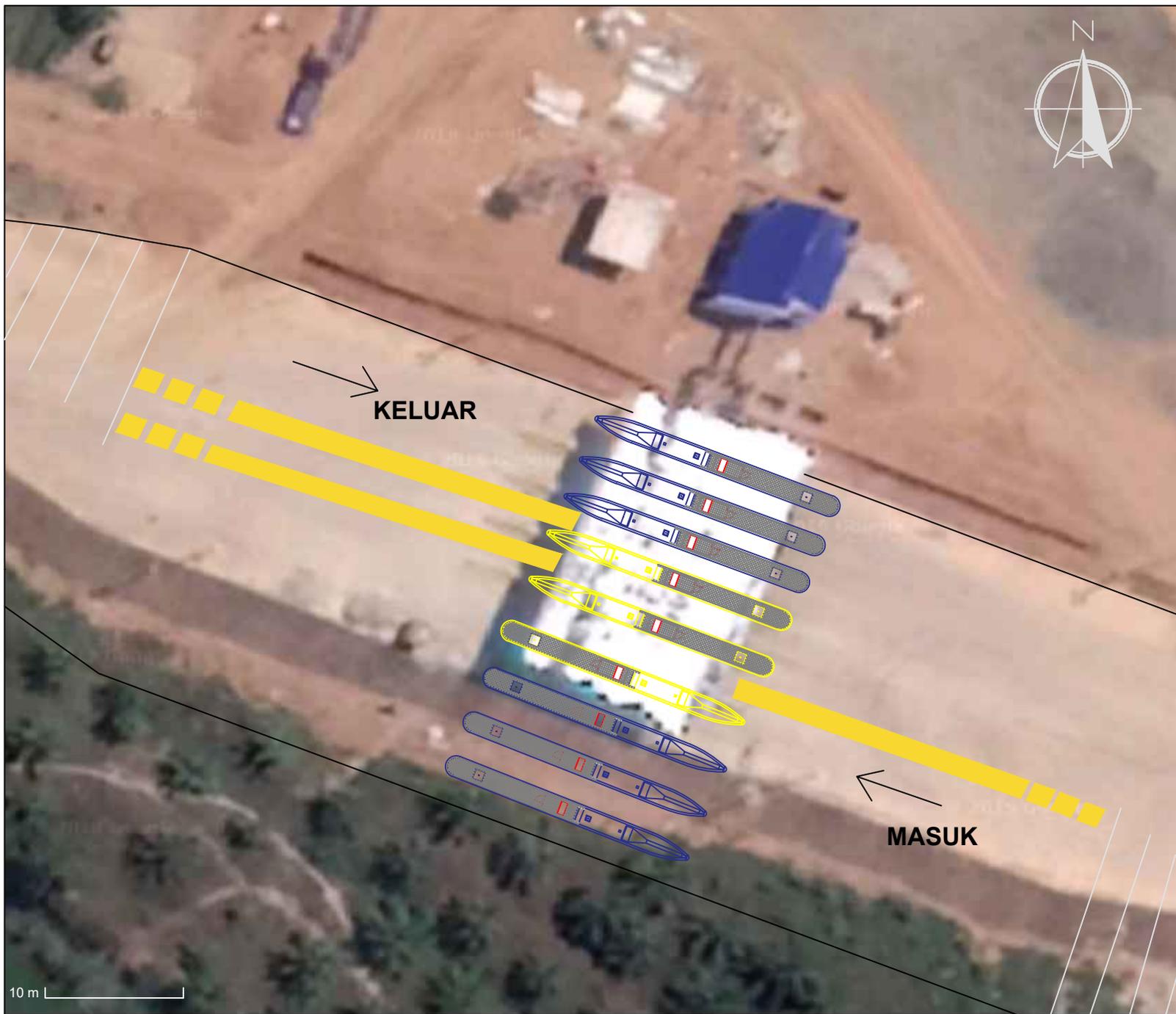
Cahya Buana, S.T., M.T.

**NAMA MAHASISWA**

Rahmad Handika

**NRP MAHASISWA**

03111540000131



10 m



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FTSLK - ITS

## TUGAS AKHIR (RC 14-1501)

EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN  
GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI  
RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)

NAMA GAMBAR

Tampak Depan Gerbang Tol  
Sei Rampah dan Tebing Tinggi  
*Existing*

NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
4	7

DOSEN PEMBIMBING I

Ir. Hera Widyastuti, M.T. Ph.D

DOSEN PEMBIMBING II

Cahaya Buana, S.T., M.T.

NAMA MAHASISWA

Rahmad Handika

NRP MAHASISWA

0311154000131





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FTSLK - ITS

## TUGAS AKHIR (RC 14-1501)

EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN  
GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI  
RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)

NAMA GAMBAR

Tampak Depan Gerbang Tol  
Tebing Tinggi 2019

NOMOR  
GAMBAR

JUMLAH  
GAMBAR

5

7

DOSEN PEMBIMBING I

Ir. Hera Widyastuti, M.T. Ph.D

DOSEN PEMBIMBING II

Cahya Buana, S.T., M.T.

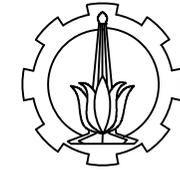
NAMA MAHASISWA

Rahmad Handika

NRP MAHASISWA

0311154000131





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FTSLK - ITS

## TUGAS AKHIR (RC 14-1501)

EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN  
GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI  
RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)

NAMA GAMBAR

Tampak Depan Gerbang Tol  
Sei Rampah 2029

NOMOR  
GAMBAR

JUMLAH  
GAMBAR

6

7

DOSEN PEMBIMBING I

Ir. Hera Widyastuti, M.T. Ph.D

DOSEN PEMBIMBING II

Cahya Buana, S.T., M.T.

NAMA MAHASISWA

Rahmad Handika

NRP MAHASISWA

0311154000131





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FTSLK - ITS

### TUGAS AKHIR (RC 14-1501)

EVALUASI KINERJA DAN PELAYANAN  
GERBANG TOL  
(STUDI KASUS: GERBANG TOL SEI RAMPAH  
DAN GERBANG TOL TEBING TINGGI  
RUAS TOL MEDAN-KUALANAMU-TEBING TINGGI)

NAMA GAMBAR

Tampak Depan Gerbang Tol  
Tebing Tinggi 2029

NOMOR  
GAMBAR

JUMLAH  
GAMBAR

7

7

DOSEN PEMBIMBING I

Ir. Hera Widyastuti, M.T. Ph.D

DOSEN PEMBIMBING II

Cahya Buana, S.T., M.T.

NAMA MAHASISWA

Rahmad Handika

NRP MAHASISWA

0311154000131