

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN
PADA AKSES KELUAR-MASUK GERBANG TOL BINJAI
(Studi Kasus)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

NAZWA NURUL SAKINAH
2207210129



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nazwa Nurul Sakinah
NPM : 2207210129
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi Kapasitas Dan Pelayanan Pada Akses
Keluar-Masuk Gerbang Tol Binjai
(Studi Kasus)
Bidang Ilmu : Transport

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 18 Agustus 2026

Dosen Pembimbing



Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nazwa Nurul Sakinah
NPM : 2207210129
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi Kapasitas Dan Pelayanan Pada Akses
Keluar-Masuk Gerbang Tol Binjai
(Studi Kasus)
Bidang Ilmu : Transport

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Agustus 2026

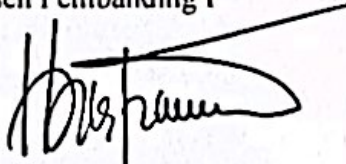
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I



Ir. Sri Asfiati, M.T

Dosen Pembimbing II



Irma Dewi, S.T., M.Si

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Josef Hadipramana, S.T., M.Si., Ph.D

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Nazwa Nurul Sakinah
NPM : 2207210129
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: "Evaluasi Kapasitas Dan Pelayanan Pada Akses Keluar-Masuk Gerbang Tol Binjai (Studi Kasus)".

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisiil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat dan ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Agustus 2026

Saya yang menyatakan



Nazwa Nurul Sakinah

NPM: 2207210129

ABSTRAK

EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN PADA AKSES KELUAR-MASUK GERBANG TOL BINJAI (STUDI KASUS)

Nazwa Nurul Sakinah

2207210129

Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T.

Jalan tol merupakan jalan bebas hambatan yang menjadi bagian dari sistem jaringan jalan nasional dan digunakan oleh masyarakat dengan membayar tarif untuk mendukung kelancaran, keamanan, dan efisiensi perjalanan. Salah satu gerbang tol yang berperan penting dalam menunjang mobilitas kendaraan adalah Gerbang Tol Binjai pada jalan tol Medan–Binjai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas dan pelayanan pada akses keluar-masuk Gerbang Tol Binjai berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan, waktu pelayanan, dan teori antrian *First In First Out* (FIFO). Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif melalui survei lapangan selama satu minggu pada pukul 06.00-19.00 WIB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kedatangan kendaraan tertinggi di gardu masuk sebesar 1.218 kendaraan/jam dengan waktu pelayanan 5 detik/kendaraan, sedangkan di gardu keluar sebesar 580 kendaraan/jam dengan waktu pelayanan 7 detik/kendaraan. Waktu pelayanan tersebut telah memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM), yaitu ≤ 7 detik/kendaraan untuk gardu masuk dan ≤ 11 detik/kendaraan untuk gardu keluar. Hasil analisis juga menunjukkan panjang antrian rata-rata sebesar 2,16 kendaraan pada gardu masuk dan 1,46 kendaraan pada gardu keluar, sedangkan kapasitas gardu masuk sebesar 406 kendaraan/jam/gardu dan gardu keluar sebesar 290 kendaraan/jam/gardu masih memenuhi persyaratan SPM. Dengan demikian, kapasitas dan pelayanan Gerbang Tol Binjai tergolong baik serta mampu melayani arus kendaraan secara efektif.

Kata kunci: Jalan tol, Gerbang Tol Binjai, kapasitas, pelayanan, FIFO, Standar pelayanan minimal

ABSTRACT

EVALUATION OF CAPACITY AND SERVICE AT THE BINJAI TOLL GATE ENTRY-EXIT POINTS (CASE STUDY)

Nazwa Nurul Sakinah

2207210129

Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T.

A toll road is a limited-access highway forming part of the national road network; users pay a toll to ensure smooth, safe, and efficient travel. The Binjai Toll Gate on the Medan–Binjai Toll Road plays a crucial role in facilitating vehicle mobility. This study aims to evaluate the capacity and service levels at the Binjai Toll Gate's entry and exit points based on vehicle arrival rates, service times, and First-In-First-Out (FIFO) queuing theory. A quantitative descriptive method was employed, utilizing field surveys conducted over one week between 06:00 and 19:00 WIB. The results indicate that the peak vehicle arrival rate was 1,218 vehicles/hour at the entry booths (with a service time of 5 seconds/vehicle) and 850 vehicles/hour at the exit booths (with a service time of 7 seconds/vehicle). These service times comply with the Minimum Service Standards (SPM), which mandate ≤ 7 seconds/vehicle for entry booths and ≤ 11 seconds/vehicle for exit booths. Analysis also revealed an average queue length of 2.16 vehicles at entry booths and 1.46 vehicles at exit booths, while booth capacities-406 vehicles/hour/booth for entry and 290 vehicles/hour/booth for exit-remain within SPM requirements. Consequently, the capacity and service quality of the Binjai Toll Gate are rated as good, demonstrating an effective ability to handle vehicle flow.

Keywords: Toll road, Binjai toll gate, capacity, service, FIFO, Minimum service standards

KATA PENGANTAR

Assalamu 'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah rabbil'alamin, dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur saya ucapkan sebagai penulis kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu karunia tersebut adalah berhasilnya penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Evaluasi Kapasitas Dan Pelayanan Pada Akses Keluar-Masuk Gerbang Tol Binjai Di Kota Binjai (Studi Kasus)”, sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir: untuk itu penulis mengatakan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan untuk mencurahkan waktu, motivasi, memberikan saran, nasihat, dan selalu bertanya kabar terkait tugas akhir, yang membuat penulis terpacu untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir tepat waktu.
2. Ibu Ir. Sri Asfiati, M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan koreksi dan saran demi kesempurnaan penulisan dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
3. Ibu Irma Dewi, S.T., M.Si., selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan koreksi dan saran demi kesempurnaan penulisan dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Josef Hadipramana, S.T., M.Si., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan banyak ilmu teknik sipil kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Medan Binjai Toll atas izin, kesempatan, serta dukungan yang telah diberikan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian di Gerbang Tol Binjai.
10. Kepada yang tercinta, sandaran terkuat saya dalam hidup. Ibunda Susilawati dan Bapak Tubagus Nurul Amin, terima kasih selalu mengapresiasi segala pencapaian anaknya, menjadi orang tua terbaik dihidup penulis, memberikan semangat tiada henti, dan melangitkan doa-doa baik yang tak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
11. Kepada kakak tersayang, Putri Nurul Safhira yang selalu ada untuk menemani dan memberikan dukungan di momen-momen tersulit bagi penulis.
12. Kepada teman-teman satu perjuangan yang tak kalah penting kehadirannya, Selly Hermaya Sari, Miftahul Jannah, Miranda Yasmin, Purwo Jatmiko, M. Hanif Lubis, dan Hilmy Zaky Abyan, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Allah memberikan kemudahan dalam mencapai cita-cita dan harapan yang kita impikan selama ini
13. Kepada sahabat-sahabat saya sejak masa SMP hingga saat ini, Fahmi Susilo, Damayanty, dan Mutia Maharani. Terima kasih karena telah menjadi bagian dari perjalanan hidup saya, selalu hadir dalam suka maupun duka, serta memberikan dukungan, semangat, dan doa selama ini.

Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna untuk itu penulis berharap kritikan dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran untuk penulis dimasa depan.

Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Wassalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 18 Agustus 2026



Nazwa Nurul Sakinah
NPM: 2207210129

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vvi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Jalan Tol	5
2.1.1 Spesifikasi Jalan Tol	5
2.2 Gerbang Tol	6
2.3 Gardu Tol	8
2.3.1 Gardu Tol Konvensional	9
2.3.2 Gardu Tol Otomatis (GTO)	9
2.3.3 <i>Single Lane Free Flow</i> (SLFF)	11
2.3.4 <i>Multi Lane Free Flow</i> (MLFF)	11
2.4 Kapasitas Suatu Gerbang Tol	11
2.5 Standar Pelayanan Minimal (SPM)	12
2.6 Waktu Pelayanan Pada Jalan Tol	15

2.7 Teori Antrian	15
2.7.1 Analisis Proses Antrian di Pintu Tol	16
2.7.2 Proses Pada Sistem Antrian	18
2.7.3 Karakteristik Sistem Antrian	20
2.7.4 Kedatangan Populasi Yang Akan Dilayani	20
2.7.5 Tingkat Kedatangan λ	21
2.7.6 Tingkat Pelayanan μ	21
2.7.7 Mekanisme dan Jumlah Gerbang Pelayanan	22
2.7.8 Disiplin Antrian	22
2.8 Parameter Antrian	24
2.9 Disiplin Antrian <i>First In First Out</i> (FIFO)	26
2.10 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)	27
2.11 Perencanaan Pelataran Tol	27
2.12 Tinjauan Penelitian Terdahulu	30
BAB 3 METODE PENELITIAN	31
3.1 Bagan Alir Penelitian	31
3.2 Lokasi Penelitian	32
3.3 Studi Awal	32
3.4 Pengumpulan Data	33
3.4.1 Pengambilan Data Primer	34
3.4.2 Pengambilan Data Sekunder	34
3.4.3 Penyusunan Data	34
BAB 4 ANALISA DATA	35
4.1 Perhitungan Tingkat Kedatangan Masuk (<i>Entrance</i>)	35
4.1.1 Perhitungan tingkat Kedatangan Keluar (<i>Exit Level</i>)	35
4.2 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan <i>Entrance</i> (<i>Service Time</i>)	36
4.2.1 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan <i>Exit</i> (<i>Service Time</i>)	37
4.3 Perhitungan Jumlah Pintu Tol	38
4.3.1 Gardu Tol Masuk	38
4.3.2 Gardu Tol Keluar	41
4.4 Perhitungan Antrian Pada Pintu Tol Masuk dan Keluar (Antrian FIFO)	46
4.4.1 Pintu Tol Masuk	46

4.4.2 Pintu Tol Keluar	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	68
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Standar desain gerbang tol	6
Gambar 2.2: Gerbang Tol Binjai dari tampak depan	7
Gambar 2.3: Gerbang Tol Binjai dari tampak samping	8
Gambar 2.4: Ilustrasi transaksi di GTO masuk	10
Gambar 2.5: Kapasitas gerbang tol jumlah gardu dan waktu pelayanan	12
Gambar 2.6: Sistem antrian	17
Gambar 2.7: Model <i>single channel-single phase</i>	18
Gambar 2.8: Model <i>single channel-multi phase</i>	19
Gambar 2.9: Model <i>multi channel-single phase</i>	19
Gambar 2.10: Model <i>multi channel-multi phase</i>	23
Gambar 2.11: Disiplin antrian FIFO	23
Gambar 2.12: Disiplin antrian LIFO	24
Gambar 2.13: Pelataran tol pada gerbang tol barrier	28
Gambar 2.14: Pelataran tol pada gerbang tol ramp	29
Gambar 2.15: Ruang bebas pada gerbang tol	29
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian	31
Gambar 3.2: Gerbang Tol Binjai	32
Gambar 4.1: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{n}$)	51
Gambar 4.2: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{q}$)	51
Gambar 4.3: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{d}$)	52
Gambar 4.4: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{w}$)	52
Gambar 4.5: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{n}$)	60
Gambar 4.6: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{q}$)	61
Gambar 4.7: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{d}$)	61
Gambar 4.8: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{w}$)	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Kapasitas Gerbang Tol	12
Tabel 2.2: Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol	14
Tabel 4.1: Data Survei Tingkat Kedatangan Masuk Gerbang Tol Binjai	35
Tabel 4.2: Data Survei Tingkat Keluar Gerbang Tol Binjai	36
Tabel 4.3: Data Survei Perhitungan Waktu Pelayanan	36
Tabel 4.4: Data Survei Perhitungan Waktu Pelayanan	37
Tabel 4.5: Rekapitulasi jumlah kendaraan masuk pada 3 pintu tol	50
Tabel 4.6: Rekapitulasi jumlah kendaraan keluar pada 2 pintu tol	60

DAFTAR NOTASI

λ	: Rata-rata kedatangan persatuan waktu
WP	: Waktu pelayanan
ρ	: Intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian
$\bar{n}$	: Jumlah kendaraan atau orang dalam sistem
$\bar{q}$	: Jumlah kendaraan atau orang dalam antrian
$\bar{d}$	: Waktu kendaraan atau orang dalam sistem
$\bar{w}$	: Waktu kendaraan atau orang dalam antrian
μ	: Waktu pelayanan diperoleh dalam waktu satu jam (3.600 dtk)
N	: Jumlah gardu tol
FIFO	: <i>First In First Out</i>
LIFO	: <i>Last In First Out</i>
SIRO	: <i>Service in Random Order</i>
ETC	: <i>Electronic Tol Collection</i>
GTO	: Gardu Tol Otomatis
OBU	: <i>On-Broad Unit</i>
MLFF	: <i>Multi Lane Free Flow</i> (MLFF)
SLFF	: <i>Single lane free flow</i> (SLFF)

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel L.1	Data Survei gardu masuk Senin, 19 Januari 2026
Tabel L.2	Data Survei gardu masuk Selasa, 20 Januari 2026
Tabel L.3	Data Survei gardu masuk Rabu, 21 Januari 2026
Tabel L.4	Data Survei gardu masuk Kamis, 22 Januari 2026
Tabel L.5	Data Survei gardu masuk Jumat, 23 Januari 2026
Tabel L.6	Data Survei gardu masuk Sabtu, 24 Januari 2026
Tabel L.7	Data Survei gardu masuk Minggu, 25 Januari 2026
Tabel L.8	Data Survei gardu keluar Senin, 19 Januari 2026
Tabel L.9	Data Survei gardu keluar Selasa, 20 Januari 2026
Tabel L.10	Data Survei gardu keluar Rabu, 21 Januari 2026
Tabel L.11	Data Survei gardu keluar Kamis, 22 Januari 2026
Tabel L.12	Data Survei gardu keluar Jumat, 23 Januari 2026
Tabel L.13	Data Survei gardu keluar Sabtu, 24 Januari 2026
Tabel L.14	Data Survei gardu keluar Minggu, 25 Januari 2026
Tabel L.15	Standar Pelayanan Minimal (SPM)
Gambar L.1	Lokasi penelitian di Gerbang Tol Binjai
Gambar L.2	Menghitung waktu pelayanan gardu masuk
Gambar L.3	Menghitung waktu pelayanan gardu keluar
Gambar L.4	Menghitung kendaraan yang datang di gardu masuk
Gambar L.5	Menghitung kendaraan yang keluar di gardu keluar
Gambar L.6	Petugas membantu pengemudi saat ada kendala di sistem gardu
Gambar L.7	Ukuran Gerbang Tol Binjai tampak depan
Gambar L.8	Ukuran Gerbang Tol Binjai tampak samping
Gambar L.9	Surat izin penelitian di Gerbang Tol Binjai
Gambar L.10	Surat balasan dari PT. Medan Binjai Toll

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya jumlah kendaraan di Indonesia, tingkat mobilitas masyarakat juga semakin meningkat. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan kemacetan, serta menurunkan tingkat pelayanan jalan apabila tidak diimbangi dengan penyediaan infrastruktur transportasi yang memadai (Badan Pusat Statistik, 2024). Menurut (Tamin, 2008), pertumbuhan jumlah perjalanan harus diimbangi dengan peningkatan kapasitas prasarana transportasi agar sistem transportasi tetap mampu memberikan pelayanan yang efektif dan efisien. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah terus mengembangkan infrastruktur jalan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional. Salah satu infrastruktur yang memiliki peranan penting adalah jalan tol karena mampu meningkatkan konektivitas antarwilayah, mempercepat distribusi barang dan jasa, mengurangi waktu tempuh perjalanan, serta mendukung pertumbuhan ekonomi nasional (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Pasal 1 No. 23 Tahun 2024 yang mengatur tentang jalan tol, jalan tol merupakan jalan umum yang menjadi bagian dari sistem jaringan jalan nasional dengan karakteristik sebagai jalan bebas hambatan dan penggunaannya dikenakan kewajiban pembayaran tarif. Dalam sistem operasional jalan tol, gerbang tol merupakan fasilitas yang berfungsi sebagai titik pelayanan transaksi sekaligus pengendalian arus kendaraan yang memasuki maupun meninggalkan ruas jalan tol. Kinerja gerbang tol dipengaruhi oleh kapasitas gardu, waktu pelayanan transaksi, tingkat kedatangan kendaraan, dan sistem pembayaran yang digunakan. Apabila tingkat kedatangan kendaraan lebih besar daripada kapasitas pelayanan gardu, maka akan terjadi antrian yang menyebabkan tundaan kendaraan dan menurunkan tingkat pelayanan gerbang tol (Karyana dkk, 2024).

Salah satu gerbang tol yang memiliki peranan penting di Provinsi Sumatera Utara adalah Gerbang Tol Binjai yang berada pada ruas Jalan Tol Medan-Binjai.

Gerbang tol ini menjadi akses utama kendaraan dari Kota Medan menuju Kota Binjai maupun sebaliknya serta mendukung mobilitas masyarakat dan distribusi barang dalam kawasan Metropolitan Medan-Binjai-Deli Serdang (Mebidang). Gerbang Tol Binjai memiliki enam gardu operasional yang terdiri atas tiga gardu masuk (*entrance*) dan tiga gardu keluar (*exit*), di luar satu gardu khusus untuk pengisian saldo kartu elektronik (*e-toll*). Dengan meningkatnya volume lalu lintas, diperlukan evaluasi terhadap kapasitas dan tingkat pelayanan gardu untuk mengetahui apakah fasilitas yang tersedia masih mampu melayani arus kendaraan sesuai dengan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) tahun 2023. Oleh karena itu, penelitian mengenai evaluasi kapasitas dan pelayanan pada akses keluar-masuk Gerbang Tol Binjai perlu dilakukan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi peningkatan kualitas pelayanan bagi pengelola jalan tol dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dibuatlah rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini. Adapun permasalahan yang akan diteliti meliputi:

1. Bagaimana pelayanan yang diberikan pada sistem transaksi e-toll di gardu keluar masuk pintu tol Binjai jika dilihat dari waktu kedatangan dan waktu pelayanan?
2. Berapa kapasitas pada tiap gardu keluar-masuk tol Binjai apakah sudah memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM)?
3. Berapa besar panjang antrian pada gardu tol dilihat dari waktu kedatangan dan waktu pelayanan menggunakan metode FIFO?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk memperoleh gambaran yang tepat mengenai kapasitas dan pelayanan di gerbang tol, ada berbagai aspek yang perlu diperhitungkan. Agar analisis tidak melebar dan tetap fokus pada tujuan pembahasan, diperlukan penetapan batasan atau ruang lingkup permasalahan. Oleh karena itu, dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menetapkan batas-batas kajian tertentu agar analisis lebih terarah dan tidak keluar dari topik yang diteliti antara lain adalah:

1. Analisis jumlah kendaraan, waktu pelayanan dan jumlah gerbang pintu tol Binjai terhadap lalu lintas yang memakainya mencakup lingkup pembahasan yang luas, oleh karena itu, penelitian ini hanya meninjau arus kendaraan yang masuk dan keluar melalui Gerbang Tol Binjai serta tidak mencakup gardu pengisian saldo e-toll.
2. Waktu pelayanan (*service time*) yang diteliti merupakan durasi yang dibutuhkan sistem otomatis dalam memproses transaksi bagi setiap pengguna jalan tol untuk mempertimbangkan jenis kendaraan yang dilayani loket pelayanan yang ada di tiap gardu pada lokasi yang akan diteliti. Dimana jenis kendaraan akan digolongkan dalam beberapa golongan:
 - Golongan I : Sedan, Jip, *Pick Up* / *Truck* kecil, dan bus
 - Golongan II : *Truck* dengan 2 (dua) gandar
 - Golongan III : *Truck* dengan 3 (tiga) gandar
 - Golongan IV : *Truck* dengan 4 (empat) gandar
 - Golongan V : *Truck* dengan 5 (lima) gandar
3. Untuk mengetahui jumlah gardu tol di Binjai saat ini apakah sudah optimal dengan tingkat kedatangan kendaraan.
4. Penelitian ini hanya difokuskan pada gardu masuk dan gardu keluar di Gerbang Tol Binjai
5. Pengumpulan data dilakukan pada waktu yang telah ditentukan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai melalui penyusunan tugas akhir ini meliputi beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pelayanan yang diberikan pada sistem transaksi e-toll di gardu keluar-masuk pintu tol Binjai jika dilihat dari waktu kedatangan dan waktu pelayanan.
2. Untuk mendapatkan besarnya kapasitas Gerbang Tol Binjai telah memenuhi Standar Pelayanan Minimum (SPM)
3. Untuk mengetahui panjang antrian yang terjadi pada gardu tol saat kedatangan pemakai jalan tol menggunakan metode FIFO

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat dicapai melalui penyusunan tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan wawasan bagi mahasiswa teknik sipil, peneliti, serta pihak pengelola jalan tol dalam menentukan jumlah gardu layanan yang paling efektif sesuai dengan arus kendaraan pada saat puncak.
2. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi tambahan bagi penulis lain yang ingin melakukan kajian serupa pada Gerbang Tol Binjai.
3. Dengan penelitian ini dapat menjadi bahan acuan dan sumbangan pemikiran kepada pengelola jalan tol untuk membuat kebijakan baru di masa yang akan datang dalam menanggulangi persoalan di antrian gerbang tol.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman pembahasan, laporan tugas akhir ini disusun ke dalam 5 (lima) bab utama. Pembagian tersebut bertujuan agar tulisan lebih jelas dan mudah dipahami.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan umum mengenai teori dari beberapa sumber bacaan yang mendukung terhadap permasalahan yang berkaitan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang cara-cara yang dilakukan untuk mendapatkan data yang relevan dengan studi kasus terkait.

BAB 4 ANALISA DATA

Bab ini membahas tentang proses pengolahan data yang berhubungan dengan kondisi, langkah kerja yang digunakan dalam analisa data.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang berdasarkan atas hasil pengolahan data yang dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan Tol

Jalan tol merupakan bagian dari sistem jaringan jalan nasional dan terintegrasi dengan sistem transportasi yang terpadu dan lintas alternatif dari ruas jalan umum yang mempunyai fungsi arteri atau kolektor (PP No. 23 tahun 2024 Pasal 5) tentang jalan tol. Tol merupakan singkatan dari *Tax on Location* yang dapat diartikan bayar di tempat, yang berarti setiap pengendara yang menggunakan jalan tol diwajibkan bayar terlebih dahulu atau saat mau keluar. Jalan tol merupakan solusi untuk mencegah kemacetan dalam berlalu lintas dan merupakan inovasi dalam pembangunan jalan. Di Indonesia, jalan tol yang pertama dibangun ialah jalan tol Jakarta-Bogor-Ciawi yang disingkat Jagorawi yang menghubungkan antara Jakarta dengan Bogor dan Ciawi. Yang ditulis Henri Setiawan, Rachmat Tridjono, dan Mulyadi (2025) dalam jurnal yang berjudul “*Hak Konsumen Sebagai Pengguna Jalan Tol Dengan Aturan Transaksi E-Toll*”.

Jalan tol merupakan fasilitas penting dalam mendukung terselenggaranya arus lalu lintas yang baik, yang memberikan solusi dalam mengatasi persoalan kemacetan yang berkepanjangan, dengan dibangunnya jalan tol maka telah ada kemudahan. Untuk mewujudkan arus bebas hambatan yang sempurna, jalan tol harus memiliki tingkat pelayanan minimal yang mencakup kondisi jalan tol, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, dan keselamatan. Di dunia secara keseluruhan tidak semua jalan bebas hambatan itu berbayar, jalan bebas hambatan biasa disebut dengan *freeway* atau *exspressway*, *free* berarti gratis. Jalan bebas hambatan yang menerapkan sistem pembayaran dikenal sebagai *tollway* atau *tollroad*.

2.1.1 Spesifikasi Jalan Tol

Jalan tol mempunyai spesifikasi yang diatur menurut (PP Nomor 23 Tahun 2024) tentang jalan tol. Berikut spesifikasi yang harus dimiliki jalan tol sebagai berikut.

- ## 2.2 Gerbang Tol

The technical drawing illustrates a section of a parking garage. The cross-section (top) shows a total height of 5.1 m for the main structure and 1.3 m for the upper section. The upper section contains a 'REINFORCED CONCRETE' slab with a thickness of 1 m. The main structure is supported by columns and has a total height of 4.2 m. The plan view (bottom) shows the layout of the parking spaces with dimensions: 3.5 m, 2.1 m, 2.9 m, 2.1 m, 2.9 m, 2.1 m, and 2.9 m. The plan view also shows the location of the columns and the reinforcement layout.

6

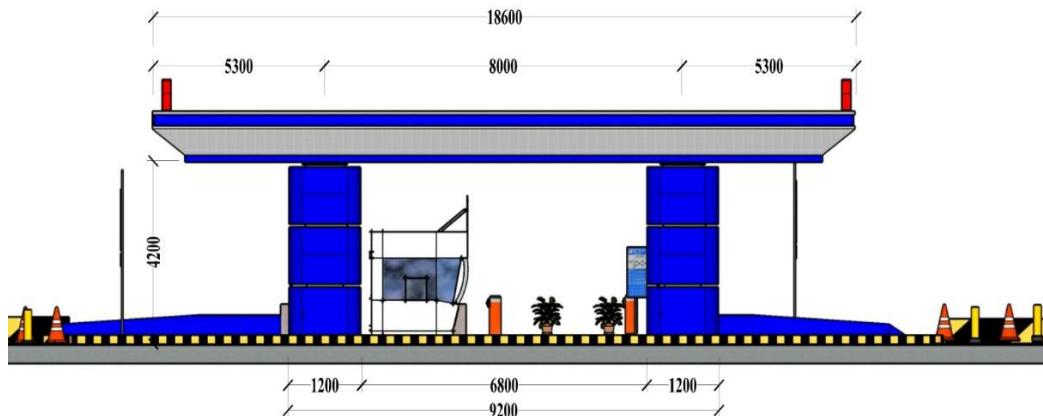
Berdasarkan Standar Desain Gerbang Tol Bina Marga, gerbang tol memiliki ukuran bangunan antara lain:

1. Tinggi ruang bebas lajur: 5,10 m
2. Tinggi pembatas kendaraan golongan I: 2,10 m
3. Tinggi rambu pembatas pada foto: 4,20 m
4. Lebar lajur kendaraan: 3,50 m
5. Lebar pulau tol (island): 2,10 m
6. Lebar pulau GTO: 1,10 m
7. Tinggi gardu tol minimum: 2,50 m
8. Lebar gardu tol minimum: 1,25 m
9. Panjang gardu tol minimum: 2,00 m
10. Lebar minimum kanopi gerbang: 13,00 m
11. Tinggi kanopi dari permukaan jalan (estimasi): 6–7 m

Untuk memberikan gambaran mengenai bentuk dan dimensi Gerbang Tol Binjai, dilakukan pemodelan menggunakan software SketchUp berdasarkan hasil pengukuran di lapangan. Pemodelan tersebut menampilkan tata letak bangunan gerbang, gardu transaksi, kanopi, serta dimensi geometrik yang menjadi bagian dari fasilitas operasional gerbang tol. Pada Gambar 2.2 memperlihatkan detail ukuran Gerbang Tol Binjai dari tampak depan, sedangkan Gambar 2.3 memperlihatkan detail ukuran Gerbang Tol Binjai dari tampak samping.



Gambar 2.2: Gerbang tol Binjai dari tampak depan hasil pemodelan menggunakan SketchUp (SketchUp, 2026)



Gambar 2.3: Gerbang tol Binjai dari tampak samping Gerbang Tol Binjai tampak samping hasil pemodelan menggunakan SketchUp (SketchUp, 2026)

Gerbang tol mempunyai beberapa fungsi aturan penggunaannya, yaitu:

- Bangunan gerbang tol digunakan sebagai transaksi tol.
- Di gerbang tol wajib menghentikan kendaraan untuk menempelkan kartu tol dan membayar.
- Sesampai di gerbang tol dilarang menaikkan atau menurunkan penumpang, barang ataupun hewan digerbang tol.

2.3 Gardu Tol

Menurut Chandrapradja dan Susilo (2023) dalam jurnal yang berjudul *“Penilaian Terhadap Kemampuan Tampung Dan Waktu Pelayanan Di Gerbang Tol Tanjung Duren”*, Gardu tol berfungsi sebagai sarana operasional yang digunakan petugas untuk memberikan berbagai layanan kepada pengguna jalan tol, sehingga proses transaksi dan pengaturan lalu lintas dapat berlangsung dengan tertib. Berdasarkan pedoman yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum melalui Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2009, perencanaan gardu tol harus mempertimbangkan aspek kenyamanan dan keselamatan bagi petugas yang bertugas di dalamnya. Oleh sebab itu, setiap gardu tol wajib dilengkapi dengan sistem pengatur suhu, ventilasi udara segar, serta perangkat komunikasi baik antar gardu maupun dengan kantor gerbang atau pos tol. Syaiful dkk, (2025) menulis di dalam jurnalnya yang berjudul *“Model Rekayasa Volume Lalu Lintas Di Gerbang*

Tol Bocimi” yaitu, terdapat beberapa aturan di gerbang tol yaitu, gardu masuk berfungsi untuk melayani pemberian karcis masuk kepada pengguna jalan tol dan gardu keluar berfungsi untuk melayani transaksi kepada pengguna tol.

Gardu tol dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Gardu Tol Otomatis (GTO)

Gardu tol ini diperuntukkan bagi kendaraan berukuran kecil dengan batas tinggi maksimal 2,1 meter. Sistem transaksinya sepenuhnya otomatis melalui penggunaan kartu elektronik (e-toll), sehingga proses pembayaran berlangsung tanpa interaksi petugas.

2. Gardu Semi Otomatis (GSO)

Gardu tol jenis ini dapat melayani seluruh kategori kendaraan tanpa pembatasan tinggi maksimum. Meskipun pembayarannya menggunakan kartu elektronik, gardu GSO sering kali masih menyertakan petugas untuk membantu pengguna jalan tol, terutama untuk kendaraan besar yang mungkin kesulitan menjangkau mesin tapping atau membutuhkan bantuan tambahan dalam bertransaksi.

Budiharjo dan Margarani (2019) menjelaskan bahwa saat ini tersedia beberapa tipe gardu tol yang digunakan dalam sistem pelayanan transaksi jalan tol, yaitu:

1. Gardu Tol Konvensional
2. Gardu Tol Otomatis (GTO)
3. *Single lane free flow (SLFF)*
4. *Multi Lane Free Flow (MLFF)*

2.3.1 Gardu Tol Konvensional

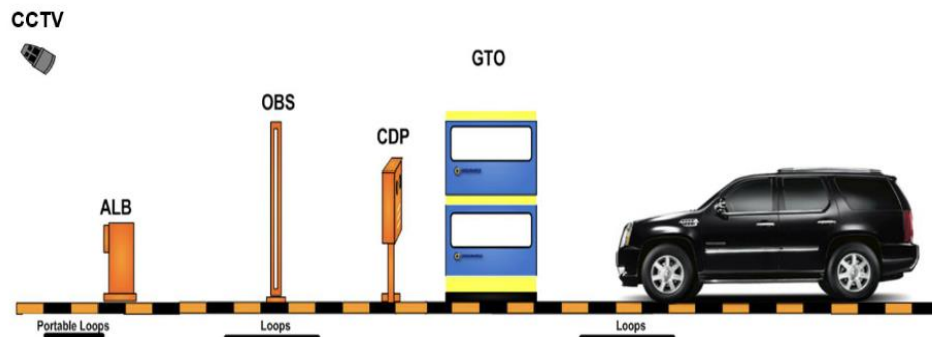
Menurut Holiansyah dan Mahendra (2025) dalam jurnal berjudul “*Analisis Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Teori Antrian dan Proyeksi Volume Lalu Lintas*”, Gardu tol konvensional merupakan bagian dari fasilitas gerbang tol yang digunakan untuk melayani transaksi pembayaran secara langsung antara pengguna jalan dan petugas (biasanya tunai atau kartu), dimana kendaraan harus berhenti untuk melakukan pembayaran. Penggunaan metode pembayaran tunai cenderung membutuhkan waktu lebih lama, khususnya ketika pengguna jalan tidak menyiapkan uang dengan nominal yang pas.

2.3.2 Gardu Tol Otomatis (GTO)

Gardu tol otomatis merupakan fasilitas yang melayani transaksi tol menggunakan kartu elektronik khusus. Di Indonesia, sejak tanggal 31 Oktober 2017 seluruh proses pembayaran tol wajib menggunakan kartu *e-money*. Aturan ini ditetapkan melalui Permen PUPR No. 16 tahun 2017 dan didukung oleh kesepakatan antara Bank Indonesia dengan Kementerian PUPR. Pemanfaatan Gardu Tol Otomatis (GTO) merupakan bentuk pembaruan yang diterapkan oleh pengelola jalan tol dalam sistem pelayanan transaksi sebagai respons terhadap meningkatnya pergerakan masyarakat dan volume kendaraan, dengan tujuan untuk mendukung kelancaran arus lalu lintas (Milenkovic dkk, 2018).

Pada Gambar 2.4 yang menunjukkan ilustrasi tahapan transaksi kendaraan pada Gardu Tol Otomatis (GTO) saat memasuki gerbang tol. Proses transaksi diawali dengan tahapan sebagai berikut:

1. kendaraan berhenti di depan gardu dan melakukan *tapping* kartu uang elektronik pada alat pembaca (*card reader*).
2. sistem akan memverifikasi data kartu dan saldo pengguna. Apabila transaksi berhasil, palang pintu (*Automatic Lane Barrier/ALB*) akan terbuka secara otomatis sehingga kendaraan dapat melanjutkan perjalanan.
3. Seluruh proses tersebut dipantau melalui perangkat pendukung seperti *Closed Circuit Television* (CCTV), *Loop Detector*, *Card Distribution Processor* (CDP), dan peralatan elektronik lainnya untuk memastikan transaksi berlangsung secara aman, cepat, dan akurat.



Gambar 2.4: Ilustrasi transaksi di GTO masuk (PT Jasa Marga (Persero) Tbk Cabang Purbaleunyi, 2018)

2.3.3 Single Lane Free Flow (SLFF)

Single Lane Free Flow (SLFF) merupakan sistem pembayaran tol berbasis teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID) yang dirancang untuk mempercepat proses transaksi sehingga dapat meningkatkan pelayanan serta mengurangi antrean dan kemacetan di gerbang tol. Pada sistem ini, kendaraan tetap harus mengurangi kecepatan hingga sekitar 20 km/jam agar sensor dapat membaca stiker RFID atau pelat nomor kendaraan, kemudian saldo pengguna akan terpotong secara otomatis. Waktu transaksi SLFF hanya sekitar 0,6 detik per kendaraan, jauh lebih cepat dibandingkan sistem E-Toll yang memerlukan waktu rata-rata 7,6 detik per kendaraan (Raharjo dkk., 2023)

2.3.4 Multi Lane Free Flow (MLFF)

Multi Lane Free Flow (MLFF) merupakan sistem transaksi tol nirsentuh yang menggunakan teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS/GPS) untuk memotong saldo secara otomatis tanpa kendaraan berhenti di gerbang tol (Badan Pengatur Jalan Tol, 2022). Sistem ini mampu mendeteksi kendaraan yang melaju dengan kecepatan tinggi sehingga efektif mengurangi waktu pelayanan dan antrian. Di Indonesia, MLFF mulai diterapkan pada beberapa ruas tol, seperti Tol Bali Mandara, Tol Balikpapan-Samarinda, dan Tol Jakarta-Bogor-Ciawi (Jagorawi). Menurut BPJT Kementerian PUPR, perbedaan utama MLFF dan *On Board Unit* (OBU) terletak pada perangkat yang digunakan, yaitu MLFF menggunakan aplikasi pada telepon seluler berbasis GNSS, sedangkan OBU menggunakan perangkat yang dipasang di dalam kendaraan. Kedua sistem tersebut mampu menghasilkan waktu pelayanan kurang dari 1 detik/kendaraan.

2.4 Kapasitas Suatu Gerbang Tol

Kapasitas jalan adalah kemampuan suatu ruas jalan untuk menampung arus atau volume lalu lintas yang ideal dalam satuan waktu tertentu, dinyatakan dalam jumlah kendaraan yang melewati potongan jalan tertentu dalam satu jam (kend/jam), atau dengan mempertimbangan berbagai jenis kendaraan yang melalui suatu jalan digunakan satuan mobil penumpang sebagai satuan kendaraan dalam perhitungan

kapasitas maka kapasitas menggunakan satuan mobil penumpang per jam atau (smp)/jam (Susanto dkk, 2020).

Berdasarkan Tabel 2.1, diketahui bahwa kapasitas gerbang tol meningkat seiring bertambahnya jumlah gardu yang beroperasi dan menurunnya waktu pelayanan transaksi. Sebagai contoh, pada waktu pelayanan 4 detik per kendaraan, satu gardu memiliki kapasitas sebesar 675 kendaraan/jam, sedangkan tiga gardu mampu melayani hingga 2.475 kendaraan/jam. Namun, apabila waktu pelayanan meningkat menjadi 10 detik per kendaraan, kapasitas pelayanan akan menurun secara signifikan meskipun jumlah gardu tetap sama. Oleh karena itu, pengelola jalan tol perlu menjaga waktu pelayanan transaksi agar tetap sesuai dengan Standar Pelayanan Minimal (SPM).

Tabel 2.1: Kapasitas gerbang tol berdasarkan jumlah gardu dan waktu pelayanan (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009)

Jumlah gardu	Kapasitas gerbang tol (kendaraan/jam)		
	Waktu Pelayanan (detik)		
	4	6	10
1	675	450	270
2	1.575	1.050	630
3	2.475	1.650	990
4	3.375	2.250	1.350
5	4.275	2.850	1.710
6	5.175	3.450	2.070
7	6.075	4.050	2.430
8	6.975	4.650	2.790
9	7.875	5.250	3.150
10	8.775	5.850	3.510
11	9.675	6.450	3.870
12	10.575	7.050	4.230
13	11.475	7.650	4.590
14	12.375	8.250	4.950
15	13.275	8.850	5.310

2.5 Standar Pelayanan Minimal (SPM)

Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol yang selanjutnya disebut SPM Jalan Tol adalah ketentuan mengenai jenis dan mutu pelayanan dasar yang berhak diperoleh

setiap pengguna jalan tol secara minimal atas penyelenggaraan jalan tol. Pemerintah melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Nomor 16/PRT/M/2014 telah menetapkan standar dan parameter yang harus dipenuhi oleh BUJT. SPM bertujuan untuk memberikan jaminan pelayanan yang berkualitas kepada pengguna jalan tol, sehingga meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi perjalanan

Secara umum, terdapat 8 aspek substansial yang wajib dipenuhi oleh Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) dan diawasi ketat oleh Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT):

1. Kondisi Jalan: Perkerasan harus rata, tidak ada lubang atau retak, serta sistem drainase harus berfungsi optimal.
2. Kecepatan Tempuh Rata-rata: Menjamin kelancaran arus lalu lintas sesuai batas kecepatan normal.
3. Aksesibilitas: Diukur dari kecepatan transaksi di gerbang tol dan panjang antrian kendaraan.
4. Mobilitas: Kecepatan respons armada patroli dalam menangani hambatan atau gangguan di jalan.
5. Keselamatan: Kelengkapan rambu, marka jalan, pagar pengaman, serta efektivitas penegakan hukum.
6. Unit Bantuan dan Penyelamatan: Kesiapsiagaan unit ambulans, derek, dan layanan darurat lainnya.
7. Lingkungan: Kebersihan jalur tol dan pemeliharaan tanaman (tinggi rumput maksimal 30 cm).
8. Tempat Istirahat & Pelayanan (TIP): Fasilitas seperti toilet, musholla, dan parkir harus berfungsi 100% serta tersedia secara gratis.

Tabel 2.2 menyajikan Standar Pelayanan Minimal (SPM) Jalan Tol berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) Nomor 16/PRT/M/2014. Standar ini merupakan pedoman yang digunakan untuk mengukur kualitas pelayanan yang harus dipenuhi oleh badan usaha jalan tol dalam memberikan pelayanan kepada pengguna. SPM mencakup beberapa aspek utama, yaitu kondisi jalan tol, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, keselamatan, unit pertolongan, penyelamatan dan bantuan pelayanan. Pemenuhan standar bertujuan untuk menjamin keamanan, kenyamanan, dan kelancaran

pengguna jalan tol. Oleh karena itu, SPM menjadi acuan penting dalam mengevaluasi tingkat pelayanan gerbang tol, termasuk pada penelitian ini.

Tabel 2.2: Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol (Permen PUPR No.16, 2014)

No	Substansi Pelayanan	Standar Pelayanan Minimal			Sasaran Kepada Pemakai Jalan
		Indikator	Cakupan	Tolak Ukur	
1	Kondisi Jalan Tol	Kekerasan	Seluruh Ruas Jalan Tol	$> 0,33 \text{ m}$	Keselamatan
		Ketidakrataan	Seluruh Ruas Jalan Tol	$\text{IRI} \leq 4\text{m/km}$	Kenyamanan dan keselamatan
		Tidak ada lubang	Seluruh Ruas Jalan Tol	100 %	Kenyamanan dan keselamatan
2	Kecepatan Tempuh Rata-rata	Kecepatan Tempuh Rata-rata	Jalan Tol Dalam Kota	$\geq 1,6$ kali kecepatan tempuh rata-rata jalan non tol	Kelancaran
			Jalan Tol Luar Kota	$\geq 1,8$ kali kecepatan tempuh rata-rata jalan non tol	Kelancaran
3	Aksesibilitas	Kecepatan Transaksi Rata-Rata	Gerbang Tol Sistem Terbuka	≤ 8 detik setiap kendaraan	Kelancaran
			Gerbang Tol Sistem Tertutup Gardu Masuk	≤ 7 detik setiap kendaraan	Kelancaran
			Gardu Keluar	≤ 11 detik setiap kendaraan	
		Jumlah Antrian Kendaraan	Gardu Tol	Maksimal 10 kendaraan per gardu dalam kondisi normal	Kelancaran
		Jumlah Gardu Tol	Kapasitas sistem terbuka	≥ 450 kendaraan per jam per gardu	kelancaran
			Kapasitas sistem tertutup Gardu Masuk Gardu keluar	≥ 500 kend. per jam ≥ 300 kend. per jam	
4	Mobilitas	Kecepatan Penanganan Hambatan Lalu Lintas	Wilayah pengamanan observasi patroli	30 menit per siklus	Kelancaran
			Mulai informasi diterima sampai ketempat kejadian	≤ 30 menit	
			Penanganan akibat kendaraan mogok	Melakukan penderekan ke pintu Gerbang Tol terdekat/bengkel terdekat dengan menggunakan derek resmi (gratis)	

2.6 Waktu Pelayanan Pada Jalan Tol

Dalam melakukan pelayanan ada waktu yang dibutuhkan atau biasa disebut dengan waktu pelayanan (WP), yaitu waktu sejak dimulainya kendaraan dilayani sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani (Sufanir dkk, 2022). Pertambahan volume lalu lintas yang memakai jalan tol akan menuntut pelayanan yang handal dari jalan tol tersebut sebagai imbalan dari sejumlah uang tol yang mereka berikan (Raharjo dkk, 2023).

Menurut Holiansyah dan Mahendra (2025) didalam jurnalnya yang berjudul *"Analisis Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Teori Antrian dan Proyeksi Volume Lalu Lintas"*, penyediaan layanan pada ruas jalan tol merupakan kewajiban utama pihak pengelola agar pengguna jalan memperoleh kualitas pelayanan yang sebanding dengan biaya yang dikeluarkan. Secara garis besar, penyelenggaraan layanan pada jalan tol mencakup tiga kelompok utama, yakni layanan transaksi, layanan operasional lalu lintas, serta layanan yang berkaitan dengan kegiatan pemeliharaan infrastruktur.

2.7 Teori Antrian

Teori antrian atau sering disebut *queuing theory* merupakan sebuah bagian penting operasi dan juga alat yang sangat berharga bagi manajemen operasi. Konsep antrian ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1909 oleh ahli matematika dan insinyur berkebangsaan Denmark yang bernama Agner Krarup Erlang, dalam bukunya yang berjudul *"Solution of Some Problem in The Theory of Probability of Significance in Automatic Telephone Exchange"*. Menurut (Yifter dkk, 2023) didalam jurnalnya yang berjudul *"Modeling and simulation of queuing system to improve service quality at commercial bank of Ethiopia"*. Konsep ini makin meluas penggunaannya mulai akhir Perang Dunia II. Model antrian sangat berguna baik dalam bidang manufaktur maupun jasa. Bahwa *a waiting line is one or more customer waiting for services*. Artinya, antrian merupakan satu atau lebih pelanggan yang menunggu untuk dilayani. Banyaknya peristiwa dalam sektor transportasi serta permasalahan lalu lintas yang muncul dalam kegiatan sehari-hari pada sistem jaringan jalan dapat dijelaskan dan dianalisis melalui penerapan teori antrian. Beberapa contoh fenomena tersebut antara lain:

- a. Kemacetan atau barisan kendaraan yang terbentuk di depan gerbang tol maupun pada setiap lengan persimpangan dengan sinyal lalu lintas.
- b. Barisan kendaraan truk yang menunggu proses bongkar muat barang di area pelabuhan.
- c. Antrian kapal yang menunggu giliran untuk bersandar di dermaga.
- d. Antrian penumpang pada loket pembelian tiket di bandara, stasiun kereta api, dan fasilitas serupa.
- e. Antrian pelanggan pada loket layanan bank, loket pembayaran listrik atau telepon, serta di kasir pasar swalayan.
- f. Berbagai situasi lain yang sering dijumpai sehari-hari yang juga dapat dianalisis menggunakan teori antrian.

Antrian tersebut pada dasarnya terjadi karena proses pergerakan arus lalu lintas (manusia atau kendaraan) terganggu oleh adanya suatu kegiatan pelayanan yang harus dilalui, seperti misalnya: antrian kendaraan yang terbentuk di depan pintu gerbang tol terjadi karena pergerakan arus kendaraan tersebut terpaksa harus terganggu oleh adanya kegiatan pengambilan atau pembayaran karcis tol.

Sistem antrian kendaraan pada penelitian ini adalah sistem yang dimana berkaitan secara keseluruhan mulai dari kedatangan pelanggan, kendaraan memasuki barisan antrian hingga pelanggan berada pada sistem antrian untuk melakukan *tapping* pada gardu tol dan setelah itu pelanggan meninggalkan gardu tol untuk mencapai tujuan tertentu secara efektif dan efisien.

2.7.1 Analisis Proses Antrian di Pintu Tol

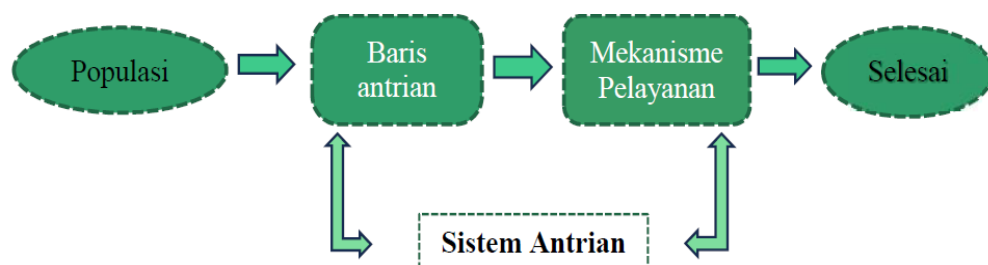
Pada dasarnya untuk lebih memahami lebih lanjut mengenai antrian, hal utama yang sangat diperlukan adalah mengerti bagaimana proses terjadinya pada antrian. Proses terjadinya pada antrian terdiri dari 4 (empat) tahap yang akan dijelaskan dibawah ini:

- Tahap I: Pada tahap ini, arus lalu lintas misalnya kendaraan bergerak dengan kecepatan tertentu menuju suatu fasilitas pelayanan. Jumlah kendaraan yang tiba pada periode waktu tertentu disebut sebagai tingkat kedatangan (λ). Apabila diterapkan disiplin antrian *First In First Out* (FIFO) dan tersedia N

tempat pelayanan pada sistem multilajur, maka tingkat kedatangan tersebut dapat diasumsikan terbagi secara merata ke setiap lajur, yaitu sebesar λ/N . Dengan asumsi ini, akan terbentuk N antrian berlajur tunggal, yang masing-masing menerapkan disiplin antrian FIFO.

- Tahap II: Pada tahap ini, kendaraan mulai memasuki barisan antrian untuk menunggu giliran dilayani. Dengan demikian, waktu antrian diartikan sebagai rentang waktu sejak kendaraan bergabung dalam antrian hingga saat pelayanan dimulai.
- Tahap III: Tahap ini menggambarkan proses ketika kendaraan sedang dilayani oleh salah satu fasilitas pelayanan. Waktu pelayanan (WP) merupakan durasi sejak pelayanan terhadap kendaraan dimulai hingga kendaraan selesai diproses.
- Tahap IV: Pada tahap ini, kendaraan meninggalkan fasilitas pelayanan dan melanjutkan perjalanan.
- Gabungan tahap II dan III dikenal sebagai sistem antrian. Dengan demikian, waktu di dalam sistem antrian adalah waktu total sejak kendaraan masuk ke dalam antrian hingga selesai mendapatkan pelayanan.

Pada Gambar 2.5 menggambarkan alur kerja suatu sistem antrian yang terdiri atas empat tahapan utama. Tahap pertama diawali dengan kedatangan kendaraan (*populasi*) menuju fasilitas pelayanan. Apabila fasilitas pelayanan belum tersedia, kendaraan akan memasuki baris antrian dan menunggu sesuai disiplin antrian yang berlaku. Tahap berikutnya adalah mekanisme pelayanan, yaitu proses ketika kendaraan memperoleh pelayanan pada fasilitas yang tersedia. Setelah pelayanan selesai, kendaraan keluar dari sistem antrian dan melanjutkan perjalanan (selesai).



Gambar 2.5: Sistem antrian (Aseha dkk, 2023)

2.7.2 Proses Pada Sistem Antrian

Suatu antrian merupakan formasi baris-baris penungguan dari pelanggan (satuan) yang memerlukan pelayanan dari satu atau lebih pelayan (fasilitas layanan). Peristiwa antrian merupakan fenomena yang biasa terjadi apabila kebutuhan akan pelayanan melebihi kemampuan (kapasitas) pelayanan pada waktu yang sama, sehingga pelanggan yang tiba tidak dapat segera mendapat pelayanan dan membentuk suatu formasi baris-baris penungguan.

Sistem antrian adalah suatu sistem yang mencakup barisan dan gerbang pelayanan. Sedangkan populasi yang terbentuk dari waktu ke waktu berasal dari suatu sumber disebut *calling population*. Populasi tersebut datang ke sistem dan bergabung membentuk barisan antrian. Pada waktu tertentu, salah satu atau beberapa anggota dari barisan antrian tersebut dipilih untuk mendapat pelayanan.

Pemilihan ini berdasarkan pada aturan-aturan tertentu yang disebut disiplin antrian. Populasi yang telah dilayani selanjutnya pergi meninggalkan gerbang pelayanan. Struktur antrian dapat diklasifikasikan berdasarkan banyaknya gerbang atau jalur dan banyaknya tahap pelayanan yang ada. Ada 4 (empat) pola sistem antrian dasar yang umum terjadi dalam seluruh sistem antrian, yaitu sebagai berikut:

a. *Single Channel-Single Phase* (Saluran Tunggal-Satu Tahap)

Model *Single Channel-Single Phase* pada Gambar 2.6 merupakan sistem antrian terdiri atas satu jalur antrian dan satu tahap pelayanan. Kendaraan datang dan mengantri pada satu jalur untuk dilayani oleh satu fasilitas pelayanan hingga proses selesai.

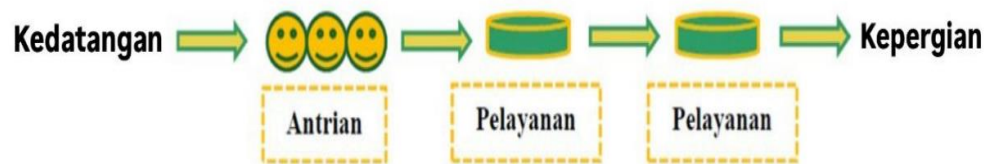


Gambar 2.6: Model *single channel-single phase* (Aseha dkk, 2023)

b. *Single Channel-Multi Phase* (Saluran Tunggal-Banyak Tahap)

Model *Single Channel-Multi Phase* pada Gambar 2.7 merupakan sistem antrian terdiri satu jalur antrian dengan lebih dari satu tahap pelayanan. Kendaraan yang

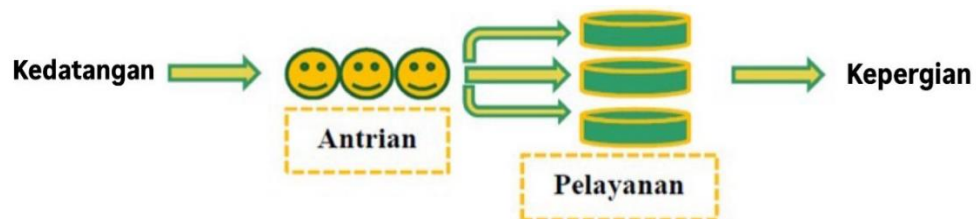
datang akan memasuki satu antrian, kemudian dilayani secara berurutan melalui beberapa tahap pelayanan hingga seluruh proses selesai.



Gambar 2.7: Model *single channel-multi phase* (Aseha dkk, 2023)

c. *Multi Channel-Single Phase* (Banyak Saluran-Satu Tahap)

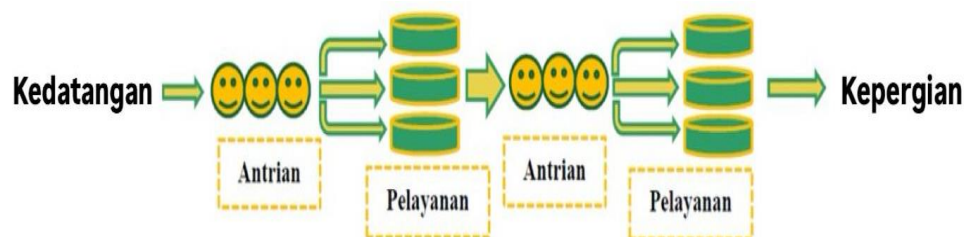
Model *Multi Channel-Single Phase* pada Gambar 2.8 merupakan sistem antrian terdiri satu tahap pelayanan dengan beberapa jalur atau fasilitas pelayanan. Kendaraan yang datang akan membentuk antrian dan selanjutnya diarahkan ke salah satu jalur pelayanan yang tersedia.



Gambar 2.8: Model *multi channel-single phase* (Aseha dkk, 2023)

d. *Multi Channel-Multi Phase* (Banyak Saluran-Banyak Tahap)

Model *Multi Channel-Multi Phase* pada Gambar 2.9 merupakan sistem antrian terdiri beberapa jalur pelayanan dan lebih dari satu tahap pelayanan. Kendaraan yang datang dapat memilih atau diarahkan ke salah satu jalur yang tersedia, kemudian melewati beberapa tahap pelayanan secara berurutan.



Gambar 2.9: Model *multi channel-multi phase* (Aseha dkk, 2023)

2.7.3 Karakteristik Sistem Antrian

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

- a. Kedatangan populasi, yang meliputi tingkat kedatangan rata-rata dan probabilitas distribusi pelayanan
- b. Tingkat pelayanan, yang meliputi tingkat layanan rata-rata dan probabilitas distribusi waktu pelayanan
- c. Jumlah dan susunan gerbang pelayanan
- d. Disiplin antrian, yaitu menentukan antrian dimana satuan lalu lintas yang tiba akan dilayani

Dari komponen sistem antrian yang terbagi menjadi 4 (empat) masing-masing mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Berikut penjelasan di tiap-tiap komponen tersebut yaitu:

2.7.4 Kedatangan Populasi Yang Akan Dilayani

Menurut Onuneng dkk (2025) Kedatangan populasi yang akan dilayani (*calling population*) merupakan sekumpulan kendaraan yang masuk ke dalam suatu sistem pelayanan di jalan tol dan menjadi sumber permintaan layanan. Karakter sumber kedatangan ini dapat dilihat dari jumlahnya, apakah terbatas atau tidak terbatas serta dari pola dan perilaku kedatangannya. Oleh karena itu, dalam analisis antrian di gerbang tol penting untuk memahami apakah jumlah kendaraan yang menjadi sumber kedatangan bersifat *finite* (misalnya berasal dari jumlah kendaraan yang terbatas pada suatu rute tertentu) atau *infinite* (yaitu arus kendaraan yang jumlahnya tidak tetap dan terus mengalir).

Pola kedatangan kendaraan di gerbang tol biasanya dianggap bersifat acak (*random*) dan pada kondisi normal sering dimodelkan dengan distribusi (*Poisson*), sehingga jarak waktu antar kendaraan yang datang mengikuti pola perubahan yang sangat cepat (eksponensial). Dengan asumsi tersebut, perhitungan tingkat kedatangan rata-rata (λ), panjang antrian, dan waktu tunggu menjadi lebih sederhana. Dalam praktiknya, pola kedatangan ini dapat berubah-ubah tergantung

waktu seperti jam sibuk, hari kerja atau akhir pekan, maupun adanya peristiwa tertentu serta dipengaruhi oleh teknologi pembayaran seperti e-toll atau *multi-lane free flow*. Karena itu, analisis kinerja gerbang tol perlu menggunakan data lalu lintas nyata yang dicatat per rentang waktu agar nilai (λ) yang digunakan benar-benar mencerminkan kondisi lapang.

2.7.5 Tingkat Kedatangan (λ)

Tingkat kedatangan (λ) yaitu jumlah kendaraan atau manusia yang bergerak menuju satu atau lebih tempat fasilitas pelayanan dalam beberapa waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit. Tingkat kedatangan pelanggan biasanya ditentukan oleh waktu antar kedatangan, yaitu waktu antara kedatangan dua atau lebih pelanggan yang secara berurutan pada suatu fasilitas pelayanan. Jadi asumsinya adalah kedatangan pelanggan mengikuti suatu proses dengan distribusi probabilitas.

$$\text{Waktu kedatangan rata-rata} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.1)$$

2.7.6 Tingkat Pelayanan (μ)

Tingkat pelayanan dinyatakan dengan notasi μ , yaitu jumlah kendaraan atau manusia yang dapat dilayani oleh satu tempat fasilitas pelayanan dalam satuan waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit. Jika nilai λ lebih kecil dari μ maka sistem pelayanan masih stabil. Tingkat pelayanan, juga dikenal waktu pelayanan (WP) yang dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh satu tempat pelayanan untuk dapat melayani satu kendaraan atau satu orang, bisa dinyatakan dalam satuan menit/kendaraan atau menit/orang, sehingga bisa disimpulkan bahwa:

$$WP = \frac{1}{\mu} \quad (2.2)$$

dengan:

WP = Waktu Pelayanan

μ = Waktu pelayanan di peroleh dalam waktu satu jam (3.600 detik)

Selain itu dikenal juga notasi ρ yang didefinisikan sebagai notasi antara tingkat kedatangan (λ) dengan tingkat pelayanan (μ) dengan persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1.

$$\lambda = \frac{\lambda}{N} \quad (2.3)$$

dengan:

λ = tingkat kedatangan rata-rata

N = jumlah gardu tol

2.7.7 Mekanisme dan Jumlah Gerbang Pelayanan

Mekanisme pelayanan gerbang tol berkaitan erat dengan teori antrian (*queueing theory*). Dalam operasional jalan tol, kendaraan yang datang akan membentuk antrian apabila kapasitas pelayanan gardu lebih kecil dibandingkan tingkat kedatangan kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan jumlah gardu pelayanan yang optimal agar waktu tunggu dan panjang antrian kendaraan dapat diminimalkan (Holiansyah dan Mahendra, 2025). Sistem pelayanan yang umum digunakan pada gerbang tol adalah sistem FIFO (*First In First Out*), yaitu kendaraan yang datang terlebih dahulu akan memperoleh pelayanan terlebih dahulu.

2.7.8 Disiplin Antrian

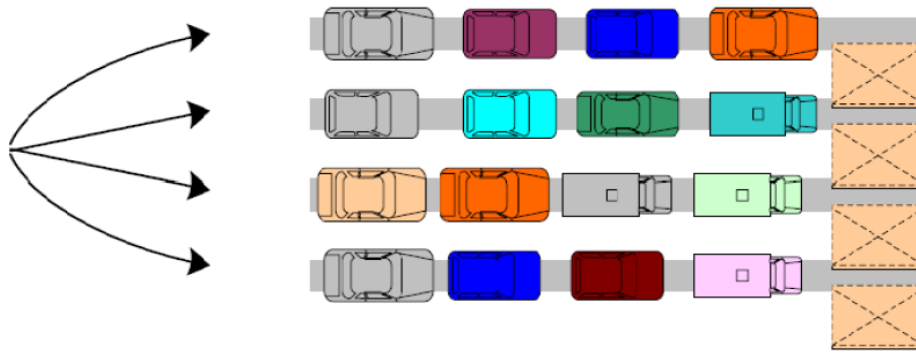
Antrian adalah suatu kegiatan yang dilakukan oleh konsumen yang sedang menunggu untuk mendapatkan hak untuk mendapatkan pelayanan. Antrian akan terjadi bila kebutuhan akan pelayanan melebihi kapasitas fasilitas pelayanan yang tersedia sehingga pelanggan harus menunggu dengan waktu yang lebih lama guna mendapat layanan (Lestari dan Suseno, 2021). Disiplin antrian ini terbagi dalam empat bentuk, yaitu:

a. *First In First Out* (FIFO)

Menurut penelitian Fauzi dan Rahmi tahun 2021 yang berjudul “*Penerapan Metode First In First Out (FIFO) Dalam Sistem Antrian Pelayanan Administrasi Mahasiswa*”. Metode FIFO (*First In First Out*) merupakan metode

pelayanan antrian dimana pihak yang datang pertama akan memperoleh pelayanan terlebih dahulu dibandingkan pihak yang datang setelahnya.

Disiplin antrian *First In First Out* (FIFO) pada gambar 2.10 merupakan aturan pelayanan yang mendahulukan kendaraan yang datang lebih awal dibandingkan kendaraan yang datang setelahnya. Kendaraan yang tiba akan membentuk antrian dan diarahkan ke jalur pelayanan yang tersedia, kemudian kendaraan pada posisi paling depan dilayani terlebih dahulu. Penerapan FIFO bertujuan menjaga keteraturan antrian, mengurangi potensi konflik antar pengguna, serta mendukung kelancaran proses pelayanan pada gerbang tol (Nadjam dkk., 2013).

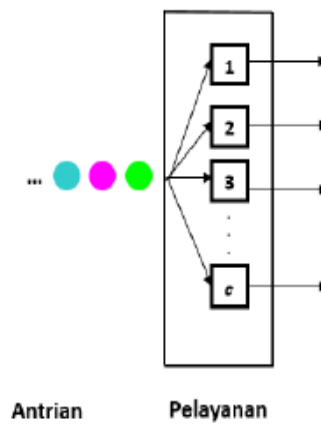


Gambar 2.10: Disiplin antrian FIFO (Nadjam dkk, 2013)

b. *Last In First Out* (LIFO)

Last In First Out (LIFO) merupakan disiplin antrian yang menerapkan prinsip bahwa pelanggan atau kendaraan yang datang terakhir akan memperoleh pelayanan terlebih dahulu. Berbeda dengan FIFO, sistem ini tidak mengikuti urutan kedatangan sehingga pelanggan yang datang lebih awal dapat menunggu lebih lama dibandingkan pelanggan yang datang setelahnya.

Disiplin antrian *Last In First Out* (LIFO) pada gambar 2.11 merupakan aturan pelayanan yang mendahulukan kendaraan yang datang paling akhir untuk memperoleh pelayanan. Pada sistem ini, kendaraan yang berada di posisi paling belakang dalam antrian akan dilayani terlebih dahulu, sedangkan kendaraan yang datang lebih awal menunggu hingga kendaraan yang terakhir datang selesai dilayani. (Suryobuwono dkk., 2019).



Gambar 2.11: Disiplin antrian LIFO (Suryobuwono dkk, 2019)

c. *Service in Random Order (SIRO)*

Pelayanan yang diberikan dilakukan secara acak, dimana customer yang datang pertama maupun yang terakhir akan mendapatkan peluang yang sama untuk dilayani. Contohnya adalah pada arisan, dimana pelayanan atau *service* dilakukan berdasarkan undian (*random*).

d. Pelayanan berdasarkan prioritas

Pelayanan diberikan berdasarkan skala prioritas. Contohnya dapat dilihat pada pelayanan yang diberikan di sebuah rumah sakit, dimana pasien yang memiliki penyakit lebih parah akan ditangani terlebih dahulu. Disiplin prioritas ini dikelompokkan menjadi dua, yaitu *preemptive* dan *non preemptive*. Disiplin *preemptive* menggambarkan situasi dimana pelayan sedang melayani seseorang, kemudian beralih melayani orang yang diprioritaskan meskipun belum selesai melayani orang sebelumnya sedangkan disiplin *non preemptive* menggambarkan situasi dimana pelayan akan menyelesaikan pelayanannya baru kemudian beralih melayani orang yang diprioritaskan.

2.8 Parameter Antrian

Parameter antrian merupakan ukuran kinerja (*performance measures*) yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas suatu sistem pelayanan dalam melayani pelanggan atau kendaraan. Parameter-parameter tersebut memberikan informasi mengenai kondisi operasional sistem, seperti jumlah kendaraan yang berada di

dalam sistem, panjang antrian, waktu tunggu, dan waktu pelayanan. Analisis parameter antrian sangat penting karena dapat digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi pelayanan serta mengidentifikasi apakah suatu fasilitas pelayanan telah bekerja secara optimal atau telah mendekati kondisi jenuh.

Terdapat 4 (empat) parameter utama yang selalu digunakan dalam menganalisis antrian, yaitu: n , q , d , dan w . Beberapa parameter yang digunakan dalam analisis ini meliputi jumlah kendaraan dalam sistem, jumlah kendaraan dalam antrian, waktu kendaraan dalam sistem, dan waktu tunggu kendaraan dalam antrian (Tanjung dkk, 2026). meliputi:

$$\text{Jumlah Kendaraan dalam sistem: } \bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (2.4)$$

$$\text{Jumlah kendaraan dalam antrian: } \bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.5)$$

$$\text{Waktu kendaraan dalam sistem: } \bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2.6)$$

$$\text{Waktu tunggu kendaraan dalam antrian: } \bar{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.7)$$

Keterangan:

λ = tingkat kedatangan kendaraan

μ = tingkat pelayanan gardu tol

n = rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem

q = rata-rata jumlah kendaraan dalam antrian

d = rata-rata waktu kendaraan dalam sistem

w = rata-rata waktu tunggu kendaraan dalam antrian

Keempat parameter tersebut saling berkaitan dalam menggambarkan kinerja suatu sistem antrian. Rata-rata jumlah kendaraan dalam sistem (n) menunjukkan banyaknya kendaraan yang sedang menunggu maupun yang sedang dilayani. Sementara itu, rata-rata jumlah kendaraan dalam antrian (q) hanya memperhitungkan kendaraan yang belum memperoleh pelayanan. Parameter waktu kendaraan dalam sistem (d) merupakan total waktu yang dihabiskan kendaraan sejak memasuki antrian hingga selesai dilayani, sedangkan waktu tunggu dalam antrian (w) hanya mencakup waktu sebelum pelayanan dimulai.

Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menilai apakah sistem pelayanan gerbang tol masih bekerja secara efektif atau sudah mendekati kondisi

jenuh. Semakin besar nilai jumlah kendaraan dan waktu tunggu, maka semakin rendah kinerja sistem pelayanan yang terjadi.

2.9 Disiplin Antrian *First In First Out* (FIFO)

Pers 2.4-2.7 pada parameter antrian merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung n , q , d , dan w untuk disiplin antrian *FIFO*.

$$\bar{n} = \frac{\lambda/N}{\mu - (\frac{\lambda}{N})} \quad (2.8)$$

$$\bar{q} = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \quad (2.9)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - (\frac{\lambda}{N})} \times 3600 \quad (2.10)$$

$$\bar{w} = \frac{(\frac{\lambda}{N})}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \times 3600 \quad (2.11)$$

Beberapa asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FIFO adalah:

- Nilai intensitas lalu lintas harus lebih kecil dari satu ($\rho < 1$). Persamaan 2.4-2.7 hanya berlaku untuk sistem pelayanan satu lajur (*single server*) dengan nilai intensitas lalu lintas (ρ) yang lebih kecil dari satu. Nilai ρ merupakan perbandingan antara tingkat kedatangan kendaraan (λ) dengan kapasitas pelayanan (μ). Apabila nilai ρ lebih besar atau sama dengan satu ($\rho \geq 1$), berarti tingkat kedatangan kendaraan telah melebihi kemampuan pelayanan sehingga sistem menjadi tidak stabil dan panjang antrian akan terus bertambah. Dalam kondisi tersebut diperlukan penambahan lajur pelayanan atau gardu tol sehingga beban pelayanan dapat dibagi dan nilai ρ kembali berada di bawah.
- Kendaraan yang sudah antri pada suatu lajur antrian diasumsikan tidak boleh berpindah antrian ke lajur lainnya. Asumsi ini diperlukan agar proses analisis tetap sederhana dan sesuai dengan karakteristik model antrian FIFO.
- Waktu pelayanan pada setiap gardu dianggap relatif sama. Seluruh tempat pelayanan atau gardu tol diasumsikan memiliki waktu pelayanan yang hampir seragam sehingga perbedaan waktu pelayanan antar gardu sangat kecil atau memiliki standar deviasi yang rendah. Dengan demikian, setiap gardu dianggap memiliki tingkat pelayanan (μ) yang sama sehingga distribusi kendaraan ke setiap lajur tidak dipengaruhi oleh perbedaan kecepatan pelayanan antar gardu.

2.10 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) Tahun 2023, jalan tol termasuk dalam kategori Jalan Bebas Hambatan (JBH) yang dirancang untuk memberikan pelayanan lalu lintas dengan kecepatan tinggi, akses masuk dan keluar yang terkendali, serta minim hambatan samping. Analisis kinerja jalan tol dilakukan melalui penilaian kapasitas dan tingkat pelayanan lalu lintas pada ruas jalan maupun fasilitas pendukungnya, seperti gerbang tol. PKJI 2023 digunakan sebagai pedoman nasional dalam mengevaluasi kondisi operasional jalan tol berdasarkan karakteristik lalu lintas terkini di Indonesia. (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023).

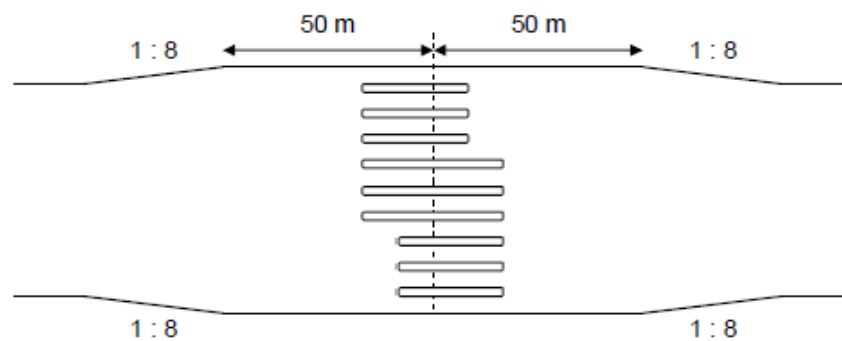
Dalam PKJI 2023, kapasitas jalan tol dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu kapasitas dasar, jumlah lajur, lebar lajur, komposisi kendaraan, serta kondisi geometrik jalan. Kinerja lalu lintas pada jalan tol dinilai menggunakan parameter kapasitas (C), arus lalu lintas (Q), derajat kejenuhan (DJ), kecepatan tempuh (VT), dan waktu tempuh (WT). Nilai derajat kejenuhan merupakan indikator utama yang menunjukkan tingkat pemanfaatan kapasitas jalan, dimana semakin tinggi nilai DJ maka semakin rendah tingkat pelayanan jalan tol tersebut.

Apabila volume lalu lintas mendekati atau melebihi kapasitas yang tersedia, maka akan terjadi penurunan kecepatan, peningkatan waktu tempuh, serta potensi terbentuknya antrian, terutama pada akses keluar-masuk dan gerbang tol. Oleh karena itu, analisis kapasitas dan tingkat pelayanan menjadi dasar dalam perencanaan maupun pengembangan fasilitas jalan tol agar mampu mengakomodasi pertumbuhan lalu lintas di masa mendatang.

2.11 Perencanaan Pelataran Tol

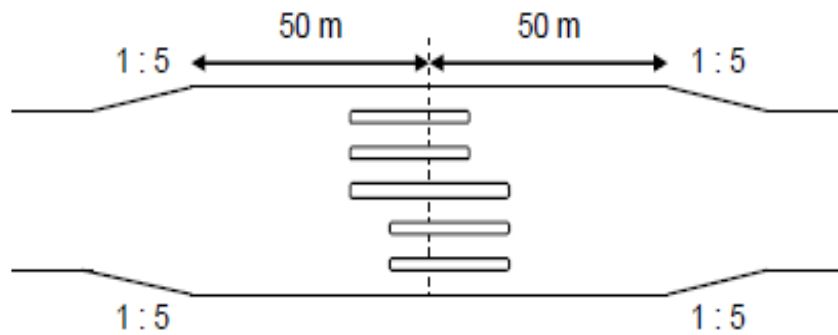
Pelataran tol (*toll plaza*) merupakan area pada jalan tol yang memiliki bentuk geometris lebih lebar dan lebih teratur dibandingkan ruas jalan tol biasa, dan pada bagian inilah gerbang tol ditempatkan. Dalam perencanaan pelataran dan gerbang tol, digunakan ketentuan perencanaan dari Bina Marga tahun 2009 mengenai Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol. Perencanaan tersebut harus mempertimbangkan aspek-aspek seperti kelancaran arus lalu lintas, keselamatan, efisiensi operasional, serta ketersediaan ruang pandang yang memadai.

Pelataran tol pada gerbang tipe *barrier* pada Gambar 2.12 merupakan area yang digunakan kendaraan untuk melakukan perpindahan dari jalur utama menuju lajur pelayanan atau gardu tol. Pelebaran lajur pada area ini perlu dirancang secara bertahap dengan panjang transisi yang memadai agar kendaraan dapat melakukan *manuver* dan *weaving* dengan aman serta mengurangi potensi konflik antar kendaraan. Berdasarkan ketentuan geometrik, pelebaran lajur menggunakan kemiringan taper maksimum 1:8 dengan panjang transisi 50 meter pada masing-masing sisi. Pengaturan tersebut memberikan ruang yang cukup bagi kendaraan untuk menyesuaikan arah dan posisi sebelum memasuki area pelayanan, sehingga pergerakan kendaraan dapat berlangsung secara aman, teratur, dan lancar (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009).



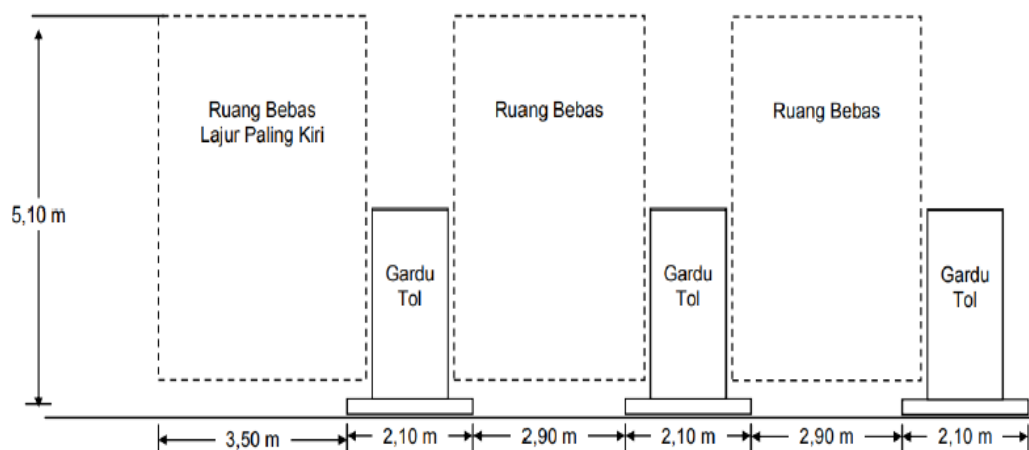
Gambar 2.12: Pelataran tol pada gerbang tol barrier (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009)

Sedangkan Pelataran tol pada gerbang tipe *ramp* pada Gambar 2.13 merupakan area yang menghubungkan jalan akses dengan lajur pelayanan pada gerbang tol. Pelebaran lajur dirancang secara bertahap untuk memberikan ruang yang memadai bagi kendaraan dalam melakukan perpindahan arah dan *manuver* sebelum memasuki gardu tol. Berdasarkan ketentuan geometrik, pelebaran pada pelataran tol tipe *ramp* menggunakan kemiringan *taper* maksimum 1:5 dengan panjang transisi 50 meter pada masing-masing sisi. Pengaturan geometrik tersebut bertujuan agar kendaraan dapat melakukan penyesuaian arah secara aman dan lancar serta mengurangi potensi konflik antara kendaraan yang masuk dan keluar dari area pelayanan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009).



Gambar 2.13: Pelataran tol pada gerbang tol ramp (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009)

Ruang bebas pada gerbang tol pada Gambar 2.14 merupakan area yang harus tersedia untuk memberikan jarak aman bagi kendaraan saat melintasi lajur pelayanan dan gardu tol. Berdasarkan ketentuan geometrik, ruang bebas memiliki tinggi 5,10 meter pada area lajur kendaraan. Lebar lajur yang ditunjukkan terdiri atas 3,50 meter pada lajur paling kiri, 2,90 meter pada lajur antar-gardu, serta 2,10 meter pada posisi gardu tol. Penyediaan ruang bebas dan dimensi lajur tersebut bertujuan agar kendaraan, khususnya kendaraan dengan dimensi besar, dapat melintas tanpa terhalang oleh bangunan maupun fasilitas gerbang tol serta mendukung keselamatan dan kelancaran operasional (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009).



Gambar 2.14: Ruang bebas pada gerbang tol (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2009)

2.12 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Dalam sub bab ini penulis ingin menyampaikan beberapa penelitian terdahulu sebagai referensi untuk mempermudah penulis membuat penelitian secara keseluruhan. Berikut beberapa penelitian terdahulu terhadap evaluasi kapasitas dan pelayanan pada akses keluar-masuk Gerbang Tol Binjai.

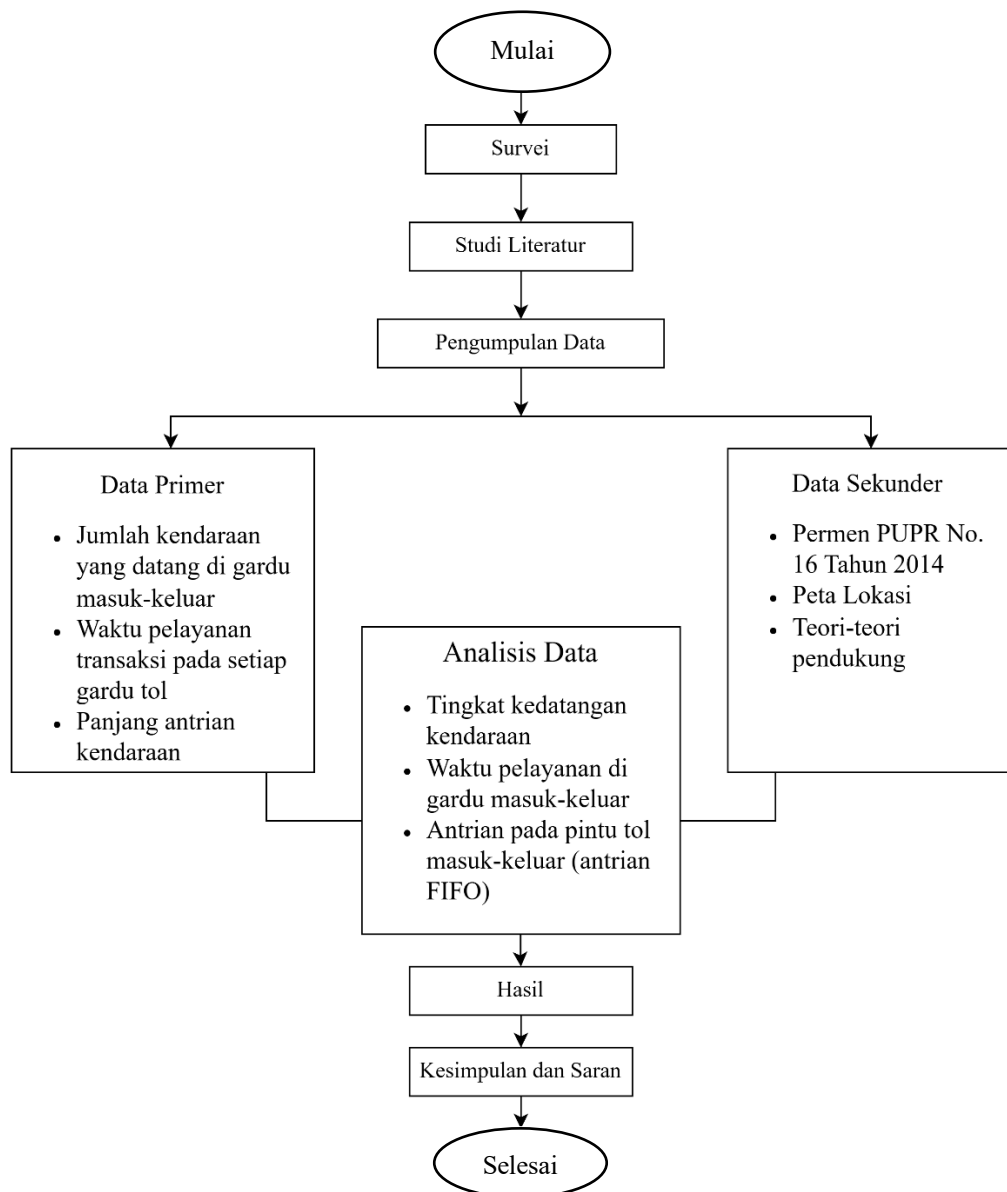
- a. Berdasarkan Jurnal Holiansyah dan Muhammad oka Mahendra yang berjudul Analisis Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Teori Antrian dan Proyeksi Volume Lalu Lintas tahun 2025, Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika tingkat kedatangan kendaraan melebihi kapasitas pelayanan ($\rho > 1$), maka akan terjadi kemacetan terutama pada jam sibuk. Oleh karena itu, diperlukan penambahan jumlah gardu tol untuk menjaga keseimbangan.
- b. Berdasarkan Jurnal Liza Evianti Tanjung, Salsa Al-Kahfi, dan Muhammad Husin Gultom yang berjudul Evaluasi Kinerja Pelayanan Gerbang Tol Marelan Berdasarkan Model Antrian First In First Out (FIFO) tahun 2025, menyatakan bahwa Kapasitas pelayanan setiap gardu tol sekitar 214 kendaraan per jam. Pada kondisi jam sibuk, tingkat kedatangan kendaraan mendekati kapasitas pelayanan sehingga menyebabkan antrian kendaraan. Sehingga, diperlukan peningkatan efisiensi sistem pelayanan melalui optimalisasi jumlah gardu tol serta peningkatan kinerja pelayanan gerbang tol.
- c. Berdasarkan jurnal Chandrapradja dan Susilo yang berjudul Penilaian Terhadap Kemampuan Tampung Dan Waktu Pelayanan Di Gerbang Tol Tanjung Duren tahun 2023, menyatakan bahwa Kapasitas gerbang Tol Tanjung Duren adalah 413 kend/jam pada GTO 01 Electronic Card, 3 kend/jam pada GTO 01 SLFF, dan 325 kend/jam pada GSO 02 Electronic Card. Kapasitas ini masih memenuhi standar pelayanan sistem terbuka yaitu ≤ 450 kend/jam.
- d. Berdasarkan jurnal Angga Marditama Sultan Sufanir, Dwi Rahma Shaumi, dan Vivi Rifanda Aulia Siregar berjudul Pemeriksaan Standar Pelayanan Gerbang Tol Pasteur 1 Ditinjau dari Kecepatan Transaksi tahun 2022 GT Pasteur 1 telah memenuhi SPM Jalan Tol berdasarkan kecepatan transaksi rata-rata. Waktu transaksi pada GTO 1 dan GTO 2 lebih tinggi karena merupakan gardu multi golongan yang melayani kendaraan besar. Kendaraan besar membutuhkan waktu transaksi lebih lama akibat dimensi dan berat muatannya.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

Dalam melakukan kegiatan penelitian diperlukan diagram alir penelitian yang berisikan skema proses penelitian dari awal sampai dengan diperolehnya suatu kesimpulan. Untuk itu maka perlu dibuat suatu metode penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini:



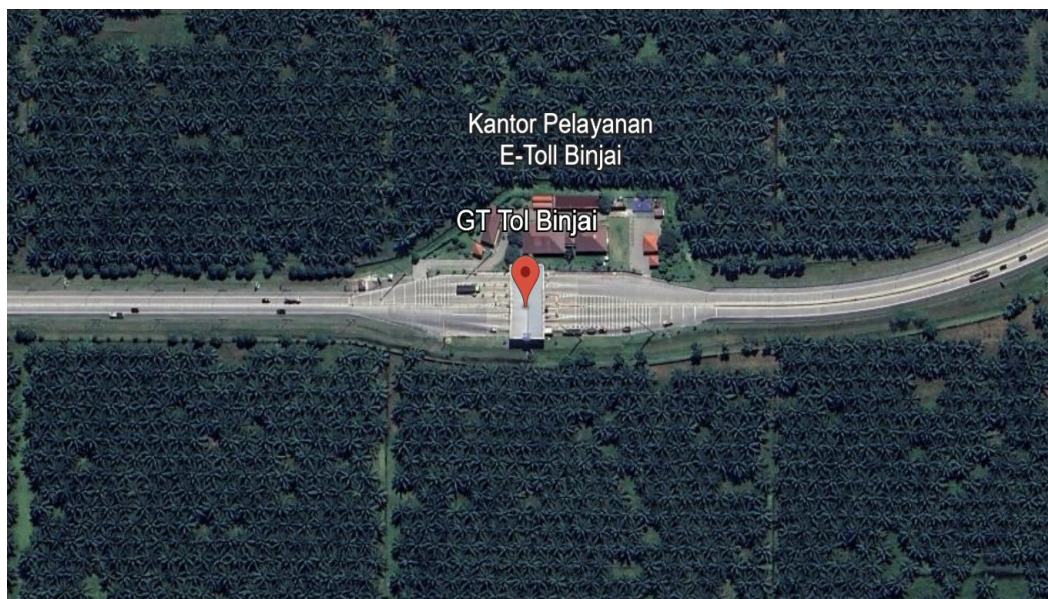
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

1. Gerbang tol Binjai menjadi salah satu pintu utama menuju: Medan, Binjai, Kabupaten Langkat, dan jalur lintas menuju Aceh.
2. Gerbang Tol Binjai melayani arus kendaraan yang cukup tinggi setiap harinya, terutama pada jam-jam tertentu, sehingga berpotensi menimbulkan antrian dan memengaruhi tingkat pelayanan gardu tol. Kondisi ini menjadikan Gerbang Tol Binjai sebagai lokasi yang tepat untuk mengevaluasi kapasitas dan kinerja pelayanan gerbang tol.

Gambar 3.2 menunjukkan lokasi Gerbang Tol Binjai yang merupakan objek penelitian. Gerbang tol ini terletak di Desa Sumber Melati Diski, Kecamatan Sunggal, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, dan merupakan bagian dari ruas Jalan Tol Medan–Binjai.



Gambar 3.2: Gerbang Tol Binjai (Google Earth, 2025)

3.3 Studi Awal

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan untuk menganalisis kapasitas dan pelayanan pada gardu tol. Pendekatan ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara tingkat kedatangan kendaraan dan

tingkat pelayanan gardu tol yang memengaruhi panjang antrian dan waktu tunggu kendaraan.

Sebelum pelaksanaan survei utama, peneliti terlebih dahulu melakukan survei pendahuluan untuk memahami kondisi aktual di lokasi penelitian, khususnya situasi operasional di Gerbang Tol Binjai. Survei pendahuluan ini bertujuan untuk mengetahui gambaran umum volume lalu lintas harian pada gerbang tol yang akan dianalisis.

3.4 Pengumpulan Data

Dalam melakukan pengumpulan data pada penelitian ini, perlu direncanakan apa-apa saja yang diperlukan untuk pengumpulan data yaitu:

1. Survei Pendahuluan (*Observasi*)

Ada beberapa hal yang dilakukan pada survei ini:

- a. Peninjauan lokasi penelitian.
- b. Peninjauan titik survei.

2. Pemeriksaan Formulir Survei

Pemeriksaan formulir survei dilakukan untuk memastikan bahwa pada pelaksanaan survei utama, petugas surveyor tidak mengalami kendala dalam pengisian data. Formulir survei harus dipastikan telah memuat informasi yang diperlukan, antara lain nama gerbang tol, nomor gardu tol yang disurvei, serta klasifikasi kendaraan dari golongan 1-5.

3. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu penelitian untuk melakukan pengambilan data pada Gerbang Tol Binjai dilakukan pada pukul 06.00 – 19.00 WIB.

Pada saat pelaksanaan berlangsung, *surveyor* mencatat jumlah kendaraan yang masuk di masing-masing Gardu Tol Binjai. Dimana kendaraan diklasifikasikan kedalam:

1. Golongan I : Sedan, Jip, *Pick Up/Truck* Kecil, dan Bus
2. Golongan II : Truk dengan 2 (dua) Gandar
3. Golongan II : Truk dengan 3 (tiga) Gandar
4. Golongan IV : Truk dengan 4 (empat) Gandar
5. Golongan V : Truk dengan 5 (lima) Gandar atau Lebih

3.4.1 Pengambilan Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan secara langsung di lokasi penelitian melalui kegiatan survei lapangan. Survei tersebut dilaksanakan pada setiap gardu masuk dan keluar yang beroperasi di Gerbang Tol Binjai. Selama proses survei, berbagai jenis data yang diperlukan dicatat dan didokumentasikan, antara lain:

1. Tingkat kedatangan (λ) atau kapasitas dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam). Data ini diperoleh dengan mengitung jumlah kendaraan yang datang setiap menitnya.
2. Waktu pelayanan (*service time*) dinyatakan dalam satuan menit/kendaraan (menit/kend). Data ini diperoleh pada saat kendaraan berhenti di depan gardu untuk mengadakan transaksi sampai kendaraan tersebut bergerak meninggalkan gardu. Waktu pelayanan dihitung dengan menggunakan *stopwatch*.
3. Panjang antrian dilakukan dengan mengukur panjang antrian yang terjadi sesaat setelah kendaraan berada tepat didepan gardu untuk melakukan transaksi.
4. Tingkat pelayanan dilakukan untuk menghitung bagaimana pelayanan yang diberikan oleh sistem transaksi e-toll di gardu keluar-masuk.

3.4.2 Pengambilan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengakses dan menganalisis literatur yang berkaitan termasuk buku, jurnal, penelitian terdahulu, serta sumber tertulis lainnya yang mendukung penyusunan tugas akhir ini.

3.4.3 Penyusunan Data

Setelah formulir data diisi dengan lengkap maka data-data tersebut disusun ke dalam komputer dengan menggunakan Microsoft Excel sebagai data base. Pada data base tersebut semua informasi yang diperoleh dari survei disusun ke dalam bentuk tabel. Adapun data-data yang disusun adalah:

1. Tingkat kedatangan (λ)
2. Panjang antrian (q)
3. Waktu pelayanan/*service time* (t)
4. Tingkat pelayanan (μ)

BAB 4

ANALISA DATA

4.1 Perhitungan Tingkat Kedatangan Masuk (*Entrance*)

Berdasarkan hasil survei pada akses masuk (*entrance*) Gerbang Tol Binjai, diperoleh jumlah kendaraan sebesar 4.870 kendaraan selama empat interval pengamatan. Berdasarkan data tersebut, tingkat kedatangan kendaraan (λ) dihitung sebesar 1.218 kendaraan/jam.

Perhitungan *entrance*

Tempat : Gerbang Tol Binjai

Tanggal/Hari : 22 Januari 2026/Kamis

Waktu : 06.00-19.00 WIB

Tabel 4.1: Data survei tingkat kedatangan masuk gerbang tol binjai

No	Rentang Waktu	Jumlah Kendaraan
1	06.00-09.00	893
2	09.00-12.00	1443
3	12.00-15.00	1074
4	15.00-19.00	1460
	TOTAL	4870

Besarnya tingkat kedatangan kendaraan (λ) dihitung sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{\text{Total kendaraan}}{\text{Jumlah interval}}$$

$$\lambda = \frac{4870}{4} = 1217,5 \approx 1218 \text{ kendaraan/jam}$$

4.1.1 Perhitungan tingkat Kedatangan Keluar (*Exit Level*)

Berdasarkan hasil survei pada akses masuk (*entrance*) Gerbang Tol Binjai, diperoleh jumlah kendaraan sebesar 2.319 kendaraan selama empat interval pengamatan. Berdasarkan data tersebut, tingkat kedatangan kendaraan (λ) dihitung sebesar 580 kendaraan/jam.

Perhitungan *exit level*

Tempat : Gerbang Tol Binjai

Tanggal/Hari : 23 Januari 2026/Jumat

Waktu : 06.00-19.00 WIB

Tabel 4.2: Data survei tingkat kedatangan keluar Gerbang Tol Binjai

No	Rentang Waktu	Jumlah Kendaraan
1	06.00-09.00	405
2	09.00-12.00	501
3	12.00-15.00	584
4	15.00-19.00	829
	TOTAL	2319

Besarnya tingkat kedatangan kendaraan (λ) dihitung sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{\text{Total kendaraan}}{\text{Jumlah interval}}$$

$$\lambda = \frac{2319}{4} = 579,7 \approx 580 \text{ kendaraan/jam}$$

4.2 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan Entrance (Service Time)

Data waktu pelayanan diperoleh melalui survei lapangan pada Gerbang Tol Binjai dengan melakukan pengamatan langsung terhadap waktu transaksi pada masing-masing gardu masuk (*entrance*). Gerbang Tol Binjai memiliki tiga gardu masuk yang beroperasi, yaitu Gardu 01, Gardu 03, dan Gardu 05.

Tabel 4.3: Data survei perhitungan waktu pelayanan di Gerbang Tol Binjai

Gardu	Waktu Pelayanan Rata – Rata (dtk)
01	04.43
03	05.25
05	04.11

Berdasarkan waktu pelayanan yang diperoleh dari hasil survei lapangan, perlu dilakukan perhitungan terhadap waktu pelayanan ideal pada gerbang tol sebagai dasar untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan kinerja pelayanan. Waktu

pelayanan ideal (WP) pada suatu gerbang tol ditentukan berdasarkan arus lalu lintas terbesar (λ) yang dilayani. Dengan mempertimbangkan jumlah gardu masuk yang tersedia, yaitu sebanyak 3 gardu, maka waktu pelayanan ideal pada Gerbang Tol Binjai dapat dihitung dan ditentukan sebagai berikut:

Diketahui:

Tingkat kedatangan kendaraan (λ) = 1218 kendaraan/jam

Jumlah gardu masuk (N) = 3

$$r = \frac{\lambda}{N}$$

$$r = \frac{1218}{3}$$

Diperoleh:

$r = 406$ kendaraan/jam/gardu

Jadi waktu pelayanan (WP) yang dibutuhkan adalah

$$WP = \frac{3600}{406}$$

$WP = 8,86 \approx 8$ detik/kendaraan

Berdasarkan tingkat kedatangan sebesar 1.218 kendaraan/jam, waktu pelayanan kondisi ideal di Gerbang Tol Binjai adalah 8 detik/kendaraan, sedangkan hasil survei diperoleh waktu pelayanan maksimal 5 detik/kendaraan

4.2.1 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan Exit (Service time)

Data waktu pelayanan diperoleh melalui survei lapangan pada Gerbang Tol Binjai dengan melakukan pengamatan langsung terhadap waktu transaksi pada masing-masing gardu keluar (*exit*). Gerbang Tol Binjai memiliki dua gardu masuk yang beroperasi, yaitu Gardu 04 dan Gardu 06.

Tabel 4.4: Data survei perhitungan waktu pelayanan di Gerbang Tol Binjai

Gardu	Waktu Pelayanan Rata – Rata (dtk)
04	05.56
06	07.27

Berdasarkan waktu pelayanan yang diperoleh dari hasil survei lapangan, perlu dilakukan perhitungan terhadap waktu pelayanan ideal pada gerbang tol sebagai dasar untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan kinerja pelayanan. Waktu pelayanan ideal (WP) pada suatu gerbang tol ditentukan berdasarkan arus lalu lintas terbesar (λ) yang dilayani. Dengan mempertimbangkan jumlah gardu keluar yang tersedia, yaitu sebanyak 2 gardu, maka waktu pelayanan ideal pada Gerbang Tol Binjai dapat dihitung dan ditentukan sebagai berikut:

Tingkat kedatangan kendaraan (λ) = 580 kendaraan/jam

Jumlah gardu masuk (N) = 2

$$r = \frac{\lambda}{N}$$

$$r = \frac{580}{2}$$

Diperoleh:

$r = 290$ kendaraan/jam

Jadi waktu pelayanan (WP) yang dibutuhkan adalah

$$WP = \frac{3600}{290}$$

$WP = 12,41 \approx 12$ detik/kendaraan

Berdasarkan tingkat kedatangan keluar sebesar 580 kendaraan/jam, waktu pelayanan kondisi ideal di Gerbang Tol Binjai adalah 12 detik/kendaraan, sedangkan hasil survei diperoleh waktu pelayanan maksimal 7 detik/kendaraan.

4.3 Perhitungan Jumlah Pintu Gerbang (Gardu)

Setelah diperoleh nilai tingkat kedatangan kendaraan (λ) dan waktu pelayanan, selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah gardu yang dibutuhkan di Gerbang Tol Binjai. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui apakah jumlah gardu yang tersedia telah mampu melayani arus kendaraan secara optimal.

4.3.1 Gardu Tol Masuk

1. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 4 detik/kendaraan dengan

$\lambda = 1218$ kendaraan/jam ; WP = 4 detik

$$\mu = \frac{3600}{WP}$$

$$= \frac{3600}{4} = 900$$

$$N = 3$$

$$\rho = \frac{\lambda N}{\mu} < 1$$

$$= \frac{1218/3}{900} = 0,45 < 1$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 3$ gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 4 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

2. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 5 detik/kendaraan dengan $\lambda = 1218$ kendaraan/jam ; WP = 5 detik

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{5} = 720 \end{aligned}$$

$$N = 3$$

$$\rho = \frac{\lambda N}{\mu} < 1$$

$$= \frac{1218/3}{720} = 0,56 < 1$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 3$ gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 5 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

3. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 6 detik/kendaraan dengan $\lambda = 1218$ kendaraan/jam ; WP = 6 detik

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{6} = 600 \end{aligned}$$

$$N = 3$$

$$\rho = \frac{\lambda N}{\mu} < 1$$

$$= \frac{1218/3}{600} = 0,67 < 1$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 3 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

4. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 7 detik/kendaraan dengan

$\lambda = 1218$ kendaraan/jam ; WP = 7 detik

$$\mu = \frac{3600}{WP}$$

$$= \frac{3600}{7} = 514$$

$$N = 3$$

$$\rho = \frac{\lambda N}{\mu} < 1$$

$$= \frac{1218/3}{514} = 0,78 < 1$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 3 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 7 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

5. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 8 detik/kendaraan dengan

$\lambda = 1218$ kendaraan/jam ; WP = 8 detik

$$\mu = \frac{3600}{WP}$$

$$= \frac{3600}{8} = 450$$

$$N = 3$$

$$\rho = \frac{\lambda N}{\mu} < 1$$

$$= \frac{1218/3}{450} = 0,87 < 1$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 3$ gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 8 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

6. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 9 detik/kendaraan dengan $\lambda = 1218$ kendaraan/jam ; WP = 9 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{9} = 400\end{aligned}$$

$$N = 3$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{1218/3}{400} = 1,01 > 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho > 1$, berarti akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang sangat panjang adalah sebagai berikut:

$$\frac{1218/N}{360} < 1$$

$$N > 1,01$$

$$N = 4$$

- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 9 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 4 gardu tol.

4.3.2 Gardu Tol Keluar

1. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 4 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 4 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{4} = 900\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{900} = 0,32 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 2 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 4 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

2. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 5 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 5 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{5} = 720\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{720} = 0,40 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 2 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 5 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

3. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 6 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 6 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{6} = 600\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{600} = 0,48 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 2$ gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

4. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 7 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 7 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{\text{WP}} \\ &= \frac{3600}{7} = 514\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{514} = 0,56 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 2$ gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol

5. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 8 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 8 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{\text{WP}} \\ &= \frac{3600}{8} = 450\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{450} = 0,64 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 2$ gardu tol.

- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol

6. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 9 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 9 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{9} = 400\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{400} = 0,72 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 2 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol

7. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 10 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 10 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{10} = 360\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{360} = 0,80 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 2 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol

8. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 11 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 11 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{\text{WP}} \\ &= \frac{3600}{11} = 327\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{327} = 0,88 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 2$ gardu tol.
- Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol

9. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 12 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 12 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{\text{WP}} \\ &= \frac{3600}{12} = 300\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{580/2}{300} = 0,96 < 1\end{aligned}$$

Dengan $\rho < 1$, berarti tidak akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah $N = 2$ gardu tol.
- Dengan waktu pelayanan (WP) 6 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol

10. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 13 detik/kendaraan dengan $\lambda = 580$ kendaraan/jam ; WP = 13 detik

$$\mu = \frac{3600}{\text{WP}}$$

$$= \frac{3600}{13} = 277$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{580/2}{277} = 1,04 > 1$$

Dengan $\rho > 1$, berarti akan terjadi antrian kendaraan yang panjang, maka dengan kondisi tersebut didapat:

- a. Maka jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan yang ada sehingga tidak akan terjadi antrian yang sangat panjang adalah sebagai berikut:

$$\frac{580/N}{277} > 1$$

$$N > 1,04$$

$$N = 3$$

- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 13 detik/kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

4.4 Perhitungan Antrian Pada Pintu Tol Masuk dan Keluar (Antrian FIFO)

Analisis ini menggunakan tingkat kedatangan kendaraan (λ), kapasitas pelayanan (μ), dan jumlah gardu (N) untuk memperoleh karakteristik antrian, yaitu jumlah kendaraan dalam sistem ($\bar{n}$), jumlah kendaraan dalam antrian ($\bar{q}$), waktu dalam sistem ($\bar{d}$), dan waktu tunggu dalam antrian ($\bar{w}$).

4.4.1 Pintu Tol Masuk

1. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 4 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 900$$

$$\lambda = 1218$$

$$N = 3$$

$$\bar{n} = \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)}$$

$$= \frac{\frac{1218}{3}}{900 - \left(\frac{1218}{3}\right)}$$

$$= 0.82 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \\ &= \frac{(\frac{1218}{3})^2}{900(900 - (\frac{1218}{3}))} \\ &= 0,37 \approx 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\frac{\lambda}{N})} \times 3600 \\ &= \frac{1}{900 - (\frac{1218}{3})} \times 3600 \\ &= 7,28 \approx 7 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\frac{\lambda}{N})}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \times 3600 \\ &= \frac{(\frac{1218}{3})}{900(900 - (\frac{1218}{3}))} \times 3600 \\ &= 3,28 \approx 3 \text{ detik}\end{aligned}$$

2. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 5 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 720$$

$$\lambda = 1218$$

$$N = 3$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\frac{\lambda}{N})} \\ &= \frac{\frac{1218}{3}}{720 - (\frac{1218}{3})} \\ &= 1,29 \approx 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \\ &= \frac{(\frac{1218}{3})^2}{720(720 - (\frac{1218}{3}))} \\ &= 0,72 \approx 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

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

$$= \frac{1}{720 - \left(\frac{1218}{3}\right)} \times 3600$$

$$= 11,46 \approx 11 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{1218}{3}\right)}{720\left(720 - \left(\frac{1218}{3}\right)\right)} \times 3600$$

$$= 6,46 \approx 6 \text{ detik}$$

3. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 6 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 600$$

$$\lambda = 1218$$

$$N = 3$$

$$\bar{n} = \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)}$$

$$= \frac{\frac{1218}{3}}{600 - \left(\frac{1218}{3}\right)}$$

$$= 2,09 \approx 2 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{1218}{3}\right)^2}{600\left(600 - \left(\frac{1218}{3}\right)\right)}$$

$$= 1,41 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{600 - \left(\frac{1218}{3}\right)} \times 3600$$

$$= 18,55 \approx 18 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{1218}{3}\right)}{600\left(600 - \left(\frac{1218}{3}\right)\right)} \times 3600$$

$$= 12,55 \approx 13 \text{ detik}$$

4. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 7 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 514$$

$$\lambda = 1218$$

$$N = 3$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \\ &= \frac{\frac{1218}{3}}{514 - \left(\frac{1218}{3}\right)} \\ &= 3,75 \approx 4 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right))} \\ &= \frac{\left(\frac{1218}{3}\right)^2}{514\left(514 - \left(\frac{1218}{3}\right)\right)} \\ &= 2,96 \approx 3 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{514 - \left(\frac{1218}{3}\right)} \times 3600 \\ &= 33,33 \approx 33 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)}{\mu(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right))} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{1218}{3}\right)}{514\left(514 - \left(\frac{1218}{3}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 26,32 \approx 26 \text{ detik}\end{aligned}$$

5. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 8 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 450$$

$$\lambda = 1218$$

$$N = 3$$

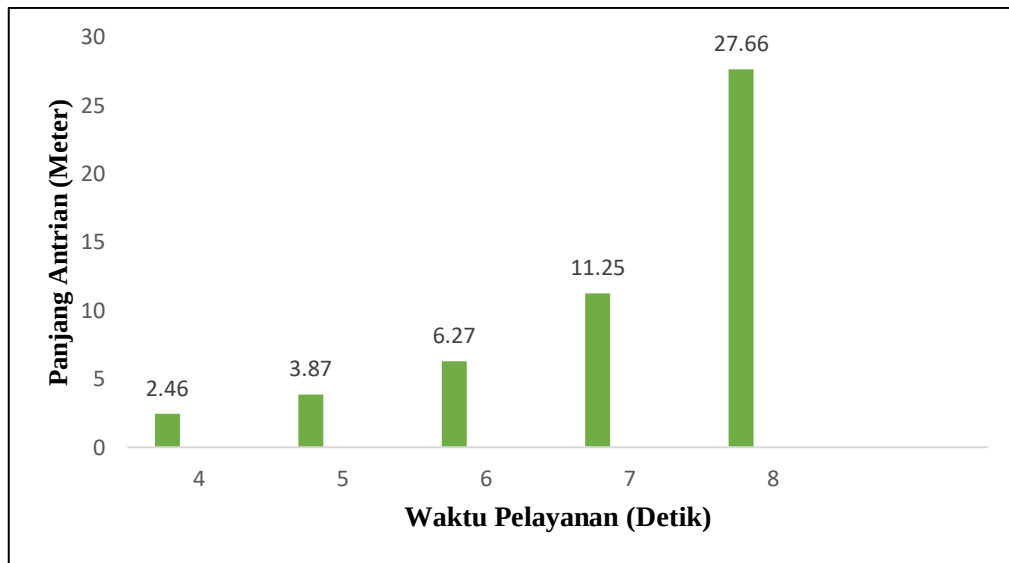
$$\bar{n} = \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\frac{1218}{3}}{450 - \left(\frac{1218}{3}\right)} \\
&= 9,22 \approx 9 \text{ kendaraan} \\
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \\
&= \frac{\left(\frac{1218}{3}\right)^2}{450\left(450 - \left(\frac{1218}{3}\right)\right)} \\
&= 8,32 \approx 8 \text{ kendaraan} \\
\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\frac{\lambda}{N})} \times 3600 \\
&= \frac{1}{450 - \left(\frac{1218}{3}\right)} \times 3600 \\
&= 81,81 \approx 82 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\frac{\lambda}{N})}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \times 3600 \\
&= \frac{\left(\frac{1218}{3}\right)}{450\left(450 - \left(\frac{1218}{3}\right)\right)} \times 3600 \\
&= 73,81 \approx 74 \text{ detik}
\end{aligned}$$

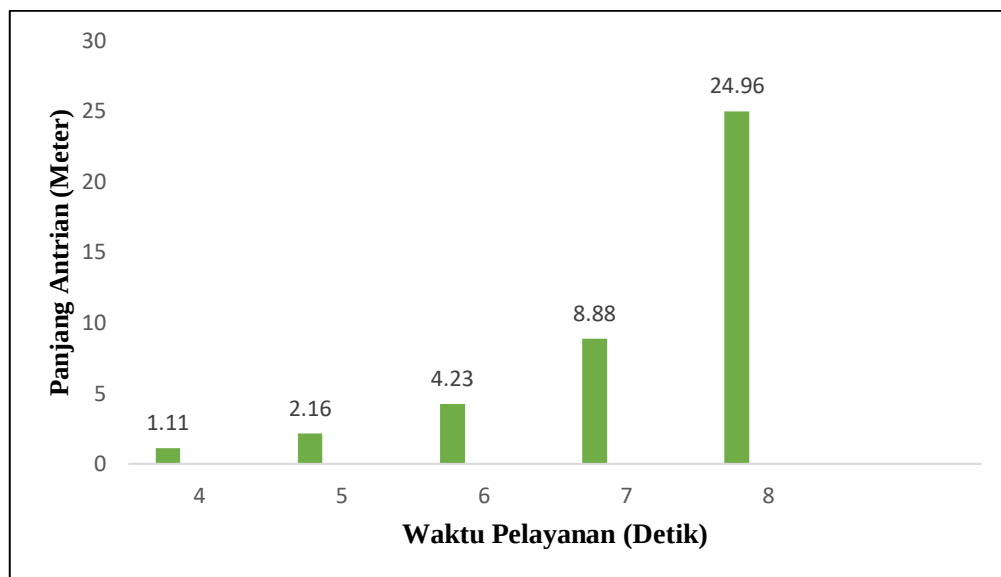
Tabel 4.5 Rekapitulasi jumlah kendaraan masuk pada 3 pintu tol

N	Kend /jam μ	Kendaraan $\bar{n}$	Dalam meter $\bar{n} \cdot 3$	Kendaraan $\bar{q}$	Dalam meter $\bar{q} \cdot 3$	Detik $\bar{d}$	Detik $\bar{w}$
3	900	0,82	2,46	0,37	1,11	7,28	3,28
3	720	1,29	3,87	0,72	2,16	11,46	6,46
3	600	2,09	6,27	1,41	4,23	18,55	12,55
3	514	3,75	11,25	2,96	8,88	33,33	26,32
3	450	9,22	27,66	8,32	24,96	81,81	73,81

Grafik 4.1 dan Grafik 4.2 (untuk gardu masuk) menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu pelayanan yang digunakan, semakin panjang rata-rata antrian kendaraan ($\bar{n}$) dan panjang antrian ($\bar{q}$). Sebaliknya, semakin kecil waktu pelayanan, semakin kecil pula panjang antrian kendaraan.

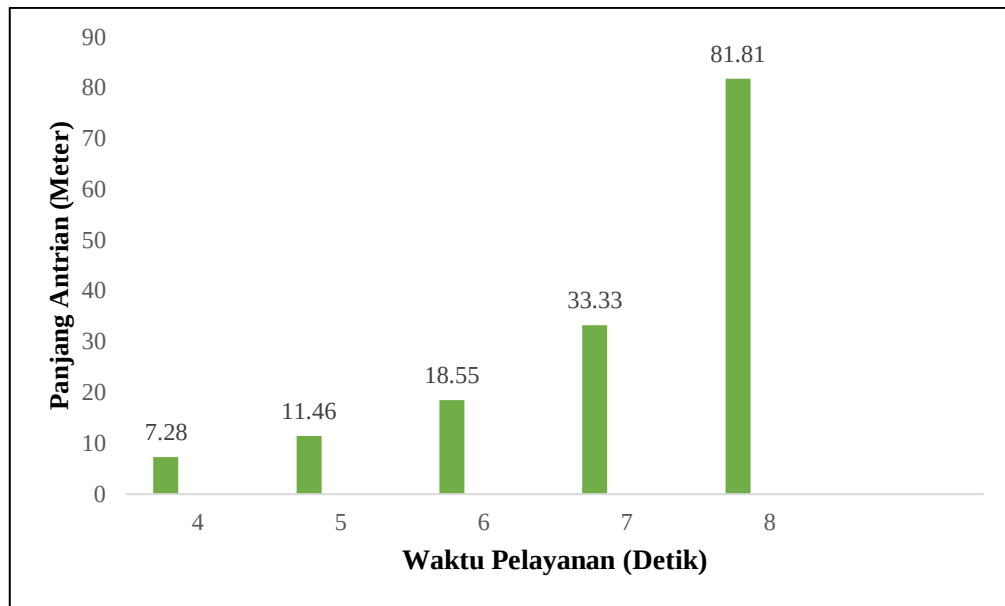


Gambar 4.1: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{n}$)

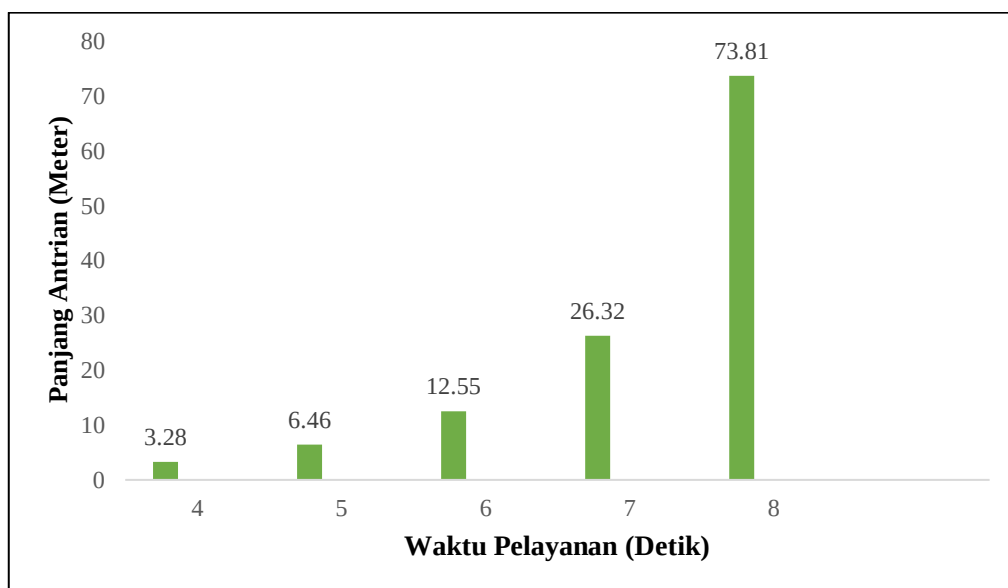


Gambar 4.2: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{q}$)

Grafik 4.3 dan Grafik 4.4 (untuk gardu masuk) menunjukkan bahwa semakin besar waktu pelayanan, semakin besar pula waktu antrian ($\bar{d}$ dan $\bar{w}$). Sebaliknya, semakin kecil waktu pelayanan, semakin kecil pula waktu antrian yang terjadi.



Gambar 4.3: Grafik hubungan waktu pelayanan terhadap waktu tunggu ($\bar{d}$)



Gambar 4.4: Grafik hubungan waktu pelayanan terhadap waktu antrian ($\bar{w}$)

4.4.2 Pintu Tol Keluar

1. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 4 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 900$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \\ &= \frac{\frac{580}{2}}{900 - \left(\frac{580}{2}\right)} \\ &= 0.47 \approx 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right))} \\ &= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)^2}{900\left(900 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \\ &= 0,15 \approx 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{900 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 5,90 \approx 6 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)}{\mu(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right))} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{900\left(900 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 1,90 \approx 2 \text{ detik}\end{aligned}$$

2. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 5 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 720$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \\ &= \frac{\frac{580}{2}}{720 - \left(\frac{580}{2}\right)} \\ &= 0,67 \approx 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)^2}{720\left(720 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)}$$

$$= 0,27 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{720 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 8,37 \approx 8 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{720\left(720 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600$$

$$= 3,37 \approx 3 \text{ detik}$$

3. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 6 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 600$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{580}{2}}{600 - \left(\frac{580}{2}\right)}$$

$$= 0,93 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)^2}{600\left(600 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)}$$

$$= 0,45 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{600 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 11,61 \approx 12 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}
\bar{w} &= \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \times 3600 \\
&= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{600\left(600 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600 \\
&= 5,61 \approx 6 \text{ detik}
\end{aligned}$$

4. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 7 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 514$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \\
&= \frac{\frac{580}{2}}{514 - \left(\frac{580}{2}\right)} \\
&= 1,29 \approx 1 \text{ kendaraan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \\
&= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)^2}{514\left(514 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \\
&= 0,73 \approx 1 \text{ kendaraan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{d} &= \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{514 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 16,07 \approx 16 \text{ detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{w} &= \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \times 3600 \\
&= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{514\left(514 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600 \\
&= 9,06 \approx 9 \text{ detik}
\end{aligned}$$

5. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 8 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 450$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \\ &= \frac{\frac{580}{2}}{450 - \left(\frac{580}{2}\right)} \\ &= 1,81 \approx 2 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \\ &= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)^2}{450\left(450 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \\ &= 1,16 \approx 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{450 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 22,5 \approx 23 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)}{\mu\left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{450\left(450 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 14,5 \approx 15 \text{ detik}\end{aligned}$$

6. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 9 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 400$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \\ &= \frac{\frac{580}{2}}{400 - \left(\frac{580}{2}\right)}\end{aligned}$$

$$= 2,63 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(\frac{580}{2})^2}{400(400 - (\frac{580}{2}))}$$

$$= 1,91 \approx 2 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{400 - (\frac{580}{2})} \times 3600$$

$$= 32,72 \approx 33 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \frac{(\frac{\lambda}{N})}{\mu(\mu - (\frac{\lambda}{N}))} \times 3600$$

$$= \frac{(\frac{580}{2})}{400(400 - (\frac{580}{2}))} \times 3600$$

$$= 23,72 \approx 24 \text{ detik}$$

7. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 10 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 360$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{580}{2}}{360 - (\frac{580}{2})}$$

$$= 4,14 \approx 4 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(\frac{580}{2})^2}{360(360 - (\frac{580}{2}))}$$

$$= 3,33 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{360 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 51,42 \approx 51 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{360\left(360 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600$$

$$= 41,48 \approx 41 \text{ detik}$$

8. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 11 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 327$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

$$\bar{n} = \frac{\lambda/N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)}$$

$$= \frac{\frac{580}{2}}{327 - \left(\frac{580}{2}\right)}$$

$$= 7,83 \approx 8 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)^2}{327\left(327 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)}$$

$$= 6,95 \approx 7 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{327 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 97,29 \approx 97 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{327\left(327 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600$$

$$= 86,28 \approx 86 \text{ detik}$$

9. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 12 detik/kendaraan

Diketahui:

$$\mu = 300$$

$$\lambda = 580$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda N}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \\ &= \frac{\frac{580}{2}}{300 - \left(\frac{580}{2}\right)} \\ &= 29 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right))} \\ &= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)^2}{300\left(300 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \\ &= 28,03 \approx 28 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

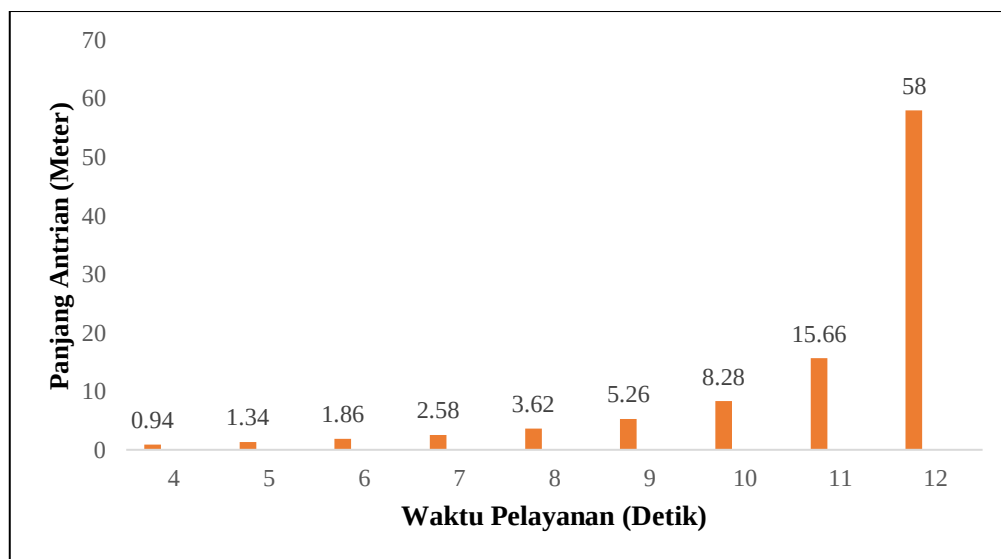
$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{300 - \left(\frac{580}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 360 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)}{\mu(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right))} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{580}{2}\right)}{300\left(300 - \left(\frac{580}{2}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 348 \text{ detik}\end{aligned}$$

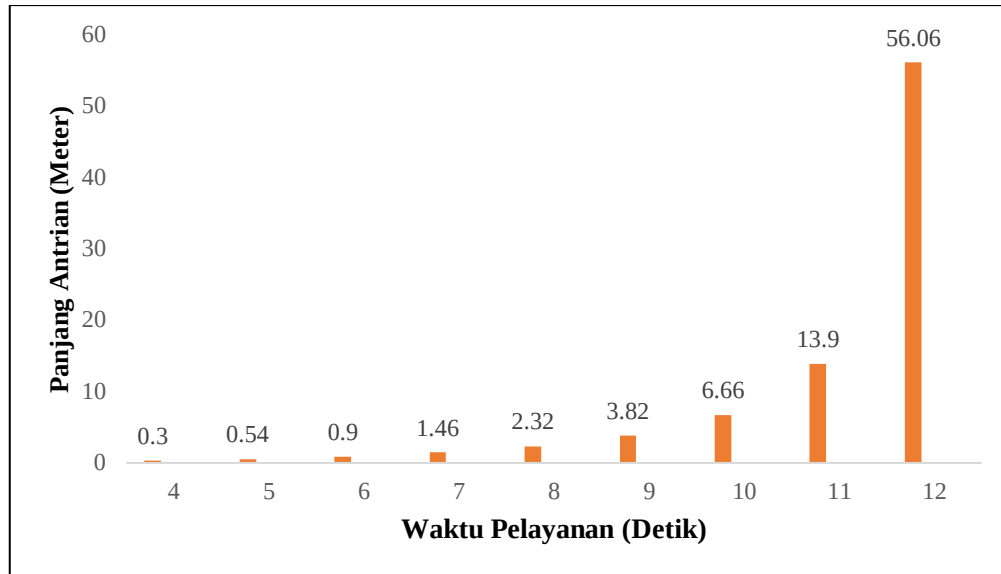
Tabel 4.6 Rekapitulasi jumlah kendaraan keluar pada 2 pintu tol

N	Kend /jam μ	Kendaraan $\bar{n}$	Dalam meter $\bar{n} \cdot 2$	Kendaraan $\bar{q}$	Dalam meter $\bar{q} \cdot 2$	Detik $\bar{d}$	Detik $\bar{w}$
2	900	0,47	0,94	0,15	0,3	5,9	1,9
2	720	0,67	1,34	0,27	0,54	8,37	3,37
2	600	0,93	1,86	0,45	0,9	11,61	5,61
2	514	1,29	2,58	0,73	1,46	16,07	9,06
2	450	1,81	3,62	1,16	2,32	22,5	14,5
2	400	2,63	5,26	1,91	3,82	32,72	23,72
2	360	4,14	8,28	3,33	6,66	51,42	41,48
2	327	7,83	15,66	6,95	13,9	97,29	86,28
2	300	29	58	28,03	56,06	360	348

Grafik 4.5 dan Grafik 4.6 (untuk gardu keluar) menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu pelayanan yang digunakan, semakin panjang rata-rata antrian kendaraan ($\bar{n}$) dan panjang antrian ($\bar{q}$). Sebaliknya, semakin kecil waktu pelayanan, semakin kecil pula panjang antrian kendaraan.

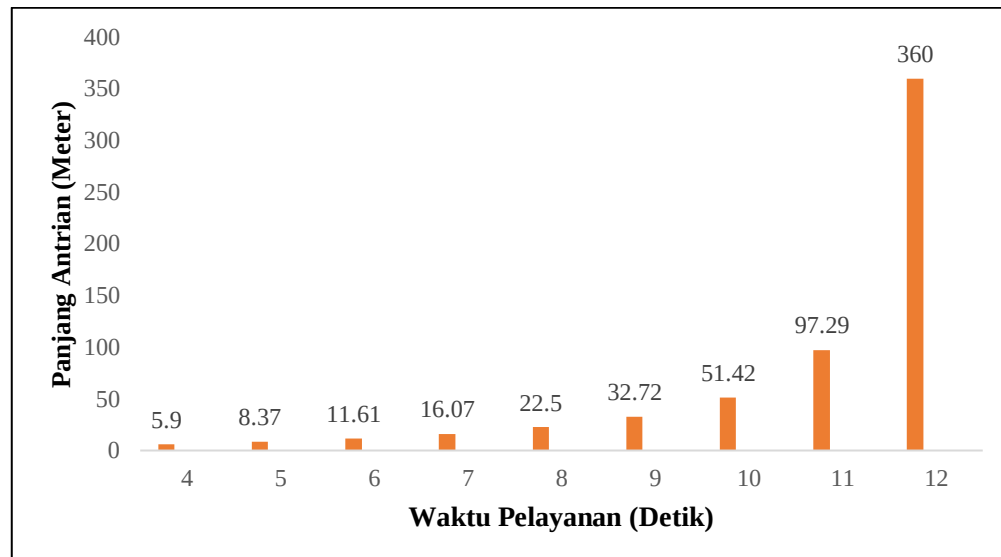


Gambar 4.5: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{n}$)

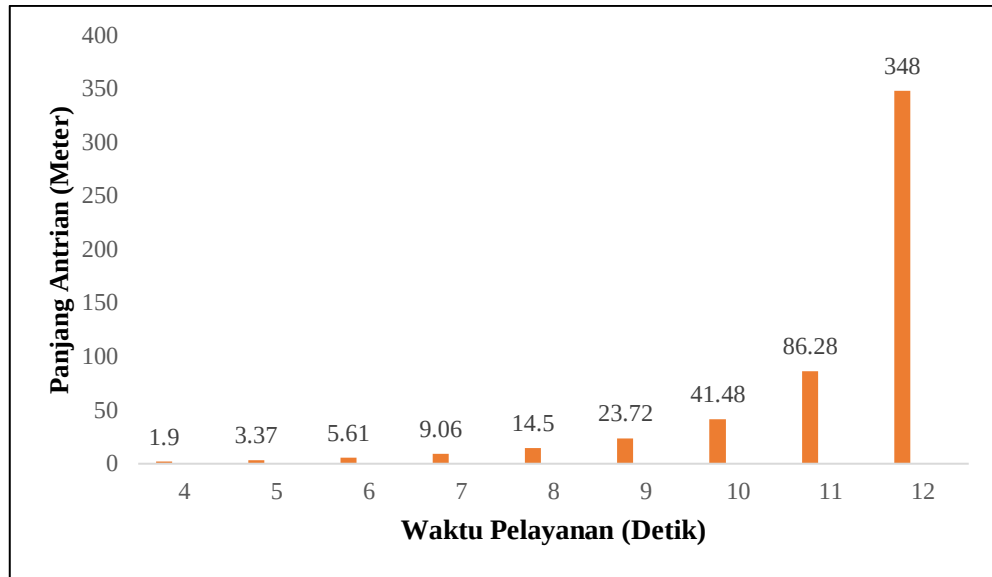


Gambar 4.6: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan terhadap panjang antrian ($\bar{q}$)

Grafik 4.7 dan Grafik 4.8 (untuk gardu keluar) menunjukkan bahwa semakin besar waktu pelayanan, semakin besar pula waktu antrian ($\bar{d}$ dan $\bar{w}$). Sebaliknya, semakin kecil waktu pelayanan, semakin kecil pula waktu antrian yang terjadi.



Gambar 4.7: Grafik hubungan waktu pelayanan terhadap waktu tunggu ($\bar{d}$)



Gambar 4.8: grafik hubungan waktu pelayanan terhadap waktu antrian ($\bar{w}$)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian selama satu minggu, tingkat kedatangan kendaraan tertinggi di gardu masuk Gerbang Tol Binjai terjadi pada hari Kamis 22 Januari 2026, pukul 06.00-19.00 WIB, sebesar 1.218 kendaraan/jam dengan waktu pelayanan 5 detik/kendaraan. Sementara itu, tingkat kendaraan keluar tertinggi di gardu keluar terjadi pada hari Jumat 23 Januari 2026, pukul 06.00–19.00 WIB, sebesar 580 kendaraan/jam dengan waktu pelayanan 7 detik/kendaraan. Waktu pelayanan di Gerbang Tol Binjai adalah 5 detik/kendaraan pada gardu masuk dan 7 detik/kendaraan pada gardu keluar. Hasil ini memenuhi standar pelayanan minimal (SPM) sistem tertutup, yaitu ≤ 7 detik/kendaraan untuk gardu masuk dan ≤ 11 detik/kendaraan untuk gardu keluar.
2. Dengan tingkat kedatangan gardu masuk 406 kendaraan/jam/gardu maka kapasitas Gerbang Tol Binjai masih memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol sistem tertutup, yaitu < 500 kendaraan/jam/gardu dan gardu tol keluar 290 kendaraan/jam/gardu maka kapasitas Gerbang Tol Binjai masih memenuhi persyaratan Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol sistem tertutup, yaitu < 300 kendaraan/jam/gardu.
3. Berdasarkan analisis terori antrian *First In First Out* (FIFO), panjang antrian gardu masuk sebesar 2,16 kendaraan (2 kendaraan) dan gardu keluar sebesar 1,46 kendaraan (1 kendaraan). Hasil tersebut masih memenuhi standar pelayanan minimal (SPM) jalan tol, kinerja pelayanan Gerbang Tol Binjai tergolong baik dan mampu melayani arus kendaraan secara efektif.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat saya berikan sebagai upaya peningkatan kinerja Gerbang Tol Binjai adalah sebagai berikut:

1. Pengelola Gerbang Tol Binjai disarankan untuk meningkatkan pemeliharaan dan pemeriksaan rutin terhadap peralatan transaksi elektronik, khususnya mesin pembaca kartu e-toll. Saran ini diberikan karena hasil survei menunjukkan masih adanya kendala berupa kartu e-toll yang tidak terbaca oleh sensor mesin. Dengan adanya pemeliharaan yang lebih optimal, diharapkan proses transaksi dapat berlangsung lebih lancar.
2. Bagi pengguna jalan tol, disarankan untuk memastikan saldo kartu e-toll mencukupi sebelum memasuki Gerbang Tol Binjai. Pengisian saldo dapat dilakukan terlebih dahulu melalui aplikasi perbankan pada *smartphone* maupun *minimarket*. Selain itu, pengguna juga perlu memeriksa saldo kartu e-toll pada layar pembaca kartu (*contactless reader*) saat memasuki gerbang tol sehingga dapat menyesuaikan saldo yang tersedia dengan perjalanan yang akan dilakukan.
3. Pengguna yang mengetahui saldo e-tollnya tidak mencukupi sebaiknya langsung menuju gardu top up dan tidak memotong antrian dengan masuk ke gardu cukup saldo, karena hal tersebut dapat menyebabkan antrian yang panjang, serta merugikan pengguna jalan lainnya yang sudah mengantri dengan tertib.

DAFTAR PUSTAKA

- Aseha, P., Rahmi, D., Yuniati, S., dan Kurniati, A. (2023). Analisis Sistem Antrian Untuk Meningkatkan Efektifitas Pelayanan pada Rumah Sakit Pekanbaru. 1, 35–43.
- Bina Marga Kementrian PUPR. (2025). *Standar Desain Gerbang Tol*.
- Budiharjo, A., dan Margarani, S. R. (2019). Kajian Penerapan Multi Lane Free Flow (MLFF) di Jalan Tol Indonesia. *Keselamatan Transportasi Jalan*, 1–14.
- Chandrapradja, M. A. K. H., dan Susilo, B. H. (2023). Penilaian Terhadap Kemampuan Tampung dan Waktu Pelayanan di Gerbang Tol Tanjung Duren. *01(02)*, 317–323.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. (2009) *Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol*. 007.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2023). Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 Nomor 09/P/BM/2023. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Fauzi, M. F., & Rahmi, A. N. (2021). Penerapan Metode First In First Out (Fifo) Dalam Sistem Antrian Pelayanan Administrasi Mahasiswa (Studi Kasus : Daak Universitas Amikom Yogyakarta). *Jurnal Manajemen Informatika & Komputerisasi Akuntansi*, 5(2), 183–188. <https://doi.org/https://doi.org/10.46880/jmika.Vol5No2.pp183-188>
- Heizer, Jay and Render, Barry. (2001) *Operation Management*. 6th Ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc.,
- Holiansyah, dan Mahendra, M. O. (2025). Analisis Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Teori Antrian dan Proyeksi Volume Lalu Lintas. *Konstruksi*, 23 No. 2(2020), 92–103. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.23-2.2432>.
- Karyana, I. M., Yanta, I. N. A. T., & Pamungkas, T. H. (2024). Analisis Kinerja Ruas Jalan Tukad Gangga Dan Jalan Tukad Yeh Aya Menggunakan Pkji 2023. *Teknik Gradien*, 16(02), 8–22. https://doi.org/https://doi.org/10.47329/teknik_gradien.v16i02.1307
- Lestari, S. I., & Suseno, A. (2021). Analisis Antrian Menggunakan Metode Single Channel Single Phase Pada Klinik Adinda. *Ilmiah Indonesia*, 6(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v6i7.3558>
- Manik, R. S., Sirait, D. E., & Sianturi, R. (2024). Pengoptimalan Pelayanan pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) Menggunakan Model Antrian Multiple Channel Single Phase. *Buletin Keterlibatan Masyarakat*, 4(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.51278/bce.v4i2.1126>.

- Milenkovic, M., Glavic, D., dan Mladenovic, M. N. (2018). Decision-Support Framework for Selecting the Optimal Road Toll Collection System. *Advanced Transportation*, 2018, 16.
<https://doi.org/10.1155/2018/4949565>.
- Nadjam, A., Nurrifai, dan Adyatmoko, A. (2013). *Optimalisasi Kapasitas Gerbang Tol Semanggi I dan Semanggi II Terhadap Panjang Antrian Kendaraan*. 12(1).
- Onuneng, H. B., Wungguli, D., Nashar, L. O., Djakaria, I., Nuha, A. R., dan Yahya, N. I. (2025). Analisis Model Pengukuran Kinerja Sistem Antian dan Pengoptimalan Waktu Tunggu Pada Pembuatan Kartu Tanda Penduduk. *Riset Dan Aplikasi Matematika (JRAM)*, 9(2), 219–235.
- Pane, F. P., Rompis, S. Y. R., dan Timboeleng, J. A. (2018). Analisa perbandingan panjang antrian menggunakan teori antrian dan analisa gelombang kejut di loket keluar kendaraan kawasan megamas manado. *Sipil Statik*, 6(2), 101–112.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2024 tentang Jalan Tol*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 85.
- PUPR. (2020). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020*.
- PT Jasa Marga (Persero) Tbk Cabang Purbaleunyi. (2018). Materi Pelatihan Kepala Shift Gerbang Tol.
- Raharjo, E. P., Adidana, I. K. S. P., Haryoto, K., & Rore, J. B. (2023). ANALYSIS OF TOLL PAYMENT BASED ON SINGLE LANE FREE FLOW AT THE. *Teknologi Transportasi Dan Logistik*, 4(2), 213–218.
<https://doi.org/https://doi.org/10.52920/jttl.v4i2.209>.
- Setiawan, H., Tridjono, R., & Mulyadi. (2025). *Hak Konsumen Sebagai Pengguna Jalan Tol Dengan Aturan Transaksi E-Toll*. 4, 1448–1463.
- Sufanir, A. M. S., Shaumi, D. R., & Siregar, V. R. A. (2022). Pemeriksaan Standar Pelayanan Gerbang Tol Pasteur 1 Ditinjau dari kecepatan transaksi. *Rekayasa Sipil*, 18(3), 194–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jrs.18.3.194-201.2022>.
- Suryawan, K. A., Kader, I. M. S., Triadi, I. N. S., dan Sudiasa, I. W. (2015). Evaluasi Kapasitas dan Waktu Pelayanan Pada Gerbang Tol Nusa Dua, Badung-Bali. *LOGIC*, 15(1), 35–38.
- Susanto, I., Studyana, M. D., dan Astor, Y. (2020). *Analisis Kapasitas Jalan Menggunakan Pendekatan Geospasial (Wilayah Studi: Bandung Tengah)*. 5, 31–44.
- Syaiful, S., Maulani, D., Megawati, D., Gibran, R., dan Wardhani, A. K. (2025). Engineering Model On Traffic Volume At Bocimi Toll Gate. *Applied Engineering Science*, 23(1). <https://doi.org/10.5937/jaes0-54055>.

- Tamin, O. Z. (2008). *Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi*. Bandung: Penerbit ITB
- Tanjung, L. E., Al-Kahfi, S., & Gultom, M. H. (2026). *Evaluasi Kinerja Pelayanan Gerbang Tol Marelan Berdasarkan Model Antrian First In First Out (FIFO)*. 118–127.
<https://doi.org/https://doi.org/10.70340/jirsi.v5i1.319>
- Yifter, T., Mengstenew, M., Yoseph, S., dan Moges, W. (2023). Modeling and simulation of queuing system to improve service quality at commercial bank of Ethiopia. *Cogent Engineering*, 10(2), 1–22.
<https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2274522>

LAMPIRAN

Data Gardu Masuk

Tabel L.1: Data survei Senin, 19 Januari 2026

PUKUL	GARDU MASUK 01					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	99					99
07.00-08.00	186					186
08.00-09.00	150					150
09.00-10.00	145					145
10.00-11.00	154					154
11.00-12.00	162					162
12.00-13.00	171					171
13.00-14.00	179					179
14.00-15.00	147					147
15.00-16.00	148					148
16.00-17.00	145					145
17.00-18.00	165					165
18.00-19.00	143					143
TOTAL						1994

PUKUL	GARDU MASUK 03					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	40	8	16	0	0	64
07.00-08.00	116	18	18	3	1	156
08.00-09.00	43	26	25	3	0	97
09.00-10.00	62	38	23	2	0	125
10.00-11.00	53	33	20	4	2	112
11.00-12.00	35	23	13	1	1	73
12.00-13.00	40	26	15	0	2	83
13.00-14.00	25	18	9	3	3	58
14.00-15.00	60	43	19	5	0	127
15.00-16.00	76	46	20	6	1	149
16.00-17.00	91	37	17	3	1	149
17.00-18.00	101	44	7	1	2	155
18.00-19.00	68	28	4	0	1	101
TOTAL						1449

PUKUL	GARDU MASUK 05					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	30	8	12	0	0	50
07.00-08.00	59	12	14	2	0	87
08.00-09.00	25	27	22	3	1	78
09.00-10.00	44	41	18	4	1	108
10.00-11.00	49	47	19	4	1	120
11.00-12.00	54	53	18	5	0	130
12.00-13.00	59	58	19	4	1	143
13.00-14.00	64	64	19	5	1	153
14.00-15.00	43	41	14	1	0	99
15.00-16.00	53	27	12	3	1	115
16.00-17.00	56	30	13	5	0	104
17.00-18.00	60	33	11	0	1	105
18.00-19.00	35	17	10	0	0	62
TOTAL						1354

Data Gardu Masuk

Tabel L.2: Data survei Selasa, 20 Januari 2026

PUKUL	GARDU MASUK 01					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	89					89
07.00-08.00	143					143
08.00-09.00	146					146
09.00-10.00	142					142
10.00-11.00	144					144
11.00-12.00	142					142
12.00-13.00	149					149
13.00-14.00	156					156
14.00-15.00	147					147
15.00-16.00	147					147
16.00-17.00	147					147
17.00-18.00	161					161
18.00-19.00	141					141
TOTAL						1854

PUKUL	GARDU MASUK 03					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	37	7	10	0	1	55
07.00-08.00	90	17	16	4	2	129
08.00-09.00	60	23	27	2	1	113
09.00-10.00	50	25	15	1	0	91
10.00-11.00	68	27	14	2	1	112
11.00-12.00	49	21	18	4	2	94
12.00-13.00	50	23	22	5	3	103
13.00-14.00	51	25	11	3	3	93
14.00-15.00	72	36	17	1	1	127
15.00-16.00	83	40	20	1	2	146
16.00-17.00	94	29	12	1	2	138
17.00-18.00	102	41	7	1	1	152
18.00-19.00	71	28	4	0	0	103
TOTAL						1456

PUKUL	GARDU MASUK 05					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	28	9	11	0	1	49
07.00-08.00	45	10	12	20	2	89
08.00-09.00	38	28	18	2	1	87
09.00-10.00	41	31	22	3	1	98
10.00-11.00	43	42	20	3	2	110
11.00-12.00	45	43	13	5	0	106
12.00-13.00	51	48	14	6	1	120
13.00-14.00	57	52	14	4	2	129
14.00-15.00	50	30	15	2	0	97
15.00-16.00	54	31	16	4	1	106
16.00-17.00	58	32	16	5	2	113
17.00-18.00	57	37	13	0	0	107
18.00-19.00	29	12	7	1	0	49
TOTAL						1260

Data Gardu Masuk

Tabel L.3: Data survei Rabu, 21 Januari 2026

PUKUL	GARDU MASUK 01					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	78					78
07.00-08.00	100					100
08.00-09.00	143					143
09.00-10.00	139					139
10.00-11.00	133					133
11.00-12.00	122					122
12.00-13.00	128					128
13.00-14.00	134					134
14.00-15.00	146					146
15.00-16.00	148					148
16.00-17.00	149					149
17.00-18.00	157					157
18.00-19.00	139					139
TOTAL						1716

PUKUL	GARDU MASUK 03					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	34	6	4	0	1	45
07.00-08.00	64	15	14	4	1	98
08.00-09.00	76	33	29	4	1	143
09.00-10.00	38	37	42	3	0	120
10.00-11.00	84	27	19	5	0	135
11.00-12.00	62	29	23	2	2	118
12.00-13.00	69	31	26	2	2	130
13.00-14.00	76	32	17	2	2	129
14.00-15.00	83	29	14	1	1	128
15.00-16.00	90	31	16	2	1	140
16.00-17.00	96	25	11	0	1	133
17.00-18.00	103	38	5	0	1	147
18.00-19.00	73	27	3	1	0	104
TOTAL						1570

PUKUL	GARDU MASUK 05					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	25	9	10	0	2	46
07.00-08.00	31	7	9	1	3	51
08.00-09.00	50	29	13	1	1	94
09.00-10.00	37	20	25	2	1	85
10.00-11.00	37	36	20	1	2	96
11.00-12.00	35	33	8	1	1	78
12.00-13.00	43	36	9	2	2	92
13.00-14.00	50	39	9	3	2	103
14.00-15.00	57	19	16	3	1	96
15.00-16.00	58	26	17	4	2	107
16.00-17.00	60	33	18	5	2	118
17.00-18.00	53	40	15	0	1	109
18.00-19.00	39	21	8	0	0	68
TOTAL						1143

Data Gardu Masuk

Tabel L.4: Data survei Kamis, 22 Januari 2026

PUKUL	GARDU MASUK 01					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	73					73
07.00-08.00	133					133
08.00-09.00	147					147
09.00-10.00	143					143
10.00-11.00	135					135
11.00-12.00	124					124
12.00-13.00	127					127
13.00-14.00	118					118
14.00-15.00	127					127
15.00-16.00	132					132
16.00-17.00	136					136
17.00-18.00	143					143
18.00-19.00	137					137
TOTAL						1675

PUKUL	GARDU MASUK 03					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	31	6	3	1	1	42
07.00-08.00	73	18	17	4	0	112
08.00-09.00	75	28	29	7	2	141
09.00-10.00	50	32	366	4	1	453
10.00-11.00	81	25	21	4	2	133
11.00-12.00	57	33	26	3	3	122
12.00-13.00	63	37	29	4	4	137
13.00-14.00	69	25	20	2	2	118
14.00-15.00	74	27	15	1	3	120
15.00-16.00	80	31	17	1	4	133
16.00-17.00	86	19	11	1	1	118
17.00-18.00	86	29	9	1	2	127
18.00-19.00	75	21	7	2	0	105
TOTAL						1861

PUKUL	GARDU MASUK 05					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	22	8	8	0	0	38
07.00-08.00	57	15	14	3	0	89
08.00-09.00	60	29	21	6	2	118
09.00-10.00	50	28	26	3	1	108
10.00-11.00	58	40	22	2	3	125
11.00-12.00	44	35	18	2	1	100
12.00-13.00	50	35	21	3	2	111
13.00-14.00	56	35	13	3	2	109
14.00-15.00	61	25	18	3	0	107
15.00-16.00	64	30	19	5	1	119
16.00-17.00	66	35	20	6	1	128
17.00-18.00	64	39	17	2	0	122
18.00-19.00	34	18	8	0	0	60
TOTAL						1334

Data Gardu Masuk

Tabel L.5: Data survei Jumat, 23 Januari 2026

PUKUL	GARDU MASUK 01					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	68					68
07.00-08.00	165					165
08.00-09.00	152					152
09.00-10.00	147					147
10.00-11.00	136					136
11.00-12.00	126					126
12.00-13.00	138					138
13.00-14.00	102					102
14.00-15.00	108					108
15.00-16.00	115					115
16.00-17.00	122					122
17.00-18.00	129					129
18.00-19.00	135					135
TOTAL						1643

PUKUL	GARDU MASUK 03					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	28	5	2	1	1	37
07.00-08.00	82	22	20	4	0	128
08.00-09.00	69	28	29	10	1	137
09.00-10.00	62	36	31	4	1	134
10.00-11.00	78	44	24	3	3	152
11.00-12.00	52	36	28	3	3	122
12.00-13.00	57	28	16	1	2	104
13.00-14.00	61	26	23	2	1	113
14.00-15.00	64	24	15	1	3	107
15.00-16.00	70	29	16	2	5	122
16.00-17.00	75	14	13	2	0	104
17.00-18.00	69	20	12	1	1	103
18.00-19.00	77	16	11	2	1	107
TOTAL						1470

PUKUL	GARDU MASUK 05					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	19	7	5	0	0	31
07.00-08.00	82	22	20	4	0	128
08.00-09.00	69	28	29	10	1	137
09.00-10.00	62	36	31	4	1	134
10.00-11.00	78	44	24	3	3	152
11.00-12.00	52	36	28	3	3	122
12.00-13.00	57	39	34	4	5	139
13.00-14.00	61	30	17	2	0	110
14.00-15.00	65	32	20	2	2	121
15.00-16.00	68	34	21	3	2	128
16.00-17.00	71	36	22	4	2	135
17.00-18.00	74	38	21	2	3	138
18.00-19.00	77	16	11	2	1	107
TOTAL						1582

Data Gardu Masuk

Tabel L.6: Data survei Sabtu, 24 Januari 2026

PUKUL	GARDU MASUK 01					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	62					62
07.00-08.00	124					124
08.00-09.00	131					131
09.00-10.00	141					141
10.00-11.00	126					126
11.00-12.00	124					124
12.00-13.00	127					127
13.00-14.00	118					118
14.00-15.00	123					123
15.00-16.00	127					127
16.00-17.00	130					130
17.00-18.00	141					141
18.00-19.00	135					135
TOTAL						1609

PUKUL	GARDU MASUK 03					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	27	5	2	1	1	36
07.00-08.00	56	15	12	3	0	86
08.00-09.00	51	19	18	6	1	95
09.00-10.00	49	24	20	2	1	96
10.00-11.00	66	29	18	2	2	117
11.00-12.00	47	26	19	1	3	96
12.00-13.00	51	30	20	2	4	107
13.00-14.00	55	18	17	2	1	93
14.00-15.00	59	15	12	1	2	89
15.00-16.00	64	16	13	2	3	98
16.00-17.00	68	17	13	2	1	101
17.00-18.00	66	19	10	1	1	97
18.00-19.00	75	18	11	2	1	107
TOTAL						1218

PUKUL	GARDU MASUK 05					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	23	10	7	0	1	41
07.00-08.00	56	21	14	3	2	96
08.00-09.00	58	28	21	6	1	114
09.00-10.00	53	33	22	3	1	112
10.00-11.00	59	38	17	3	3	120
11.00-12.00	44	35	18	2	2	101
12.00-13.00	50	39	19	3	3	114
13.00-14.00	56	27	16	3	0	102
14.00-15.00	61	26	18	3	2	110
15.00-16.00	63	31	19	3	3	119
16.00-17.00	64	35	19	3	3	124
17.00-18.00	58	39	17	1	2	117
18.00-19.00	39	8	6	1	1	55
TOTAL						1325

Data Gardu Masuk

Tabel L.7: Data survei Minggu, 25 Januari 2026

PUKUL	GARDU MASUK 01					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	56					56
07.00-08.00	83					83
08.00-09.00	109					109
09.00-10.00	135					135
10.00-11.00	116					116
11.00-12.00	126					126
12.00-13.00	130					130
13.00-14.00	134					134
14.00-15.00	137					137
15.00-16.00	138					138
16.00-17.00	138					138
17.00-18.00	152					152
18.00-19.00	145					145
TOTAL						1599

PUKUL	GARDU MASUK 03					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	25	4	1	0	1	31
07.00-08.00	29	7	4	1	0	41
08.00-09.00	32	9	7	2	0	50
09.00-10.00	40	12	9	0	1	62
10.00-11.00	53	14	13	0	0	80
11.00-12.00	42	17	11	1	2	73
12.00-13.00	46	20	12	2	3	83
13.00-14.00	49	11	12	2	1	75
14.00-15.00	53	13	10	1	0	77
15.00-16.00	57	17	11	1	1	87
16.00-17.00	60	21	12	1	1	95
17.00-18.00	63	18	13	1	1	96
18.00-19.00	72	19	11	2	1	105
TOTAL						955

PUKUL	GARDU MASUK 05					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	27	13	9	0	1	50
07.00-08.00	29	19	7	1	4	60
08.00-09.00	47	28	13	1	1	90
09.00-10.00	43	30	12	2	1	88
10.00-11.00	39	32	10	3	3	87
11.00-12.00	35	33	8	1	1	78
12.00-13.00	43	38	11	2	2	96
13.00-14.00	50	24	14	3	0	91
14.00-15.00	57	19	16	3	1	96
15.00-16.00	58	26	16	4	3	107
16.00-17.00	56	33	16	2	4	111
17.00-18.00	53	40	15	0	1	109
18.00-19.00	39	21	9	0	0	69
TOTAL						1132

Data Gardu Keluar

Tabel L.8: Data survei Senin, 19 Januari 2026

PUKUL	GARDU KELUAR 04					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	24					24
07.00-08.00	83					83
08.00-09.00	90					90
09.00-10.00	60					60
10.00-11.00	77					77
11.00-12.00	104					104
12.00-13.00	107					107
13.00-14.00	99					99
14.00-15.00	74					74
15.00-16.00	112					112
16.00-17.00	149					149
17.00-18.00	110					110
18.00-19.00	68					68
TOTAL						1157

PUKUL	GARDU KELUAR 06					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	17	4	5	0	0	26
07.00-08.00	46	8	6	0	1	61
08.00-09.00	30	18	3	0	0	51
09.00-10.00	35	31	7	2	0	75
10.00-11.00	29	28	6	3	0	66
11.00-12.00	32	40	9	3	1	85
12.00-13.00	36	59	11	3	1	110
13.00-14.00	39	38	12	3	1	93
14.00-15.00	61	30	14	3	1	109
15.00-16.00	48	38	16	4	1	107
16.00-17.00	71	45	18	4	1	139
17.00-18.00	45	22	14	2	1	84
18.00-19.00	23	14	18	2	0	57
TOTAL						1063

Data Gardu Keluar

Tabel L.9: Data survei Selasa, 20 Januari 2026

PUKUL	GARDU KELUAR 04					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	24					24
07.00-08.00	77					77
08.00-09.00	91					91
09.00-10.00	56					56
10.00-11.00	70					70
11.00-12.00	66					66
12.00-13.00	67					67
13.00-14.00	68					68
14.00-15.00	110					110
15.00-16.00	124					124
16.00-17.00	138					138
17.00-18.00	88					88
18.00-19.00	70					70
TOTAL						1049

PUKUL	GARDU KELUAR 06					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	16	5	4	1	0	26
07.00-08.00	48	7	5	0	1	61
08.00-09.00	55	20	4	1	2	82
09.00-10.00	38	29	11	1	1	80
10.00-11.00	44	48	10	2	0	104
11.00-12.00	30	47	16	3	0	96
12.00-13.00	33	56	17	3	1	110
13.00-14.00	35	30	18	3	2	88
14.00-15.00	53	38	21	2	0	114
15.00-16.00	57	47	23	3	1	131
16.00-17.00	60	40	25	3	1	129
17.00-18.00	57	21	20	2	2	102
18.00-19.00	28	9	5	0	0	42
TOTAL						1165

Data Gardu Keluar

Tabel L.10: Data survei Rabu, 21 Januari 2026

PUKUL	GARDU KELUAR 04					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	20					20
07.00-08.00	79					79
08.00-09.00	72					72
09.00-10.00	94					94
10.00-11.00	89					89
11.00-12.00	90					90
12.00-13.00	94					94
13.00-14.00	83					83
14.00-15.00	63					63
15.00-16.00	93					93
16.00-17.00	123					123
17.00-18.00	114					114
18.00-19.00	80					80
TOTAL						1094

PUKUL	GARDU KELUAR 06					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	9	3	2	0	0	14
07.00-08.00	29	5	2	0	1	37
08.00-09.00	51	17	4	1	1	74
09.00-10.00	40	42	13	0	2	97
10.00-11.00	50	39	14	2	0	105
11.00-12.00	42	44	38	3	0	127
12.00-13.00	45	48	45	4	1	143
13.00-14.00	47	36	24	2	1	110
14.00-15.00	45	33	18	4	2	102
15.00-16.00	60	34	23	5	3	125
16.00-17.00	74	35	27	2	1	139
17.00-18.00	31	19	18	1	1	70
18.00-19.00	26	14	9	0	1	50
TOTAL						1193

Data Gardu Keluar

Tabel L.11: Data survei Kamis, 22 Januari 2026

PUKUL	GARDU KELUAR 04					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	26					26
07.00-08.00	81					81
08.00-09.00	70					70
09.00-10.00	90					90
10.00-11.00	82					82
11.00-12.00	96					96
12.00-13.00	109					109
13.00-14.00	121					121
14.00-15.00	95					95
15.00-16.00	111					111
16.00-17.00	128					128
17.00-18.00	94					94
18.00-19.00	69					69
TOTAL						1172

PUKUL	GARDU KELUAR 06					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	10	3	2	0	0	24
07.00-08.00	30	6	2	1	1	51
08.00-09.00	35	12	5	1	1	93
09.00-10.00	43	36	9	2	1	122
10.00-11.00	32	40	14	2	0	120
11.00-12.00	48	48	21	4	0	148
12.00-13.00	52	52	26	5	1	156
13.00-14.00	40	40	28	3	1	140
14.00-15.00	32	34	20	4	2	132
15.00-16.00	44	36	23	4	3	151
16.00-17.00	55	31	26	4	1	158
17.00-18.00	40	36	24	2	0	163
18.00-19.00	48	19	11	4	1	83
TOTAL						1135

Data Gardu Keluar

Tabel L.12: Data survei Jumat, 23 Januari 2026

PUKUL	GARDU KELUAR 04					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	35					35
07.00-08.00	103					103
08.00-09.00	90					90
09.00-10.00	80					80
10.00-11.00	78					78
11.00-12.00	82					82
12.00-13.00	89					89
13.00-14.00	96					96
14.00-15.00	72					72
15.00-16.00	93					93
16.00-17.00	113					113
17.00-18.00	91					91
18.00-19.00	66					66
TOTAL						1088

PUKUL	GARDU KELUAR 06					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	17	4	2	1	0	24
07.00-08.00	49	6	5	1	0	61
08.00-09.00	59	27	4	2	0	92
09.00-10.00	31	39	6	2	1	79
10.00-11.00	35	35	7	3	0	80
11.00-12.00	40	49	11	2	0	102
12.00-13.00	44	50	13	2	1	110
13.00-14.00	32	50	15	2	1	100
14.00-15.00	50	37	28	1	1	117
15.00-16.00	55	41	30	2	1	129
16.00-17.00	65	44	32	2	1	144
17.00-18.00	40	51	18	2	1	112
18.00-19.00	38	28	13	2	0	81
TOTAL						1231

Data Gardu Keluar

Tabel L.13: Data survei Sabtu, 24 Januari 2026

PUKUL	GARDU KELUAR 04					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	22					22
07.00-08.00	58					58
08.00-09.00	96					96
09.00-10.00	84					84
10.00-11.00	79					79
11.00-12.00	114					114
12.00-13.00	119					119
13.00-14.00	124					124
14.00-15.00	97					97
15.00-16.00	98					98
16.00-17.00	120					120
17.00-18.00	89					89
18.00-19.00	69					69
TOTAL						1169

PUKUL	GARDU KELUAR 06					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	13	3	0	1	0	17
07.00-08.00	30	4	2	2	0	38
08.00-09.00	43	17	3	1	1	65
09.00-10.00	50	21	4	3	1	79
10.00-11.00	40	26	3	2	1	72
11.00-12.00	52	35	5	4	0	96
12.00-13.00	53	38	14	4	1	110
13.00-14.00	50	40	15	4	1	110
14.00-15.00	39	31	18	2	1	91
15.00-16.00	50	33	20	2	1	106
16.00-17.00	60	35	22	2	1	120
17.00-18.00	40	26	9	1	0	76
18.00-19.00	43	10	4	0	0	57
TOTAL						1037

Data Gardu Keluar

Tabel L.14: Data survei Minggu, 25 Januari 2026

PUKUL	GARDU KELUAR 04					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	21					21
07.00-08.00	30					30
08.00-09.00	45					45
09.00-10.00	55					55
10.00-11.00	65					65
11.00-12.00	101					101
12.00-13.00	106					106
13.00-14.00	110					110
14.00-15.00	85					85
15.00-16.00	88					88
16.00-17.00	90					90
17.00-18.00	128					128
18.00-19.00	82					82
TOTAL						1006

PUKUL	GARDU KELUAR 06					TOTAL
	JUMLAH KENDARAAN					
	GOL I	GOL II	GOL III	GOL IV	GOL V	
06.00-07.00	13	3	2	1	0	19
07.00-08.00	25	5	5	2	1	38
08.00-09.00	30	15	9	1	1	56
09.00-10.00	34	20	13	2	2	71
10.00-11.00	44	21	17	3	1	86
11.00-12.00	50	33	21	2	0	106
12.00-13.00	53	34	23	2	1	113
13.00-14.00	58	32	18	2	2	112
14.00-15.00	47	25	19	3	1	95
15.00-16.00	47	25	21	3	1	97
16.00-17.00	72	28	23	3	1	127
17.00-18.00	50	28	20	2	1	101
18.00-19.00	42	16	11	0	2	71
TOTAL						1092

Tabel L.15 Standar Pelayanan Minimal (SPM)

Standar Pelayanan Minimal (SPM) Jalan Tol

No	SUBSTANSI PELAYANAN	STANDAR PELAYANAN MINIMUM			SASARAN KEPADA PEMAKAI JALAN
		INDIKATOR	CAKUPAN/LINGKUP	TOLOK UKUR	
1	Kondisi Jalan Tol	• Keesatan	• Seluruh Ruas Jalan Tol	• $> 0,33 \mu\text{m}$	Keselamatan
		• Ketidakrataan	• Seluruh Ruas Jalan Tol	• $\text{IRI} \leq 4\text{m/km}$	Kenyamanan dan Keselamatan
		• Tidak ada lubang	• Seluruh Ruas Jalan Tol	• 100%	Kenyamanan dan Keselamatan
2	Kecepatan Tempuh Rata-rata	• Kecepatan Tempuh Rata-rata	• Jalan Tol Dalam Kota	• $\geq 1,6$ kali kecepatan tempuh rata-rata Jalan Non Tol	Kelancaran
			• Jalan Tol Luar Kota	• $\geq 1,8$ kali kecepatan tempuh rata-rata Jalan Non Tol	
3	Aksesibilitas	• Kecepatan Transaksi Rata-rata	• Gerbang Tol sistem terbuka	• ≤ 8 detik setiap kendaraan	Kelancaran
			Gerbang Tol sistem tertutup		
			• Gardu masuk	• ≤ 7 detik setiap kendaraan	
			• Gardu keluar	• ≤ 11 detik setiap kendaraan	
		• Jumlah Gardu Tol	• Kapasitas Sistem Terbuka	• ≥ 450 kendaraan per jam per Gardu	Kelancaran
			• Kapasitas Sistem Tertutup		
			• Gardu masuk	• ≥ 500 kend. per jam	
			• Gardu keluar	• ≥ 300 kend. per jam	
4	Mobilitas	• Kecepatan Penanganan Hambatan Lalu Lintas	• Wilayah Pengamanan Observasi Patroli	• 30 menit per siklus	Kelancaran
			• Mulai Informasi diterima Sampai ke Tempat Kejadian	• ≤ 30 menit	
			• Penanganan Akibat Kendaraan Mogok	• Melakukan penderekan ke Pintu Gerbang Tol terdekat/Bengkel terdekat dengan menggunakan Derek resmi (gratis)	
			• Patroli Kendaraan Derek	• 30 menit per siklus pengamatan	

LAMPIRAN

Foto Dokumentasi Pada Saat Penelitian



Gambar L.1 Lokasi penelitian di Gerbang Tol Binjai



Gambar L.2 Menghitung waktu pelayanan gardu masuk



Gambar L.3 Menghitung waktu pelayanan gardu keluar



Gambar L.4 Menghitung kendaraan yang datang di gardu masuk



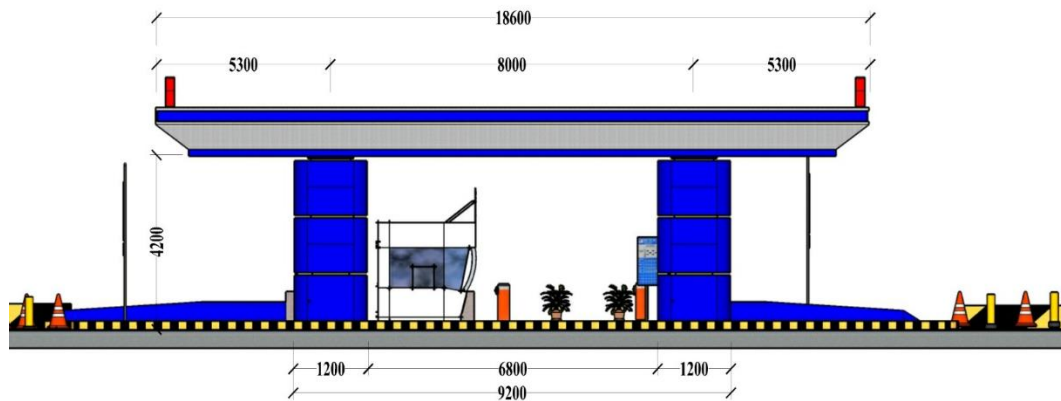
Gambar L.5 Menghitung kendaraan yang keluar di gardu keluar



Gambar L.6 Petugas membantu pengemudi saat ada kendala disistem gardu



Gambar L.7 Ukuran Gerbang Tol Binjai tampak depan



Gambar L.8 Ukuran Gerbang Tol Binjai tampak samping



TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061) 6622400



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : NAZWA NURUL SAKINAH
NPM : 2207210129
FAKULTAS : TEKNIK SIPIL

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	Rabu/19-11-2025	Perbaiki bab 2	cf
2	Jumat 12/12 2025	Acc seminar proposal	cf
3	Selasa/21-7-2026	Perbaiki bab 5	cf
4	Jumat 24/7/2026	Acc seminar kembali	cf
5	Jumat 14/8/2026	Acc sidang akhir	cf

DOSEN PEMBIMBING

cf

(MUHAMMAD HUSIN GULTOM, S.T., M.T)

Deli Serdang, 20 Januari 2026

Nomor : MBT/MAS.03/Ext.09/I/2026
Perihal : **Persetujuan atas Permohonan Pengambilan Data**
Lampiran : -

Kepada Yth.
Dekan
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

di,-
Tempat

Dengan hormat,

Menindaklanjuti surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan nomor : 121/II.3.AU/UMSU-07/B/2026 tentang izin pengambilan data di PT. Medan Binjai Toll atas nama :

Nama : Nazwa Nurul Sakinah
NPM : 2207210129
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan pada Akses Keluar – Masuk Gerbang Tol Binjai

Telah kami setuju untuk melaksanakan pengambilan data di PT. Medan Binjai Tol dengan ketentuan selama kegiatan tersebut mengikuti peraturan yang berlaku.

Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terimakasih.

Hormat Kami.
PT Medan Binjai Toll



RAFFLESIA
MEDAN BINJAI

A. Arif Amtulloh
Manager Teknik, Operation dan Maintenance

Tembusan Kepada Yth. :
1. Direktur PT. Medan Binjai Toll;
2. Arsip.

PT. Medan Binjai Toll
Jl. Megawati RT. 000 RW. 000 Tandem Hulu I Hampan Perak
Kab. Deli Serdang Sumatera Utara
Email : ptmbt@medanbinjaitoll.com

Gambar L.10 Surat balasan dari PT.Medan Binjai Toll

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama : Nazwa Nurul Sakinah
Tempat, Tanggal Lahir : Paya Bakung, 8 Januari 2005
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : DSN SM. Luar Gg Famili
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Tubagus Nurul Amin
Ibu : Susilawati
No. Hp : 0895329980349
E-mail : nazwashakina13@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 2207210129
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Swasta Harapan Paya Bakung	2016
2	SMP	SMPN 3 Binjai	2019
3	SMA	SMAN 1 Sunggal	2022
4	KULIAH DI UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA TAHUN 2022		