

TUGAS AKHIR

EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN KELUAR – MASUK GERBANG TOL SEMAYANG

(Studi Kasus)

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

Disusun Oleh:

ELSA AUDILLA
1907210049



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

2023

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Elsa Audilla

NPM : 1907210049

Program Studi : Teknik Sipil

Bidang Ilmu : Transport

Judul Skripsi : Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Keluar – Masuk Gerbang
Tol Semayang

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 20 September 2023

Dosen Pembimbing



Ir. Tri Rahayu, M.Si.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Elsa Audilla

NPM : 1907210049

Program Studi : Teknik Sipil

Bidang Ilmu : Transport

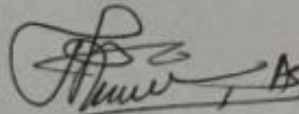
Judul Skripsi : Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Keluar – Masuk Gerbang
Tol Semayang

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, 20 September 2023

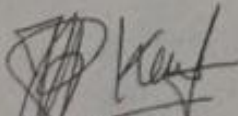
Mengetahui dan Menyetujui:

Dosen Pembimbing



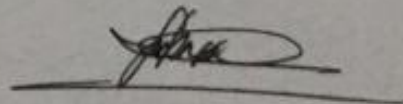
Ir. Tri Rahayu, M.Si.

Dosen Pembanding I



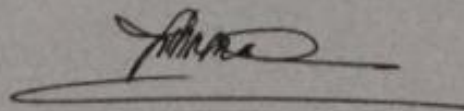
Ir. Zurkiyah, M.T.

Dosen Pembanding II



Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T., M.Sc.

Program Studi Teknik Sipil
Ketua



Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T., M.Sc.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elsa Audilla
Tempat, tanggal lahir : Sena Baru, 24 Agustus 2000
NPM : 1907210049
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

"Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Keluar – Masuk Gerbang Tol Semayang".

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik 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 orisinal dan otentik.

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

Demikian surat pernyataan ini saya perbuat 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, 20 September 2023

Saya yang menyatakan,



Elsa Audilla

ABSTRAK

EVALUASI KAPASITAS DAN PELAYANAN KELUAR – MASUK GERBANG TOL SEMAYANG

(STUDI KASUS)

Elsa Audilla

1907210049

Ir. Tri Rahayu, M.Si

Jalan tol adalah jalan bebas hambatan yang merupakan bagian dari sistem jaringan jalan dan bagian jalan sebagai jalan nasional yang pengguna tersebut diwajibkan untuk membayar tol sesuai dengan golongan kendaraan dan jarak yang ditempuh. Pada suatu sistem jaringan jalan tol kelambatan atau kemacetan sering terjadi di pintu gerbang keluar-masuk, khususnya pada arah yang menghadapi pelayanan pemabayaran. Mengevaluasai pada kapasitas dan pelayanan di gerbang Tol Semayang pada studi kasus ini untuk melihat apakah masih memadai untuk melayani pemakainya dan kapasitas nya. Data didapat dari survei lapangan yaitu survei untuk mendapatkan nilai tingkat kedatangan masuk dan keluar dan waktu pelayanan pada hari sibuk dan jam sibuk. Dengan mengambil suatu parameter antrian, dengan input data tingkat pelayanan didapat jumlah kendaraan yang dapat dilayani untuk tiap gardu yang beroperasi sebanyak 2 gardu masuk sebanyak 333 kendaraan/jam masih memenuhi Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol <500 kendaraan/jam/gardu, dan pada 2 gardu keluar sebanyak 253 kendaraan/ jam/ gardu masih memenuhi Standar Pelayanan Minimum Jalan Tol <300 kendaraan/ jam/ gardu.

kata kunci: jalan tol, waktu pelayanan, antrian

ABSTRACT

EVALUATION OF CAPACITY AND SERVICES EXIT – ENTER THE SEMAYANG TOLL GATE (CASE STUDY)

Elsa Audilla

1907210049

Ir. Tri Rahayu, M.Si

A toll road is a freeway which is part of the road network system and part of the road as a national road whose users are required to pay tolls according to the vehicle class and the distance traveled. In a toll road network system, delays or congestion often occur at entry and exit gates, especially in the direction facing payment services. Evaluate the capacity and service at the Semayang Toll gate in this case study to see whether it is still adequate to serve its users and capacity. Data was obtained from field surveys, namely surveys to obtain values for incoming and outgoing arrival rates and service times on busy days and peak hours. By taking a queue parameter, by inputting service level data, the number of vehicles that can be served for each substation operating at 2 substations is 333 vehicles/hour, still meeting the Toll Road Minimum Service Standard <500 vehicles/hour/substation, and at 2 substations outgoing 253 vehicles/hour/substation still meets the Minimum Toll Road Service Standards <300 vehicles/hour/substation.

keywords: toll road, service time, queuing

KATA PENGANTAR

سَمِ اللهُ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Keluar – Masuk Gerbang Tol Semayang” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ibu Ir. Tri Rahayu M.Si., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ir. Zurkiyah M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II dan sekaligus selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Rizki Efrida S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Dr. Ade Faisal S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Adminitrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Terimakasih yang teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Bapak Adaham dan Ibunda tercinta Ibu Suarti yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini. Dan Terimakasih juga kepada kakak saya Melda Yuspita, Melvira Arianda dan beserta keluarga besar saya om, tante dll yang telah terus mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir saya ini.
10. Sahabat-sahabat penulis yaitu Ayunda Putri, Aprilian Dwi Hani Usholehah Maru'ao, Clara Muzdalifah, teman kos tercinta Sindy Rahayu, Adelia Indrayani dan keluarga A1 Pagi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara , dan juga seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. 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, 20 September 2023

Elsa Audilla

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 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 Penulisan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Jalan Tol	5
2.2 Gerbang Tol	5
2.3 Sistem Pembayaran yang ada di Gerbang Tol	6
2.4 Tahapan Perhitungan Kapasitas Pelayanan Pintu Tol	6
2.5 Kapasitas Gerbang Tol	7
2.6 Pelayanan Jalan Tol	8
2.7 Teori Antrian	9
2.7.1 Proses Dalam Sistem Antrian	10
2.7.2 Karakteristik Sistem Antrian	13
2.7.3 Kedatangan populasi yang akan dilayani (calling population)	13
2.7.4 Tingkat Pelayanan	14
2.7.5 Mekanisme dan Jumlah Gerbang Pelayanan	14

2.7.6 Disiplin Antrian	15
2.8 Parameter Antrian	16
2.8.1 Disiplin Antrian FIFO	17
2.9 Proses Antrian	18
2.10 Model Ongkos Dari Antrian	19
2.11 Analisa Kebijakan yang Dapat Dilakukan	19
2.11.1 Kebijakan Mengurangi Waktu Pelayanan	20
2.11.2 Kebijakan Sistem Tandem	20
2.11.3 Kebijakan Sistem Pembayaran Tol Elektronik	20
2.12 Jenis Gardu Tol	21
2.12.1 Gardu Tol Konvensional	21
2.12.2 Gardu Tol Otomatis (GTO)	21
2.12.3 Electronic Toll Collection (ETC) dan On-Board Unit (OBU)	21
2.12.4 Multi Lane Free Flow (MLFF)	22
2.13 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)	22
2.14 Pelataran Tol dan Gerbang Tol	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	26
3.1 Rencana Kegiatan Penelitian	26
3.2 Lokasi Penelitian	27
3.3 Tahapan Pekerjaan	28
3.4 Pengambilan Data	28
3.5 Pengambilan Data Primer	29
3.6 Pengambilan Data Sekunder	29
3.7 Penyusunan Data	30
BAB 4 ANALISA DATA	31
4.1 Perhitungan Tingkat Kedatangan Masuk (<i>Entrance</i>)	31
4.1.1 Perhitungan Tingkat Kedatangan Keluar (<i>Exit Level</i>)	31
4.2 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan <i>Entrance</i> (<i>Service Time</i>)	32
4.2.2 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan <i>Exit</i> (<i>Service Time</i>)	33
4.3 Perhitungan Jumlah Pintu Gerbang (Gardu)	34
4.3.1 Gardu Tol Masuk	34
4.3.2 Gardu Tol Keluar	38

4.4 Perhitungan Antrian pada Pintu Tol Masuk (Antrian FIFO)	45
4.4.1 Perhitungan Antrian pada Pintu Tol Keluar (Antrian FIFO)	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Panjang minimum taper	24
Tabel 4. 1 Data Survei Tingkat Kedatangan Masuk Gerbang Tol Semayang	31
Tabel 4. 2 Data Survei Tingkat Keluar Gerbang Tol Semayang	32
Tabel 4. 3 Data survei perhitungan waktu pelayanan	32
Tabel 4. 4 Data survei perhitungan waktu pelayanan	33
Tabel 4. 5 Rekapitulasi jumlah kendaraan masuk pada 2 pintu tol.	51
Tabel 4. 6 Rekapitulasi jumlah kendaraan keluar pada 2 pintu tol.	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Model single channel-single phase	11
Gambar 2. 2: Model single channel-multi phase	12
Gambar 2. 3: Model multi channel-single phase	12
Gambar 2. 4: Model multi channel-multi phase	12
Gambar 2. 5: Displin antrian FIFO	15
Gambar 2. 6: Displin antrian FVFS	16
Gambar 2. 7: Ruang pada gerbang tol	24
Gambar 2. 8 : Pelataran tol pada gerbang tol ramp	25
Gambar 3. 1: Ruas Lokasi Gerbang Tol Semayang	27
Gambar 3. 2: Diagram Bagan Alir	26
Gambar 4. 1: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan n (panjang antrian)	51
Gambar 4. 2: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan q (panjang antrian)	52
Gambar 4. 3: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan d (waktu tunggu)	52
Gambar 4. 4: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan w (waktu antrian)	53
Gambar 4. 5: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan n (panjang antrian)	62
Gambar 4. 6: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan q (panjang antrian)	63
Gambar 4. 7: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan d (waktu tunggu)	63
Gambar 4. 8: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan w (waktu antrian)	64

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	: First In First Out
FVSF	: First Vacant First Served
ETC	: Electronic Tol Collection
GTO	: Gardu Tol Otomatis
OBU	: <i>On – Broad Unit</i>
MLFF	: <i>Multi Lane Free Flow</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk mengakibatkan perkembangan dan pergerakan perjalanan transportasi pada suatu daerah. Penyelenggaraan jalan adalah kegiatan yang meliputi pengaturan, pembinaan, Pembangunan, serta pengawasan jalan (UU Pasal 1 ayat 3). Pelaksanaan konstruksi Pembangunan jalan wajib memenuhi standar dan kualitas konstruksi jalan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang – undangan dibidang konstruksi jalan (UU Pasal 35E ayat 1).

Dengan pesatnya pembangunan di daerah Sei Semayang, pemerintah melakukan kebijakan pembangunan di bidang konstruksi sipil. Hal ini sangat diperlukan untuk meningkatkan kemajuan pembangunan diberbagai bidang, dan dalam menyediakan fasilitas-fasilitas yang lengkap serta memadai sesuai dengan kebutuhan penggunaanya. Pembangunan jalan berkelanjutan adalah konsep pelaksanaan dan penerapan konstruksi berkelanjutan di bidang prasarana jalan yang memuat prinsip berkelanjutan dan berbasis keseimbangan aspek lingkungan, ekonomi dan juga sosial (UU Pasal 1 ayat 7).

Kelancaran lalu lintas di jalan tol dipengaruhi oleh waktu pelayanan (*service time*) yang diberikan kepada pengemudi saat mereka mengambil tiket di gardu/loket gerbang keluar tol saat membayar biaya administrasi yang dikenakan kepada pengguna jalan tol. Lama waktu pelayanan pada saat melakukan transaksi pembayaran yang tidak sebanding dengan tingkat kedatangan kendaraan dapat menyebabkan antrian di gardu tol tersebut semakin panjang, sedangkan jumlah antrian kendaraan/lajur (per gardu) maksimal adalah 3 kendaraan (Standar Geometrik Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol, Bina Marga 2009).

Jalan tol adalah jalan bebas hambatan yang merupakan bagian dari sistem jaringan jalan dan bagian jalan sebagai jalan nasional yang pengguna tersebut diwajibkan untuk membayar (UU Pasal 1 ayat 12). Penyelenggaraan jalan tol dimaksudkan untuk mewujudkan pemerataan pembangunan dan hasil – hasilnya

serta keseimbangan dalam pengembangan wilayah dengan memperhatikan keadilan, yang dapat dicapai dengan membina jaringan jalan yang dananya berasal dari pengguna jalan. Jalan tol juga bertujuan meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya (PP No. 15 tahun 2005 Bab 2 Pasal 2).

Menurut Menteri Pekerjaan Umum Nomor 392/PRT/M/2005 tentang Standar Pelayanan Minimal jalan tol, yang dimaksud dengan Standar Pelayanan Minimal adalah ukuran yang harus dicapai dalam penyelenggaraan jalan tol. Standar Pelayanan Minimal jalan tol diselenggarakan untuk meningkatkan pelayanan kepada masyarakat sebagai pengguna jalan tol, dan Standar Pelayanan Minimal jalan tol meliputi substansi pelayanan kondisi jalan, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, keselamatan, dan unit pertolongan / penyelamatan dan bantuan pelayanan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari hasil tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana pelayanan e-tol yang diberikan oleh gardu keluar - masuk untuk mengurangi panjang antrian dilihat dari waktu kedatangan dan waktu pelayanan.
2. Berapa kapasitas yang ditampung tiap gardu keluar – masuk tol dengan menggunakan sistem e-tol.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk mendapatkan suatu sistem kapasitas dan pelayanan di pintu keluar – masuk pintu tol banyak faktor – faktor yang harus dipertimbangkan untuk menyelesaikan masalah. Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis membatasi pokok permasalahan yaitu:

1. Analisis waktu pelayanan gerbang tol Semayang terhadap lalu lintas yang memakainya mencakup lingkup pembahasan yang luas, oleh sebab itu arus kendaraan yang ditinjau yaitu kendaraan yang keluar - masuk gerbang tol Semayang.

2. Waktu pelayanan (*service time*) tersebut ditinjau saat mengadakan transaksi terhadap pemakai yang didukung berdasarkan jenis kendaraan dikaitkan dengan struktur 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 besar
 - 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. Tidak membahas faktor yang menentukan kondisi arus lalu lintas seperti kondisi jalan tol.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini:

1. Mengetahui pelayanan pintu tol yang diberikan tiap gardu keluar - masuk untuk mengurangi panjang antrian di gerbang tol Semayang dilihat dari waktu kedatangan dan waktu pelayanan.
2. Mendapatkan besarnya kapasitas gerbang tol Semayang telah memenuhi Standar Pelayanan Minimum (SPM)

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat penulisan dari tugas akhir adalah:

1. Mahasiswa dapat mengetahui sebagai acuan dan sumbangan pemikiran kepada pengelola jalan tol untuk membuat kebijakan baru di masa yang akan datang dalam menanggulangi persoalan di antrian gerbang tol.
2. Sebagai acuan bagi mahasiswa yang akan melanjutkan kajian tentang persoalan pelayanan gerbang tol.
3. Mahasiswa dapat informasi tentang faktor-faktor apa saja yang menentukan berapa jumlah gerbang tol Semayang yang dioperasikan pihak pengelola jalan tol.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi beberapa bab, antara lain:

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 pengolahandata yang dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Jalan Tol

Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/M/2014 Pasal 1). Jalan tol dikhususkan untuk kendaraan bersumbu dua atau lebih dengan tujuan mempersingkat waktu tempuh dari satu tempat ke tempat yang lain, untuk menggunakan fasilitas ini pengendara wajib membayar tarif tol yang sudah di sesuaikan.

Tol ialah sejumlah uang yang tertentu yang wajib dibayarkan untuk penggunaan pada jalan tol (UU Pasal 1 ayat 13). Tarif yang dikenakan dalam jalan tol tergantung pada golongan kendaraan yang memasukinya. Di Indonesia sendiri jalan tol disebut jalan bebas hambatan, padahal itu salah. Di Dunia secara keseluruhan tidak semua jalan bebas hambatan itu berbayar, jalan bebas hambatan biasanya disebut dengan *freeway* atau *expressway*, *free* berarti gratis. Jalan bebas hambatan yang memakai bayaran biasanya dinamakan *tollway* atau *tollroad* (tol berarti biaya).

2.2 Gerbang Tol

Bangunan atau fasilitas dimana tol dikumpulkan disebut pintu tol, rumah tol, atau di Indonesia sendiri disebut dengan gerbang tol. Biasanya bangunan itu ditemukan sebelum memasuki jalan tol atau sebelum keluar dari jalan tol. Gerbang tol atau pintu tol adalah tempat awal keluar – masuk bagi kendaraan yang ingin keluar - masuk dari jalan tol. dalam perencanaan suatu kebutuhan gardu tol pada gerbang tol harus melihat arus lalu lintas yang terjadi disekitar gardu keluar – masuk dann melakukan simulasi peningkatan arus lalu lintas yang mungkin akan terjadi pada daerah tersebut (M. Fakhuriza Pradana dkk). Gerbang tol mempunyai aturan fungsi penggunaannya, yaitu:

- a. Bangunan gerbang tol digunakan sebagai transaksi tol.

- b. Di gerbang tol wajib menghentikan kendaraan untuk menempelkan kartu tol dan membayar.
- c. Sesampainya di gerbang tol dilarang menaikkan atau menurunkan penumpang, barang ataupun hewan digerbang tol.

2.3 Sistem Pembayaran yang ada di Gerbang Tol

Sistem yang ada dan yang telah dipakai pada gerbang tol di Indonesia adalah dengan cara konvensional, yaitu dengan cara menentukan penempatan gerbang tol. Akan tetapi pada sistem ini diterapkan berdasarkan suatu survei asal tujuan lalu lintas yang akan didapat banyaknya kendaraan yang akan lewat pada ruas lalu lintas dimana penentuan jumlah gardu tol masih terbatas pada sistem trial and error. Dari data yang didapat biasanya untuk tahun-tahun sebelumnya jumlah tersebut diperkirakan tidak lagi dapat melayani pemakaian jalan yang ada. Hal ini dapat menimbulkan suatu masalah pada jalan tol karena adanya penambahan pengguna jasa tol.

Dalam melayani jasa tol ada dua sistem pelayanan yang dilakukan yaitu:

- Sistem pelayanan tertutup yaitu dimana proses pengambilan tanda bukti pembayaran dilakukan gerbang tol sendiri. Jadi pada saat memasuki gerbang tol belum melakukan transaksi, tetapi hanya menempelkan e-tol untuk membuka palang atau portal.
- Sistem pelayanan terbuka yaitu dimana ketika masuk gerbang tol sudah melakukan transaksi dan mengambil bukti pembayaran. Biasanya sistem ini dilakukan di tol Kota.

2.4 Tahapan Perhitungan Kapasitas Pelayanan Pintu Tol

Dalam menghitung kapasitas yang dapat dilayani dalam satu gardu tol dalam melakukan perhitungan kapasitas pelayanan gardu yang sesuai dengan standar pelayanan minimal jalan tol yang menghitung intensitas lalu lintas rencana kendaraan yang menggunakan jalan tol. Langkah awal perhitungan menggunakan waktu pelayanan 4 detik – 14 detik yang sesuai dengan SPM (Melisa Anggraini dkk).

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \quad (2.1)$$

Dimana:

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

λ = tingkat kedatangan rata-rata

μ = waktu pelayanan diperoleh dalam waktu satu jam (3.600 dtk)

Jika nilai $\rho > 1$, hal ini berarti bahwa tingkat kedatangan lebih besar dari tingkat pelayanan. Jika hal ini terjadi, maka dapat dipastikan akan terjadi antrian yang akan selalu bertambah panjang (tidak terhingga) (Tamin, 2003).

2.5 Kapasitas Gerbang Tol

Kapasitas dapat diperoleh berdasarkan hasil survey asal tujuan (*Origin – Destination*) dan sistem (*Trial – Error*) dimana data yang diperoleh biasanya digunakan untuk prediksi pada tahun – tahun yang akan datang. Kapasitas dari gerbang tol adalah tergantung banyaknya kendaraan yang menggunakan jalan tol pada setiap jam, tindakan penjaga tol, dan pembayaran tol (membutuhkan kembalian atau tidak). Besarnya kapasitas pada gerbang tol berbeda – beda, tergantung dari pelayanan dan waktu pelayanan yang diberikan.

Waktu pelayanan dipintu tol itu juga tergantung dari sikap pemakai kendaraan yang sebaiknya sudah mempersiapkan dahulu saldo yang akan dibayarkan. Untuk mengatasi suatu masalah bertambah kapasitas akibat jumlah pemakai jalan tol yang semakin bertambah, maka diperlukan suatu data yang mengenai kapasitas gerbang tol. Beberapa definisi kapasitas menurut beberapa ahli:

1. Wohl dan Martin, mendefinisikan kapasitas sebagai berikut:

“The quantitative measurement of the volume (per unit of time) that a particular facility can accommodate (at the limit), and this usually provides a measure of maximum volume carrying capabilities” (Pengukuran kuantitatif volume (per unit waktu) bahwa fasilitas tertentu dapat ditemukan (pada batas), dan ini biasanya memberikan ukuran kemampuan pembawa volume maksimum).

2. *Highway Research Board* ,kapasitas didefinisikan sebagai:
“The maximum number of vehicle that would have reasonable expectation of

passing over a given roadway in given time period under the prevailing roadway and traffic conditions” (Jumlah maksimum kendaraan yang memiliki harapan yang masuk akal melewati jalan raya yang diberikan dalam jangka waktu tertentu dibawah kondisi jalan dan lalu lintas yang berlaku).

Oleh karena itu kapasitas gerbang tol dapat didefinisikan sebagai nilai maksimum dari jumlah kendaraan yang melewati gerbang tol dalam waktu periode tertentu. Nilai maksimum itu sendiri dapat dilihat dari beberapa faktor, yaitu pada jalan itu sendiri, control oprasional, fasilitas dari gerbang tol, kelakukan para pengemudi, pelayanan tindakan para petugas tol, dan beberapa faktor lingkungan, seperti cuaca. (Sodikin, Bambang Riyanto, 2006).

2.6 Pelayanan Jalan Tol

Ada tiga jenis pelayanan yang ada di jalan tol, yaitu:

1. Pelayanan Transaksi

Pelayanan transaksi dapat terlihat jelas pada pengumpulan tol, karena pelayanan ini langsung berhadapan dengan pengemudi. Jadi dengan adanya dinamika dan perkembangan tuntutan dari pemakai jalan tol maka untuk itu perlu diberi gambaran yang baik bagi masyarakat mengenai pelayanan saat melakukan transaksi. Pengumpulan tol di gerbang tol merupakan ujung tombak bagi pelayanan jalan tol. citra pelayanan yang ada di gerbang tol merupakan cerminan dari sebagian besar dari pelayanan yang diberikan.

2. Pelayanan Lalu Lintas

Pelayanan lalu lintas yang dilakukan terhadap kendaraan yang melalui jalan tol. Pelayanan lalu lintas ini dapat dilihat dari kejadian yang ada disepanjang jalan tol, seperti menurunkan angka kecelakaan pada jalan tol. Disediaknya fasilitas patroli, ambulan, pemadam kebakaran, dan kendaraan rescue yang dapat digunakan pada saat pengguna jalan tol mengalami kesulitan.

3. Pelayanan Terhadap Pemeliharaan

Pelayanan terhadap pemeliharaan ada dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu pemeliharaan rutin, pemeliharaan periodik dan pemeliharaan khusus.

Pemeliharaan rutin dilakukan setiap waktu – waktu tertentu terhadap seluruh aset pada jalan tol.

2.7 Teori Antrian

Teori antrian (*queueing*) sangat perlu dipelajari dalam usaha mengenal perilaku pergerakan arus lalu lintas baik manusia ataupun kendaraan (Morlok, 1978 dan Hobbs, 1979). Hal ini disebabkan sangat banyak kejadian yang terjadi disektor transportasi dan permasalahan lalu lintas yang terjadi sehari – hari pada sistem jaringan jalan dapat dijelaskan dan dipecahkan dengan bantuan analisis teori antrian, seperti misalnya:

- Antrian kendaraan yang terjadi didepan pintu gerbang tol satu antrian kendaraan yang terjadi pada setiap lengan persimpangan berlampu lalu lintas.
- Antrian kendaraan truk pada saat bongkar/muat barang dipelabuhan.
- Antrian kapal laut yang ingin merapat di dermaga.
- Antrian manusia pada loket pembelian karcis di bandara, stasiun kereta api, dan lain – lain.
- Antrian manusia pada loket pelayanan bank, loket pembayaran listrik, atau telepon, serta pasar swalayan, dan
- Sangat banyak kejadian lainnya yang terjadi sehari – hari yang dapat dijelaskan dengan bantuan analisis teori antrian.

Antrian panjang disebut juga dengan kemacetan di pintu tol yang umumnya terjadi karena adanya tingkat kedatangan (*flow rate*) tidak seimbang dengan tingkat pelayanan (*service rate*) di fasilitas pelayanan.(Hutahaean, 2007) . Antrian tersebut pada dasarnya terjadi pada proses pergerakan arus lalu lintas (manusia dan/atau kendaraan) terganggu oleh adanya suatu kegiatan pelayanan yang harus dilalui, seperti misalnya: antrian kendaraan yang terbentuk didepan pintu gerbang tol terjadi karena pergerakan arus kendaraan tersebut terpaksa harus terganggu oleh adanya kegiatan pengambilan dan/atau pembayaran karcis tol.

Kegiatan ini yang menyebabkan gangguan pada proses pergerakan arus kendaraan sehingga mengakibatkan terjadinya antrian kendaraan dimana pada

suatu kondisi, antrian kendaraan tersebut akan dapat mengakibatkan permasalahan baik buat pengguna (dalam bentuk warna antrian) maupun buat pengelola (dalam bentuk panjang antrian).

Bagi pengguna biasanya hal yang selalu dipermasalahkan adalah waktu menunggu selama proses mengantri, setiap pengendara akan selalu berpikir bagaimana cara agar dapat menyelesaikan antrian ini secepatnya. Sedangkan bagi pengelola, hal yang selalu dipermasalahkan biasanya adalah panjang antrian yang terjadi. Sebagai contoh: antrian kendaraan yang terlalu panjang akan dapat menyebabkan tambahan permasalahan baru berupa terganggunya sistem pergerakan arus lalu lintas lainnya akibat terhambat oleh antrian yang terlalu panjang tersebut.

Teori antrian merupakan suatu alat untuk analisa yang sangat membantu dalam memecahkan masalah teori antrian diatas. Teori ini memberikan informasi penting yang dibutuhkan dalam pengambilan keputusan dengan meramalkan berbagai karakteristik dengan sistem antrian tersebut. Jumlah rata – rata dari satuan (antrian dan pelayanan) adalah penting untuk mendimensi luas areal yang dibutuhkan.

Komponen antrian yang utama dalam sistem antrian adalah tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, jumlah fasilitas pelayanan, kapasitas pelayanan, dan aturan pelayanan atau disiplin antrian. (Sodikin, Bambang Riyanto, 2006).

2.7.1 Proses Dalam Sistem Antrian

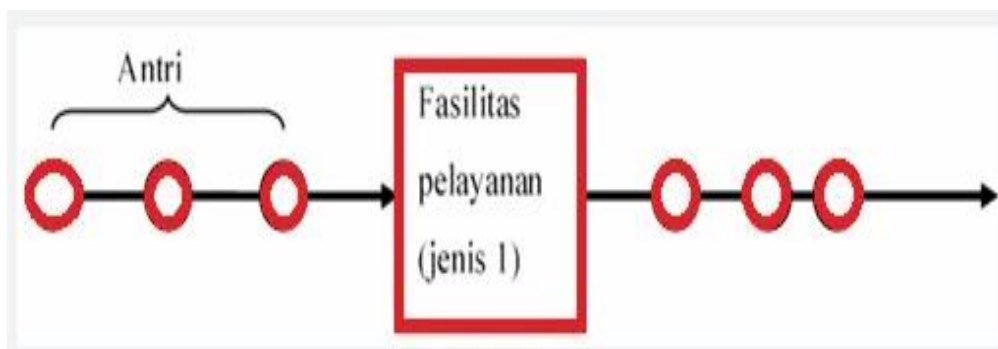
Sistem antrian adalah suatu sistem yang mencakup barisan dan gerbang pelayanan. Sedangkan populasi yang terbentuk dari waktu ke waktu berasal dari suatu sumber disebut *calling population*. Populasi tersebut datang ke sistem dan bergabung membentuk barisan antrian. Pada waktu tertentu, salah satu atau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

Struktur antrian dapat diklasifikasikan berdasarkan banyaknya gerbang atau jalur dan banyaknya tahap pelayanan yang ada. Tata letak fisik dari sistem antrian digambarkan dengan jumlah saluran, juga disebut sebagai pelayanan. Sistem antrian jalur tunggal (*single channel-single phase*) berarti bahwa dalam sistem antrian tersebut hanya terdapat satu pemberi layanan serta satu jenis layanan yang diberikan. Sementara sistem antrian jalur tunggal tahapan berganda (*single*

channelmulti phase) berarti dalam sistem antrian tersebut terdapat lebih dari satu jenis layanan yang diberikan, tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan. Sistem antrian jalur berganda satu tahap (*multi channel-single phase*) adalah terdapat satu jenis layanan dalam sistem antrian tersebut, namun terdapat lebih dari satu pemberi layanan. Sedangkan sistem antrian jalur berganda dengan tahapan berganda (*multi channel-multi phase*) adalah sistem antrian dimana terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan dalam setiap jenis layanan. Dalam studi ini akan dibahas gerbang tunggal satu tahap (*single channel-single phase*) dan gerbang ganda satu tahap (*multi channel – single phase*).

A. *Single Channel – Single Phase* (saluran tunggal – fase tunggal)

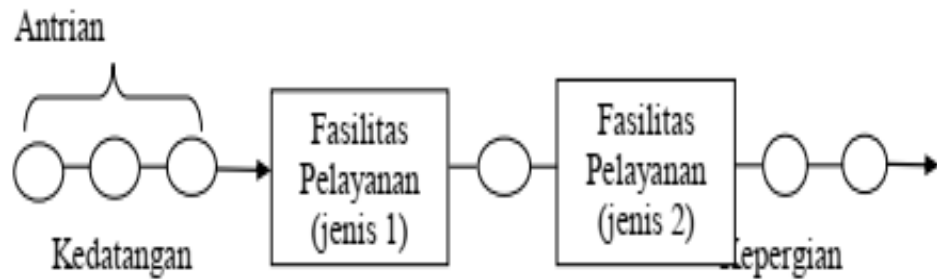
Struktur antrian pada *single channel-single phase* ini hanya memilih satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini hanya memiliki satu tahap saja. Sehingga yang telah diberikan pelayanan dapat langsung keluar dari sistem antrian. (Bahar, Maananohas, and Montolalu 2018). Struktur sangat sederhana dan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 1 Model *single channel-single phase* (Marthyn, 2007).

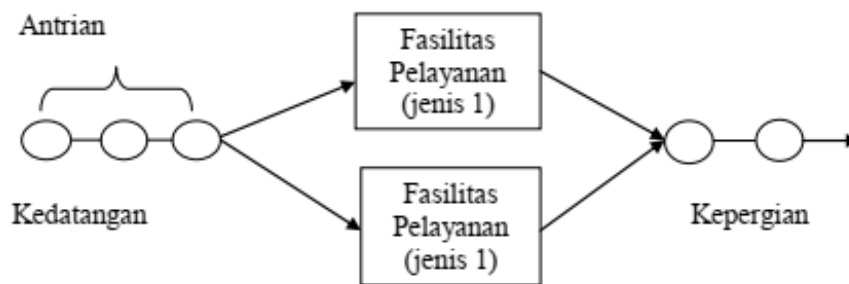
B. *Single Channel-Multi Phase* (saluran tunggal – fase berganda)

Struktur antrian pada *single channel-multi phase* ini hanya memiliki satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini memiliki dua tahap (lebih dari satu layanan), tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan. (Bahar et al. 2018)



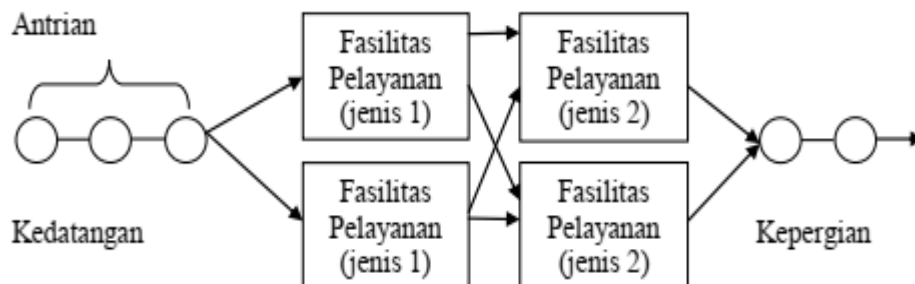
Gambar 2. 2 Model single channel-multi phase (Marthyn, 2007).

- C. *Multi Channel-Single Phase* (saluran berganda – fase tunggal)
Multi Channel single phase terjadi apabila dua atau lebih fasilitas pelayanan diakhiri oleh antrian tunggal. Sistem ini memiliki banyak tahapan yang terdapat lebih dari satu jenis layanan yang diberikan, namun dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan. (Bahar et al. 2018)



Gambar 2. 3 Model multi channel-single phase (Marthyn, 2007).

- D. *Multi Channel-Multi Phase* (saluran berganda – fase berganda)
Multi Channel-Multi Phase merupakan sistem antrian yang terdapat satu jenis layanan dalam sistem antriannya, namun terdapat lebih dari satu pemberi layanan. (Bahar et al. 2018)



Gambar 2. 4 Model multi channel-multi phase (Marthyn, 2007).

2.7.2 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:

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

Masing-masing dari komponen dalam sistem antrian tersebut mempunyai karakteristik sendiri – sendiri. Karakteristik dari komponen tersebut ialah:

2.7.3 Kedatangan populasi yang akan dilayani (calling population)

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

Distribusi *headway* dari kedatangan lalu lintas, yang mungkin saja merata (yaitu dengan *headway* konstan) atau dapat mengikuti pola kedatangan acak (*Poisson*). Kedatangan yang teratur sering kita jumpai pada proses pembuatan/pengemasan produk yang sudah distandarisasi.

2.7.4 Tingkat Pelayanan

Dalam hal ini dari pihak pemberi jasa harus mampu memberikan pelayanan prima kepada pemakai jasa jalan tol dengan mengetahui apa yang diinginkan oleh pemakai jalan tol. kelancaran jalan tol dapat menggambarkan bagaimana sebenarnya peran jalan tol dalam menunjang sistem transportasi dan sektor ekonomi (Sodikin, Bambang Riyanto, 2006). Tingkat pelayanan yang dinyatakan dengan notasi μ adalah jumlah kendaraan atau manusia yang dapat dilayani oleh suatu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit.

Selain 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:

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

Dimana:

WP : Waktu Pelayanan

μ : waktu pelayanan diperoleh dalam waktu satu jam (3.600 dtk)

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.

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

Dimana:

λ = tingkat kedatangan rata-rata

N = jumlah gardu tol

2.7.5 Mekanisme dan Jumlah Gerbang Pelayanan

Mekanisme pelayanan terdiri dari satu atau lebih fasilitas yang seri. Setiap fasilitas dapat mempunyai satu atau lebih gerbang pelayanan yang paralel. Jika sistem mempunyai lebih dari satu fasilitas pelayanan maka populasi akan menerima

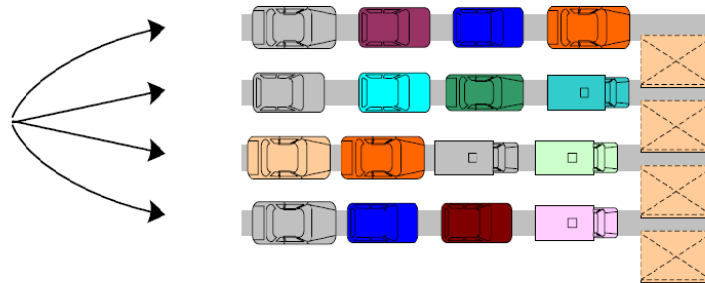
pelayanan secara seri yaitu harus melewati rangkaian pelayanan lebih dahulu, baru boleh meninggalkan sistem. Jika sistem mempunyai lebih dari satu gerbang pelayanan paralel maka beberapa populasi dapat melayani secara simultan.

Suatu model antrian disebut layanan tunggal, apabila sistem hanya mempunyai satu gerbang pelayanan dan disebut model pelayanan ganda apabila sistem mempunyai sejumlah satuan pelayanan paralel yang masing-masing dilayani oleh seperangkat pelayanan.

2.7.6 Disiplin Antrian

Disiplin antrian mempunyai penjelasan tentang bagaimana tata cara kendaraan atau manusia mengantri. Beberapa jenis disiplin antrian yang sering digunakan dalam bidang transportasi atau arus lalu lintas adalah *FIFO (First In First Out)*, *LIFO (Last In First Out)*, dan *FVFS (First Vacant First Served)* (Tamin 2003). Beberapa jenis disiplin antrian yang sering digunakan dalam bidang transportasi atau arus lalu lintas, adalah:

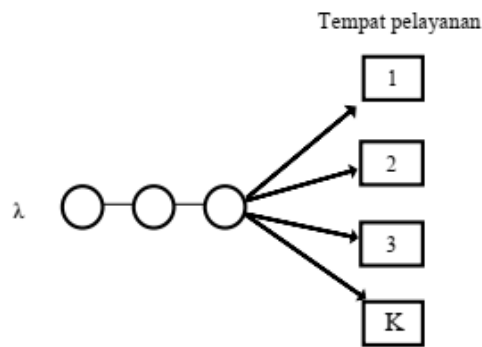
1. First In First Out (FIFO) atau First Come First Served (FCFS)



Gambar 2. 5 Disiplin antrian *FIFO*

Gambar diatas memperlihatkan bahwa bagaimana tata cara disiplin antrian FIFO. Sebagai contoh ialah kendaraan yang terbentuk didepan gerbang tol, atau antrian pada manusia untuk mengantri pembayaran di loket listrik atau telepon, antrian pada pembayaran bank, dan lain sebagainya,

2. First Vacant First Served (FVFS)



Gambar 2. 6 Displin antrian *FVFS*

Gambar diatas memperlihatkan bagaimana ilustrasi dalam tata cara disiplin *FVFS*, dan dapat dilihat disiplin antrian *FVFS* sangat sering digunakan pada loket pembayaran bank, loket listrik ataupun telepon, dan masih banyak contoh lainnya. Dengan disiplin antrian *FVFS* ini, orang yang pertama tiba akan langsung dilayani oleh tempat pelayanan yang pertama tiba akan dilayani oleh tempat pelayanan yang pertama kosong. Dalam kasus disiplin *FVFS* ini hanya mempunyai satu antrian saja (tunggal), tetapi mempunyai jumlah tempat pelayanan yang lebih dari satu.

Kinerja disiplin antrian *FVFS* akan sangat baik jika waktu pelayanan disetiap tempat pelayanan sangat bervariasi (atau dengan kata lain standar deviasi waktu pelayanan antar tempat pelayanan relative besar). Hal ini disebabkan pengguna disiplin *FIFO* akan menjadi sangat efektif jika waktu pelayanan sangat bervariasi antar tempat pelayanan, yang akan mengakibatkan panjang antrian yang tidak merata untuk setiap lajur antrian.

Salah satu kelebihan dari disiplin *FVFS* ini hanya terbentuk satu antrian saja atau tunggal. Pada prakteknya antrian tersebut dapat digantikan dengan sistem kartu tunggu sehingga secara fisik antrian tersebut tidak perlu terbentuk, karena sudah digantikan dengan nomor urut.

2.8 Parameter Antrian

Ada terdapat 4 (empat) parameter uatam yang selalu digunakan dalam menganalisis antrian, yaitu: \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} . definisi dari setiap parameter tersebut adalah:

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

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

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

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

2.8.1 Disiplin Antrian FIFO

Persamaan 2.4 – 2.7 ini merupakan dapat digunakan menghitung \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} untuk disiplin antrian FIFO (Tamin 2008).

$$\bar{n} = \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \quad (2.4)$$

$$\bar{q} = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu (\mu - (\lambda/N))} \quad (2.5)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \quad (2.6)$$

$$\bar{w} = \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \quad (2.7)$$

Dimana:

N = jumlah gardu tol

λ = tingkat kedatangan rata-rata

μ = waktu pelayanan diperoleh dalam waktu satu jam (3.600 dtk)

ρ = intensitas lalu lintas dan faktor pemakaian = $\frac{\lambda}{\mu}$

Beberapa asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FIFO adalah:

- Persamaan 2.4 – 2.7 hanya berlaku untuk lajur - tunggal dengan nilai = $\rho \frac{\lambda}{\mu} < 1$, jika nilai $\rho > 1$, maka diharuskan menambah beberapa lajur – tunggal (multilajur).
- Jika terdapat lebih dari 1 (satu) lajur katakana (N lajur), maka diasumsikan bahwa tingkat kedatangan (λ) akan membagi dirinya secara merata untuk setiap lajur sebesar $\frac{\lambda}{N}$ dimana N adalah jumlah lajur. Dengan demikian dapat diasumsikan akan terbentuk N buah antrian berlajur tunggal dimana setiap antrian berlajur – tunggal akan dapat menggunakan persamaan 2.4-2.7.

- c. Kendaraan yang sudah antri pada suatu lajur antrian diasumsikan tidak boleh berpindah antrian ke lajur lainnya.
- d. Waktu pelayanan antar tempat pelayanan diasumsikan relatif sama (atau dengan kata lain standar deviasi waktu pelayanan antar tempat pelayanan relatif kecil).

2.9 Proses Antrian

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

- a. Tahap I: pada tahap ini dimana arus lalu lintas (misalkan kendaraan) bergerak dengan kecepatan tertentu menuju ke suatu tempat pelayanan. Besarnya pada arus lalu lintas yang datang itu disebut dengan tingkat kedatangan (λ). Jika digunakan disiplin antrian *FIFO* dan terdapat dari satu tempat pelayanan (multilajur), maka dapat diasumsikan bahwa tingkat kedatangan (λ) tersebut akan membagi dirinya secara merata untuk setiap pelayanan sebesar λ/N , dimana N adalah jumlah tempat pelayanan. Dengan ini dapat diasumsikan akan terbentuk N buah antrian belajur-tunggal dimana setiap antrian berlajur-tunggal dimana setiap antrian berlajur-tunggal akan berlaku disiplin antrian *FIFO*.
- b. Tahap II: pada tahap ini dimana arus lalu lintas (kendaraan) mulai bergabung dengan antrian menunggu untuk dilayani. Jadi, waktu antrian dapat didefinisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan mulai dilayani oleh suatu tempat pelayanan.
- c. Tahap III: pada tahap ini dimana arus lalu lintas (kendaraan) dilayanin oleh satu tempat pelayanan. Jadi, waktu pelayanan (WP) dapat didefinisikan sebagai waktu sejak dimulainya kendaraan dilayani sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani.
- d. Tahap IV: pada tahap ini dimana arus lalu lintas (kendaraan) meninggalkan tempat pelayanan untuk melanjutkan perjalanannya.

Gabungan pada tahap II dan III disebut sistem antrian. Jadi waktu dalam sistem antrian dapat didefinisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani (atau meninggalkan waktu pelayanan).

2.10 Model Ongkos Dari Antrian

Model ongkos dari antrian ini digunakan untuk mendapatkan tingkat pelayanan dengan hasil yang optimal yang ditunjukkan baik dari nilai pelayanan maupun jumlah pelayanan yang ada dalam suatu sistem. Hal ini dapat dicapai dapat menyeimbangkan antara ongkos pelayanan dengan ongkos tunggu tiap pelayanan persatuan waktu.

Ongkos pelayanan waktu ini tergabung dalam pengoperasian fasilitas, sedangkan ongkos tunggu menyatakan ongkos menunggu bagi pelanggan sampai dengan pelayanan selesai. Menambah tingkat pelayanan berarti mengurangi waktu tunggu atau menambah pelayanan sebaliknya.

Tingkat pelayanan yang optimum dicapai pada ongkos gabungan yang paling rendah. Ongkos gabungan ini berupa ongkos tunggu persatuan waktu dengan pengoperasian fasilitas pelayanan persatuan waktu. Seperti yang akan dijelaskan dibawah ada dua kriteria yang dapat dioptimalkan yaitu:

- a. Nilai pelayanan
- b. Jumlah pelayanan

2.11 Analisa Kebijakan yang Dapat Dilakukan

Dalam usaha untuk meminimumkan nilai \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} terdapat beberapa kebijakan yang dapat dilakukan:

- a. Kebijakan mengurangi waktu pelayanan
- b. Kebijakan sistem tandem
- c. Kebijakan sistem pembayaran tol elektronik

2.11.1 Kebijakan Mengurangi Waktu Pelayanan

Kebijakan ini merupakan pilihan terbaik, karena dapat dikatakan tidak membutuhkan biaya besar (mungkin hanya berupa dana insentif bagi karyawan yang dapat menurunkan waktu pelayanan). Akan tetapi, waktu pelayanan tersebut hanya bisa ditekan seminimal mungkin, tidak bisa dihilangkan sama sekali.

2.11.2 Kebijakan Sistem Tandem

Bentuk dasar sistem tandem adalah dua kendaraan bergerak pada dua gerbang tol yang berurutan secara seri depan belakang, dan setiap pengumpulan tol akan melakukan transaksi tol masing-masing satu kendaraan pada waktu masuk kendaraan yang sama. Kebijakan sistem tandem merupakan usaha untuk meningkatkan kinerja pada pintu tol, karena dapat menurunkan waktu pelayanan sampai 50% (Morlok 1978; Hobbs, 1997). Sistem tandem dengan mempergunakan daerah penghalang belum lazim digunakan di Indonesia tetapi untuk memecahkan kemacetan lalu lintas pada jalan non tol akibat panjang antrian pada gerbang tol mungkin dapat digunakan sistem tandem tanpa daerah penghalang ini pasti akan menambah kapasitas gerbang untuk dapat melewati jumlah kendaraan untuk masuk ke jalan tol.

2.11.3 Kebijakan Sistem Pembayaran Tol Elektronik

Pembayaran tol elektronik merupakan sebuah adaptasi dari teknologi militer identifikasi teman atau lawan yang bertujuan untuk menghilangkan kemacetan di jalan tol. Metode ini merupakan implementasi teknologi konsep pembayaran jalan dan menentukan apakah mobil-mobil yang melewati terdaftar dalam program, alarm bagi yang tidak terdaftar, dan mendebit secara elektronik rekening dari mobil terdaftar tanpa harus berhenti, atau membuka jendela *ETC (Electronic Toll Collection)* pertama kali diperkenalkan pada 1987 di Aalesund Norwegia. Pengguna teknologi sistem pembayaran elektronik seperti penggunaan *smart card* sebagai alat pembayaran sudah digunakan pada ruas tol di Singapura dan Malaysia. Dengan ini, pengguna jalan tol tidak lagi membayar tiket di gerbang tol utama, cukup dengan menyetuh kartu ke sensor (*touch and pass*), sehingga secara langsung akan mendebit

biaya tol. Pengguna tol tidak perlu lagi berhenti lama untuk membayar tol, namun secara otomatis mengurangi *account* dimiliki pengguna tol melalui mekanisme *scanning* yang sangat cepat. Smart card seperti ini di negara maju digunakan tidak hanya di pembayaran suatu jalan tol, tapi juga digunakan untuk berbagai keperluan transportasi lainnya, misalnya juga bisa digunakan untuk kereta api, parkir, dan sebagainya.

2.12 Jenis Gardu Tol

Ada terdapat beberapa jenis gardu tol yang saat ini tersedia, yaitu:

1. Gardu Tol Konvensional
2. Gardu Tol Otomatis (GTO)
3. *Electronic Toll Collection* atau *On-Board Unit (OBU)*
4. *Multi Lane Free Flow*

2.12.1 Gardu Tol Konvensional

Gardu ini adalah gardu yang melayani pembayaran tol yang menggunakan uang biasa. Dalam Standar Pelayanan Minimum (SPM) jalan tol 2015 dikatakan bahwa sistem terbuka waktu maksimal pelayanan yang diijinkan adalah 6 detik. Untuk sistem tertutup pada gardu masuk waktu maksimal pelayanan adalah 5 detik dan gardu keluar maksimal 9 detik.

2.12.2 Gardu Tol Otomatis (GTO)

Pada gardu tol otomatis ini adalah gardu yang melayani pembayaran tol yang menggunakan kartu khusus. Kartu tersebut biasanya dapat diperoleh dari bank atau instansi yang terkait, walaupun waktu pelayanan yang diijinkan adalah 4 detik.

2.12.3 Electronic Toll Collection (ETC) dan On-Board Unit (OBU)

On-Board Unit (OBU) adalah sistem pembayaran jalan tol yang mulai dikenalkan pada tahun 1989. Pembayaran yang dilakukan menggunakan alat yang telah dipasang sisi depan kendaraan. Sistem pada pembayaran ini dapat digunakan untuk sistem tol terbuka maupun tertutup. Waktu pelayanan yang digunakan adalah

< 2 detik. Untuk cara yang terakhir hanya beberapa tol gate saja yang menggunakannya di Indonesia. (Hafizah et al., 2021).

2.12.4 Multi Lane Free Flow (MLFF)

Di Indonesia sistem transaksi ini sudah mulai diterapkan dengan sebutan MLLF (*Multi Lane Free Flow*). Sistem transaksi ini dianggap sangat efektif dalam mengurangi antrian, dikarenakan cara kerja dari sistem ini merupakan pembayaran tarif tol tanpa berhenti. Gerbang tol Kalimalang II sudah melakukan uji coba sistem ini dengan hasil waktu pelayanan kurang dari 1 detik/kendaraan, dan kendaraan dalam keadaan melaju dengan kecepatan 62 km/jam.

BPJT Kemempu menjelaskan perbedaan signifikan dari kedua jenis pembayaran *e-toll* menggunakan sistem MLFF dan OBU terletak pada perangkat yang digunakan MLFF penggunaannya menggunakan aplikasi pada ponsel untuk menentukan titik masuk dan keluar pada pintu tol yang berteknologi GNSS (*Global Navigation Satelite System*). Sedangkan OBU perangkatnya ditempel didalam kendaraan untuk melakukan transaksi. Kedua perangkat ini sama – sama menghasilkan waktu pelayanan menjadi < 1 detik/kendaraan.

2.13 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)

Modul mengenai ketentuan perhitungan kapasitas dalam pelaksanaan perencanaan dan evaluasi kinerja lalu lintas jalan bebas hambatan meliputi :

1. Kapasitas jalan (C), dan Kinerja lalu lintas jalan yang diukur oleh derajat kejenuhan (D_j)
2. Kecepatan tempuh (V_T), dan waktu tempuh (T_T)

Dalam pelaksanaan perencanaan kapasitas Jalan Bebas Hambatan (JBH), perlu memperhatikan karakteristik utama JBH karena berpengaruh pada kapasitas dan kinerjanya, karakteristik utama yang harus diperhatikan adalah :

- Unsur geometrik jalan
 1. Lebar jalur lalu lintas
 2. Karakteristik bahu
 3. Median

4. Lengkung vertikal

5. Lengkung horizontal

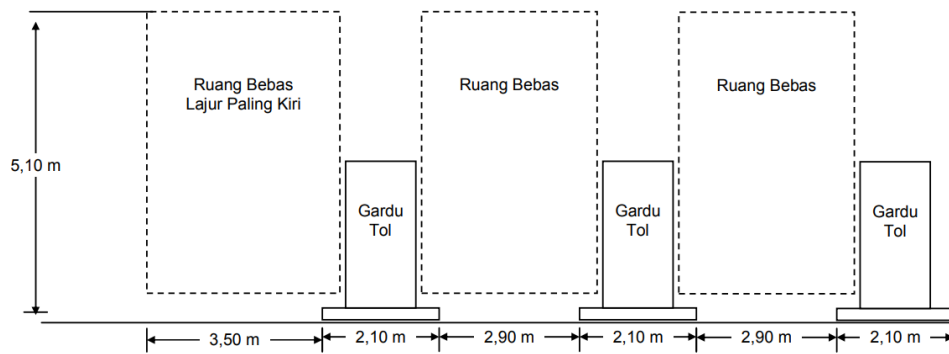
- Arus dan komposisi lalu lintas. Diukur dalam satuan kend./jam dan komposisi lalu lintas akan mempengaruhi kapasitas, pengkonversian tiap-tiap jenis kendaraan ke dalam satuan kendaraan ringan (skr).
- Perambuan dan manajemen lalu lintas.
- Perilaku pengemudi dan populasi kendaraan (umur, tenaga mesin, dan kondisi kendaraan dalam setiap komposisi kendaraan).

Sebagai bahan pertimbangan dalam pelaksanaan perencanaan jalan bebas hambatan (JBH) harus memiliki kinerja lalu lintas yang optimum. Tujuan perencanaan dan analisis oprasional untuk peningkatan ruas JBH yang sudah ada umumnya berupa perbaikan-perbaikan kecil terhadap geometrik jalan untuk mempertahankan kinerja lalu lintas. Dalam hal ini pertimbangan disusun kedalam tabel dibawah ini sebagai bahan pertimbangan umum perencanaan keselamatan lalu lintas.(Kementerian Pekerjaan Umum, 2014).

2.14 Pelataran Tol dan Gerbang Tol

Menurut peraturan, pelataran tol (*tollplaza*) adalah daerah atau bagian dari jalan tol dengan bentuk geometris yang lebih lebar dan lebih normal jalan tol dimana gerbang tol ditempatkan. Untuk merencanakan pelataran tol dan gerbang tol, digunakan persyaratan perencanaan menurut Bina Marga tentang geometri jalan bebas hambatan. Perencanaan pelataran tol dan gerbang tol harus memperhatikan hal-hal seperti kelancaran lalu lintas, keamanan dan efisiensi pengoperasian, pandangan bebas.

Dalam peraturan tersebut juga diatur untuk lebar lajur lalu lintas pada gerbang tol adalah 2,90m dan lebar pulau tol 2,10m dengan panjang minimum 25m untuk lajur searah, dan untuk lajur bolak balik 33m. untuk melayani kendaraan yang bersifat khusus contohnya angkutan dengan kendaraan ekstra lebar maka pada lajur paling luar (kiri) dibuat dengan minimal lebar 3,50m. pada gambar dibawah ini akan memperlihatkan ruang bebas pada gerbang tol.

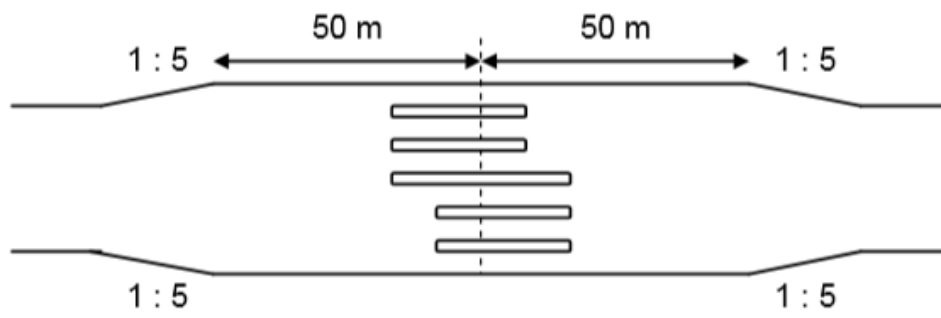


Gambar 2. 7 Ruang pada gerbang tol

Kemiringan melintang permukaan perkerasan pada pelataran tol minimal 1,0% dan maksimum 2,0%. Pada tol Gempol – Pasuruan, gerbang tol yang ada merupakan gerbang tol ramp yang menghubungkan jalan non tol dengan jalan utama tol. Pelebaran pelataran tol *ramp* memerlukan *taper* yang berfungsi untuk awal lajur percepatan/perlambatan secara serong menuju gardu tol yang ada. Pada table 2.1 dibawah ini menjelaskan panjang *taper* minimum yang digunakan dan pada gambar 2.8 merupakan gambar sketsa kemiringan *taper* maksimum pelataran tol.

Tabel 2. 1 Panjang minimum taper

Kecepatan rencana (km/jam)	Panjang taper min (m)	
	Memisah	Menggabung
120	135	270
100	113	225
80	90	180
60	42	84



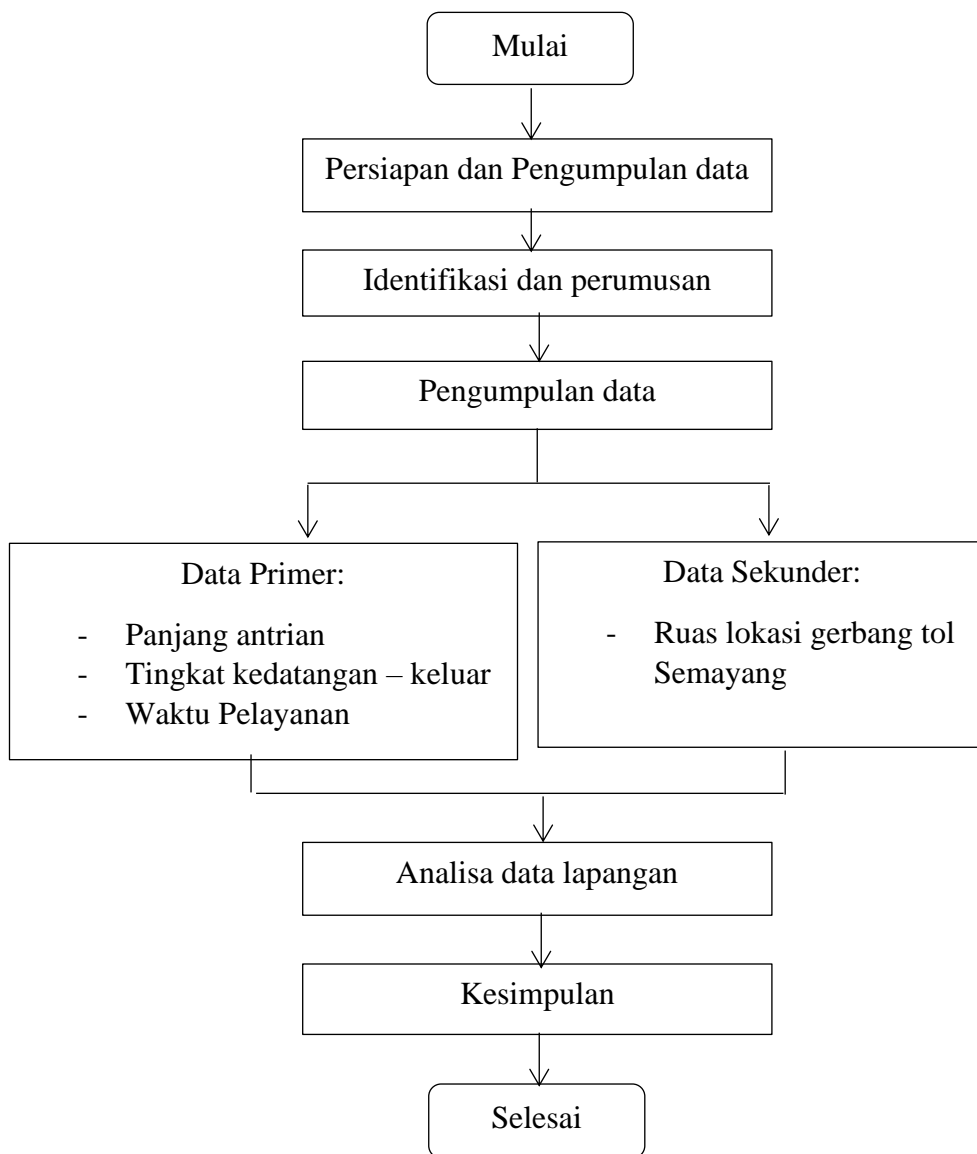
Gambar 2. 8 Pelataran tol pada gerbang tol ramp

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Rencana Kegiatan Penelitian

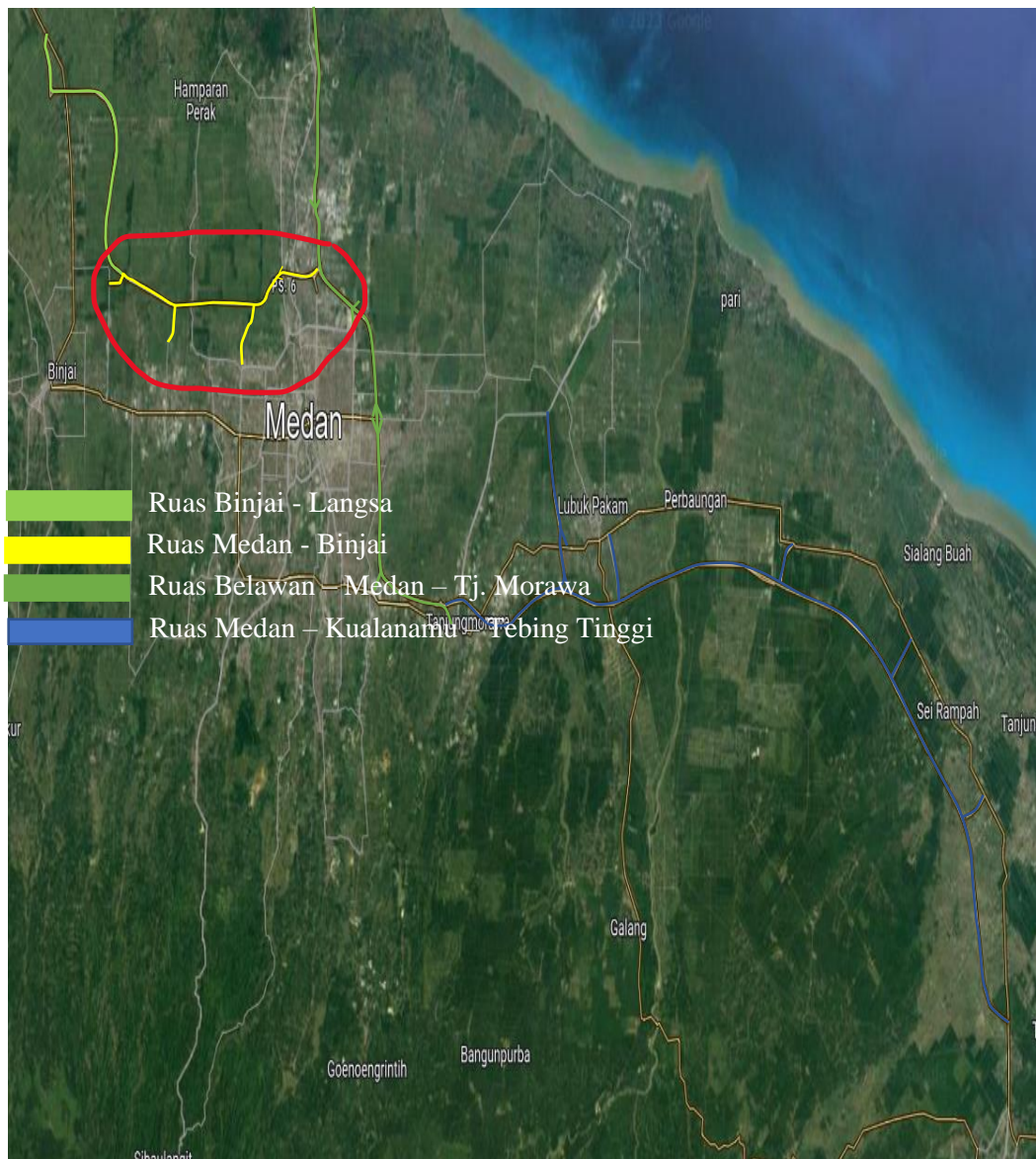
Dalam melakukan kegiatan penelitian diperlukan kerangka kerja yang berisi skema penelitian dari awal sampai dengan diperolehnya suatu kesimpulan. Untuk itu maka perlu dibuat suatu metode penelitian yang dapat dilihat seperti gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Bagan Alir

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gerbang Tol Semayang, Kecamatan Sunggal, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Untuk detail lokasi penelitian ini lebih jelasnya di tampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 2 Ruas Lokasi Gerbang Tol Semayang

3.3 Tahapan Pekerjaan

Data yang dibutuhkan untuk penelitian langsung diambil dari lapangan dengan mengadakan survei lapangan, sebelum melakukan survey ke lapangan perlu dilakukan survei di awal untuk melihat situasi/kondisi di gerbang tol Semayang. Pengambilan data dilakukan pada 2 gardu *exit* (kelur) dan 2 gardu *arrival* (masuk) yang sedang beroperasi. Pengambilan waktu service time dilakukan pada saat kendaraan berhenti didepan gardu loket untuk mengadakan transaksi (saat pembayaran tol sedang berlangsung) sampai kendaraan tersebut bergerak meninggalkan gardu. Survei ini dibutuhkan untuk mengetahui jam-jam puncak (*peak hour*) atau saat-saat kapan saja terjadinya kemacetan di gerbang tol Semayang.

3. Pengambilan data
4. Pelaksanaan pengumpulan data
5. Pengolahan data

3.4 Pengambilan Data

Dalam melakukan penelitian ini, perlu direncanakan apa-apa saja Pengumpulan data yaitu :

1. Survei Pendahuluan (*Observasi*)

Ada beberapa hal yang dilakukan pada survey ini:

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

2. Cara Kerja

Adapun tugas surveyor saat berlangsung sebagai berikut:

- a. Mencatat formulir penelitian yang telah dibagikan.
- b. Bertanggung jawab mengikuti pembagian lajur dan arah kendaraan.

3. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian diambil pada waktu dibawah ini:

1. Pagi : 07.00 – 09.00 WIB
2. Siang : 11.00 – 13.00 WIB
3. Sore : 16.00 – 18.00 WIB

Pelaksanaan pengumpulan data dilakukan pada hari Senin 13 Februari 2023 sampai hari Minggu 19 Februari 2023. Pada saat pelaksanaan berlangsung, surveyor mencatat jumlah antrian kendaraan gerbang tol Semayang. Dimana kendaraan yang ditinjau diklasifikasikan kedalam :

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

3.5 Pengambilan Data Primer

Pengambilan data primer dilakukan langsung dilapangan dengan mengadakan survei lapangan. Survey dilakukan pada tiap gardu keluar yang beroperasi di Gerbang Tol Semayang. Data-data yang diambil sewaktu melakukan survey adalah:

- Waktu pelayanan (*service time*), dilakukan pada saat kendaraan berhenti di depan gardu (loket) untuk mengandakan transaksi (saat pembayaran tol sedang berlangsung) sampai kendaraan tersebut bergerak meninggalkan gardu.
- Panjang antrian dilakukan dengan mengukur panjang antrian yang terjadi sesaat setelah kendaraan berada tepat didepan gardu untuk melakukan transaksi.
- Tingkat kedatangan dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang datang dalam tiap menitnya.
- Tingkat pelayanan dilakukan untuk menghitung bagaimana pelayanan yang diberikan oleh pihak operator gardu tol.

3.6 Pengambilan Data Sekunder

Pengambilan data sekunder, diperoleh dari pihak PT. Hutama Karya selaku pengelola jalan tol Semayang. Data yang diambil adalah ruas lokasi gerbang tol Semayang.

3.7 Penyusunan Data

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

- a. Tingkat kedatangan (λ)
- b. Tingkat pelayanan (μ)
- c. Panjang antrian (q)
- d. Waktu pelayanan / *service time* (t)

BAB 4

ANALISA DATA

4.1 Perhitungan Tingkat Kedatangan Masuk (*Entrance*)

Dari data hasil *survey entrance* pada gerbang tol Semayang, diketahui bahwa arus pergerakan terbesar (λ) 665 kendaraan/jam.

Perhitungan *entrance*

Tempat : Gerbang tol Semayang

Tangga/ Hari : 16 Februari 2023

Waktu : 07.00-09.00, 11.00-13.00, 16.00-18.00

Tabel 4. 1 Data Survei Tingkat Kedatangan Masuk Gerbang Tol Semayang

No	Jam	Jumlah Kendaraan
1	07.00-09.00	725
2	11.00-13.00	553
3	16.00-18.00	716
TOTAL		1994

$$\lambda = \frac{1994}{3} = 665 \text{ kendaraan/ jam}$$

4.1.1 Perhitungan Tingkat Kedatangan Keluar (*Exit Level*)

Dari data hasil *survey Exit level* pada gerbang tol Semayang, diketahui bahwa arus pergerakan terbesar (λ) 505 kendaraan/jam.

Perhitungan *exite level*

Tempat : Gerbang tol Semayang

Tangga/ Hari : 16 Februari 2023

Waktu : 07.00-09.00, 11.00-13.00, 16.00-18.00

Tabel 4. 2 Data Survei Tingkat Keluar Gerbang Tol Semayang

No	Jam	Jumlah Kendaraan
1	07.00-09.00	523
2	11.00-13.00	458
3	16.00-18.00	534
TOTAL		1515

$$\lambda = \frac{1515}{3} = \approx 505 \text{ kendaraan/ jam}$$

4.2 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan *Entrance (Service Time)*

Dari data service time pada gerbang tol Semayang dengan 2 gardu masuk di peroleh waktu transaksi rata – rata baerikut:

Tabel 4. 3 Data survei perhitungan waktu pelayanan

Gardu	Waktu Pelayanan Rata – Rata (dtk)
01	4,05
02	6,12

Dengan waktu pelayanan yang diperoleh dari hasil survei lapangan, perlu diperhitungkan juga kondisi ideal waktu pelayanan pada suatu gerbang tol agar tercapainya optimalisasi kinerja waktu pelayanan pada satu gerbang tol. Kondisi ideal waktu pelayanan (WP) yang dibutuhkan pada suatu gerbang tol, diperhitungkan dari arus pergerakan terbesar (λ), maka waktu pelayanan pada masuk yang ideal pada gerbang tol Semayang dengan 2 gardu masuk dapat diketahui, yaitu:

$$\lambda = 665 \text{ kendaraan/ jam}$$

$$N = 2$$

$$r = \frac{665}{2}$$

diperoleh : $r = 332,5 \approx 333$ kendaraan/ jam.

Jadi waktu pelayanan yang dibutuhkan adalah

$$WP = \frac{3600}{333}$$

$$WP = 10,8 \text{ detik/ kendaraan}$$

Berdasarkan tingkat kedatangan sebesar perhitungan 665 kendaraan/ jam, diperoleh data kondisi ideal waktu pelayanan dilapangan pada gerbang tol Semayang selama 10 detik/kendaraan,dan berdasarkan hasil survei diperoleh waktu pelayanan maksimal 6 detik/kendaraan.

4.2.2 Waktu Pelayanan Tingkat Kedatangan *Exit (Service Time)*

Dari data service time pada gerbang tol Semayang dengan 2 gardu keluar di peroleh waktu transaksi rata – rata berikut:

Tabel 4. 4 Data survei perhitungan waktu pelayanan

Gardu	Waktu Pelayanan Rata – Rata (dtk)
03	6,02
04	9,05

Dengan waktu pelayanan yang diperoleh dari hasil survei lapangan, perlu diperhitungkan juga kondisi ideal waktu pelayanan pada suatu gerbang tol agar tercapainya optimalisasi kinerja waktu pelayanan pada satu gerbang tol. Kondisi ideal waktu pelayanan (WP) yang dibutuhkan pada suatu gerbang tol, diperhitungkan dari arus pergerakan terbesar (λ), maka waktu pelayanan pada masuk yang ideal pada gerbang tol Semayang dengan 2 gardu keluar dapat diketahui, yaitu:

$$\lambda = 505 \text{ kendaraan/ jam}$$

$$N = 2$$

$$r = \frac{505}{2}$$

diperoleh : $r = 252,5 \approx 253$ kendaraan/ jam.

Jadi waktu pelayanan yang dibutuhkan adalah

$$WP = \frac{3600}{252}$$

$$WP = 14,28 \approx 14 \text{ detik/ kendaraan}$$

Berdasarkan tingkat keluar sebesar perhitungan 505 kendaraan/ jam, diperoleh data kondisi ideal waktu pelayanan dilapangan pada gerbang tol Semayang selama 14 detik/kendaraan, dan berdasarkan hasil survei dilapangan diperoleh waktu pelayanan maksimal rata-rata 9 detik/kendaraan.

4.3 Perhitungan Jumlah Pintu Gerbang (Gardu)

Dengan data hasil *survey arrival* dan *exit level* pada gerbang tol Semayang, dalam mengendalikan arus pergerakan yang besar dan waktu pelayanan yang sangat singkat, diperhitungkan jumlah gardu yang akan dibutuhkan agar tercapai optimalisasi kinerja pada suatu gerbang gerbang tol.

4.3.1 Gardu Tol Masuk

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

$$\lambda = 665 \text{ kendaraan/jam ; } WP = 4 \text{ detik}$$

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{900} = 0,36 < 1 \end{aligned}$$

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 $\lambda = 665$ kendaraan/jam ; WP = 5 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{720} = 0,46 < 1\end{aligned}$$

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 $\lambda = 665$ kendaraan/ jam ; WP = 6 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{600} = 0,55 < 1\end{aligned}$$

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 $\lambda = 665$ kendaraan/ jam ; WP = 7 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{514} = 0,64 < 1\end{aligned}$$

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) 7 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

5. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 8 detik/kendaraan dengan $\lambda = 665$ kendaraan/ jam ; WP = 8 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{450} = 0,73 < 1\end{aligned}$$

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) 8 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

6. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 9 detik/kendaraan dengan $\lambda = 665$ kendaraan/ jam ; WP = 9 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{400} = 0,83 < 1\end{aligned}$$

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) 9 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

7. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 10 detik/kendaraan dengan $\lambda = 665$ kendaraan/ jam ; WP = 10 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{360} = 0,92 < 1\end{aligned}$$

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.

- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 10 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

8. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 11 detik/kendaraan dengan $\lambda = 665$ kendaraan/ jam ; WP = 11 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{665/2}{327} = 1,01 > 1\end{aligned}$$

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 :

$$\frac{655/N}{327} < 1$$

$$N > 1,01$$

$$N = 3$$

- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 11 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

4.3.2 Gardu Tol Keluar

1. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 4 detik/kendaraan dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 4 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{900} < 1 \\ &= 0,28 < 1\end{aligned}$$

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 $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 5 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{720} < 1 \\ &= 0,35 < 1\end{aligned}$$

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 $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 6 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{600} < 1 \\ &= 0,42 < 1\end{aligned}$$

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 $\lambda = 505$ kendaraan/jam ; WP = 7 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{514} < 1 \\ &= 0,49 < 1\end{aligned}$$

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) 7 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

5. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 8 detik/kendaraan dengan $\lambda = 505$ kendaraan/jam ; WP = 8 detik

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

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{450} < 1 \\ &= 0,56 < 1 \end{aligned}$$

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) 8 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

6. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 9 detik/kendaraan dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 9 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{400} < 1 \\ &= 0,63 < 1 \end{aligned}$$

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) 9 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

7. Perhitungan gartu tol dengan menggunakan (WP) = 10 detik/kendaraan dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 10 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{360} < 1 \\ &= 0,70\end{aligned}$$

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) 10 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

8. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 11 detik/kendaraan dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 11 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{327} < 1 \\ &= 0,77 < 1\end{aligned}$$

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) 11 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

9. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 12 detik/kendaraan dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 12 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{300} < 1 \\ &= 0,84 < 1\end{aligned}$$

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) 12 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

10. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 13 detik/kendaraan dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 13 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{13} = 277\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{277} < 1 \\ &= 0,91 < 1\end{aligned}$$

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) 13 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

11. Perhitungan gartu tol dengan menggunakan (WP) = 14 detik/kendaraan

dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 14 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{14} = 257\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{257} < 1 \\ &= 0,98\end{aligned}$$

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) 14 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

12. Perhitungan gartu tol dengan menggunakan (WP) = 15 detik/kendaraan

dengan $\lambda = 505$ kendaran/jam ; WP = 15 detik

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{3600}{WP} \\ &= \frac{3600}{15} = 240\end{aligned}$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{505/2}{240} < 1 \\ &= 1,05 > 1\end{aligned}$$

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 :

$$\frac{505/N}{240} < 1$$

$$N > 1,05$$

$$N = 3$$

- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 15 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 3 gardu tol.

4.4 Perhitungan Antrian pada Pintu Tol Masuk (Antrian FIFO)

1. Perhitungan Gardu Tol dengan menggunakan (WP) = 4 detik/kendaraan

Diketahui : $\mu = 900$

$$\lambda = 665$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{665}{2}}{900 - \left(\frac{665}{2}\right)}$$

$$= 0,585 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(665/2)^2}{900(900 - (665/2))}$$

$$= 0,216 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{900 - \left(\frac{665}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 6,34 \approx 6 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{665}{2}\right)}{900 \left(900 - \left(\frac{665}{2}\right)\right)} \times 3600$$

$$= 2,34 = 3 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 720$

$\lambda = 665$

$N = 2$

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

$$= \frac{\frac{665}{2}}{720 - \left(\frac{665}{2}\right)}$$

$$= 0,858 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(665/2)^2}{720(720 - (665/2))}$$

$$= 0,396 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{720 - \left(\frac{665}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 9,29 \approx 9 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{665/2}{720(720 - \left(\frac{665}{2}\right))} \times 3600$$

$$= 4,29 \approx 4 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 600$

$$\lambda = 665$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{665}{2}}{600 - \left(\frac{665}{2}\right)} \\ &= 1,24 = 2 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(665/2)^2}{600(600 - (665/2))} \\ &= 0,66 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{600 - \left(\frac{665}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 13,45 \approx 13 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{665}{2}\right)}{600\left(600 - \left(\frac{665}{2}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 7,45 \approx 7 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 514$

$$\lambda = 665$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{665}{2}}{514 - \left(\frac{665}{2}\right)}\end{aligned}$$

$$= 1,831 = 2 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(668/2)^2}{514(514 - (668/2))}$$

$$= 1,19 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{514 - (\frac{668}{2})} \times 3600$$

$$= 20 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{(\frac{665}{2})}{514(514 - (\frac{665}{2}))} \times 3600$$

$$= 12,83 \approx 13 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 450$

$$\lambda = 655$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{655}{2}}{450 - (\frac{655}{2})}$$

$$= 2,673 = 3 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(655/2)^2}{450(450 - (655/2))}$$

$$= 1,945 = 2 \text{ kendaraan}$$

$$\begin{aligned}
&= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{450 - \left(\frac{655}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 29,38 \approx 29 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{(655/2)}{450(450 - (655/2))} \times 3600 \\
&= 21,71 = 22 \text{ detik}
\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 400$

$\lambda = 655$

$N = 2$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\
&= \frac{\frac{655}{2}}{400 - \left(\frac{655}{2}\right)} \\
&= 4,517 = 5 \text{ kendaraan} \\
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(655/2)^2}{400(400 - (655/2))} \\
&= 2,763 = 3 \text{ kendaraan} \\
&= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{400 - \left(\frac{655}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 49,65 \approx 50 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600
\end{aligned}$$

$$= \frac{(655/2)}{400(400 - (655/2))} \times 3600$$

$$= 40,65 = 41 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 360$

$$\lambda = 655$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{655}{2}}{360 - \left(\frac{655}{2}\right)}$$

$$= 10,076 = 10 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(655/2)^2}{360(360 - (655/2))}$$

$$= 9,167 = 9 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{360 - \left(\frac{655}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 110,76 \approx 111 \text{ detik}$$

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

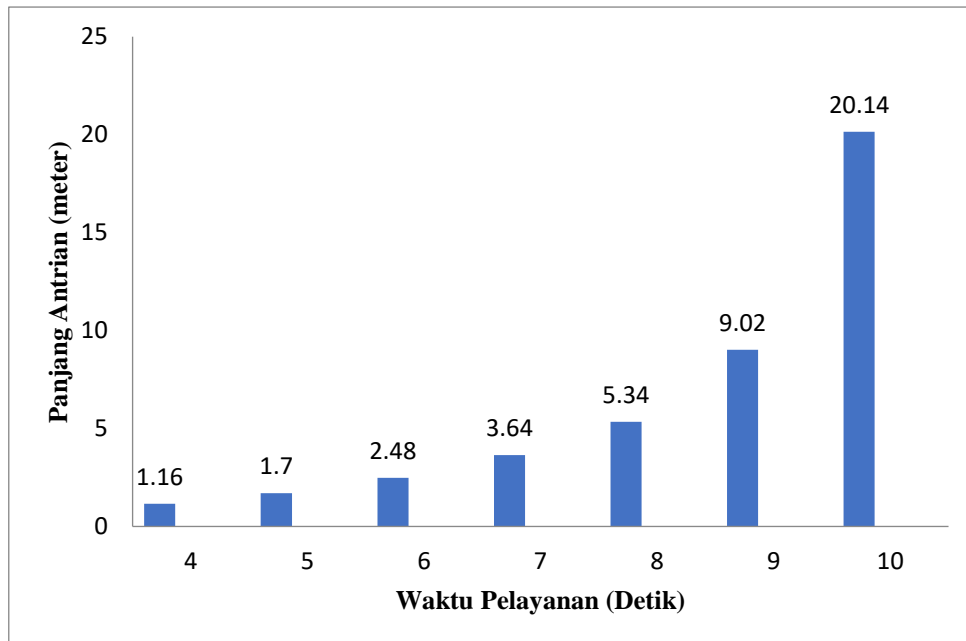
$$= \frac{(655/2)}{360(360 - (655/2))} \times 3600$$

$$= 100,76 = 101 \text{ detik}$$

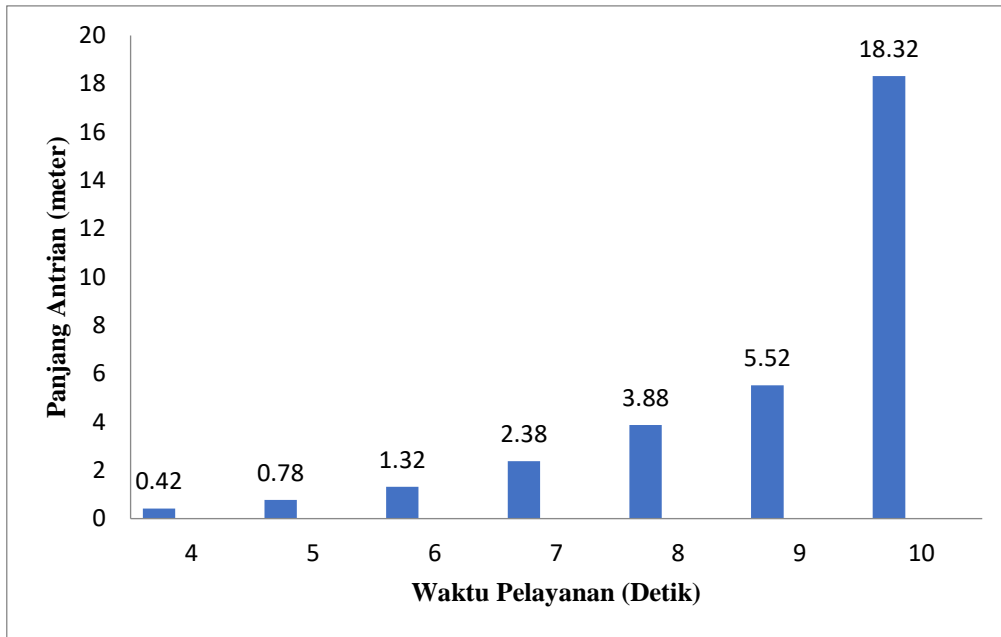
Tabel 4. 5: Rekapitulasi jumlah kendaraan masuk pada 2 pintu tol.

Jumlah 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	0,58	1,16	0,21	0,42	6,34	2,34
2	720	0,85	1,7	0,39	0,78	9,29	4,29
2	600	1,24	2,48	0,66	1,32	13,45	7,45
2	514	1,83	3,64	1,19	2,38	20	12,83
2	450	2,67	5,34	1,94	3,88	29,38	21,73
2	400	4,51	9,02	2,76	5,52	49,65	40,65
2	360	10,07	20,14	9,16	18,32	110,76	100,76

Grafik 4.1 dan grafik 4.2 (untuk gardu masuk) memperlihatkan bahwa semakin tinggi waktu pelayanan yang digunakan maka semakin panjang antrian kendaraan \bar{n} dan \bar{q} , demikian juga sebaliknya apabila waktu pelayanan semakin kecil maka panjang antrian kendaraan juga semakin kecil.

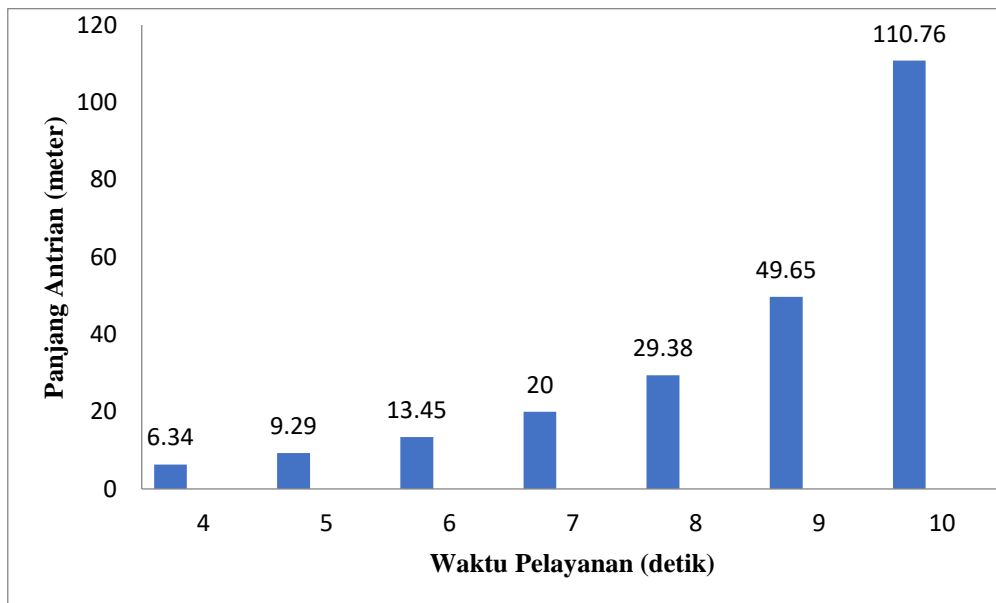


Gambar 4. 1: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{n} (panjang antrian)

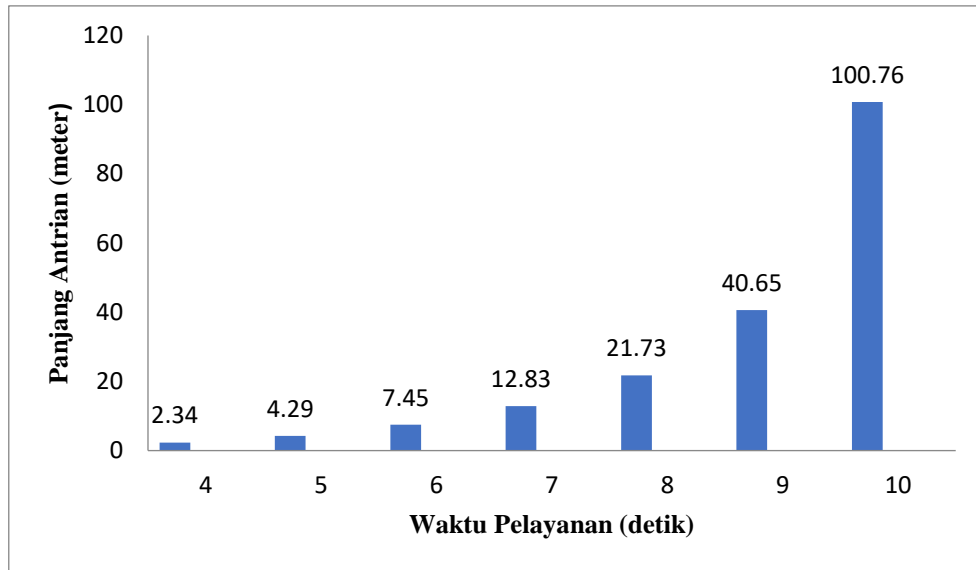


Gambar 4. 2: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{q} (panjang antrian)

Grafik 4.3 dan grafik 4.4 (untuk gardu masuk) memperlihatkan bahwa waktu antrian d dan w akan semakin tinggi apabila waktu pelayanan semakin tinggi, demikian juga sebaliknya apabila waktu antrian semakin kecil maka waktu pelayanan juga semakin kecil.



Gambar 4. 3: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{d} (waktu tunggu)



Gambar 4. 4: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{w} (waktu antrian)

4.4.1 Perhitungan Antrian pada Pintu Tol Keluar (Antrian FIFO)

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

Diketahui : $\mu = 900$

$\lambda = 505$

$N = 2$

$$\begin{aligned} \bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{505}{2}}{900 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\ &= 0,38 = 1 \text{ kendaraan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(505/2)^2}{900(900 - (505/2))} \\ &= 0,10 = 1 \text{ kendaraan} \\ &= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{900 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \end{aligned}$$

$$= 5,55 \approx 6 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{(\frac{505}{2})}{900(900 - (\frac{505}{2}))} \times 3600$$

$$= 1,55 \approx 2 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 720$

$$\lambda = 505$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{505}{2}}{720 - (\frac{505}{2})}$$

$$= 0,54 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(505/2)^2}{720(720 - (505/2))}$$

$$= 0,18 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{720 - (\frac{505}{2})} \times 3600$$

$$= 7,70 \approx 8 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{(505/2)}{720(720 - (505/2))} \times 3600$$

$$= 2,70 \approx 3 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 600$

$\lambda = 505$

$N = 2$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{505}{2}}{600 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\ &= 0,72 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(505/2)^2}{600(600 - (505/2))} \\ &= 0,30 = 1 \text{ kendaraan} \\ &= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{600 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 10,35 \approx 10 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{(505/2)}{600(600 - (505/2))} \times 3600 \\ &= 4,35 \approx 4 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 514$

$\lambda = 505$

$N = 2$

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{\frac{505}{2}}{514 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\
&= 0,96 = 1 \text{ kendaraan} \\
&= \bar{q} = \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(505/2)^2}{514(514 - (505/2))} \\
&= 0,47 = \text{kendaraan} \\
&= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{514 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 13,76 \approx 14 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{(505/2)}{514(514 - (505/2))} \times 3600 \\
&= 6,76 \approx 7 \text{ detik}
\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 450$

$\lambda = 505$

$N = 2$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\
&= \frac{\frac{505}{2}}{450 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\
&= 1,27 = 2 \text{ kendaraan} \\
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(505/2)^2}{450(450 - (505/2))}
\end{aligned}$$

$$= 0,71 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{450 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 18,22 \approx 18 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{(505/2)}{450(450 - (505/2))} \times 3600$$

$$= 10,22 \approx 10 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 400$

$$\lambda = 505$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{505}{2}}{400 - \left(\frac{505}{2}\right)}$$

$$= 1,71 = 2 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(505/2)^2}{400(400 - (505/2))}$$

$$= 1,08 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{400 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 24,40 \approx 25 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{(505/2)}{400(400 - (505/2))} \times 3600 \\ &= 15,40 \approx 16 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 360$

$\lambda = 505$

$N = 2$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{505}{2}}{360 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\ &= 2,34 = 3 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(505/2)^2}{360(360 - (505/2))} \\ &= 1,64 = 2 \text{ kendaraan} \\ &= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{360 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 33,48 \approx 25 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{(505/2)}{360(360 - (505/2))} \times 3600 \\ &= 23,48 \approx 24 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 327$

$$\lambda = 505$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{505}{2}}{327 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\ &= 3,38 = 4 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(505/2)^2}{327(327 - (505/2))} \\ &= 2,61 = 3 \text{ kendaraan} \\ \bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{327 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 48,32 \approx 4 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{(505/2)}{327(327 - (505/2))} \times 3600 \\ &= 37,31 \approx 37 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 300$

$$\lambda = 505$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{505}{2}}{300 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\ &= 5,31 = 6 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(505/2)^2}{300(300 - (505/2))} \\
&= 4,47 = 5 \text{ kendaraan} \\
&= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{300 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 75,78 \approx 76 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{(505/2)}{300(300 - (505/2))} \times 3600 \\
&= 63,78 \approx 64 \text{ detik}
\end{aligned}$$

10. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 13 detik/kendaraan

Diketahui : $\mu = 277$
 $\lambda = 505$
 $N = 2$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\
&= \frac{\frac{505}{2}}{277 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\
&= 10,30 = 10 \text{ kendaraan} \\
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(505/2)^2}{277(277 - (505/2))} \\
&= 9,39 = 9 \text{ kendaraan} \\
&= \bar{d} = \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{277 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 146,93 \approx 147 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{(505/2)}{277(277 - (505/2))} \times 3600 \\
&= 133,94 \approx 134 \text{ detik}
\end{aligned}$$

11. Perhitungan gardu tol dengan menggunakan (WP) = 14 detik/kendaraan

Diketahui : $\mu = 257$

$\lambda = 505$

$N = 2$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\
&= \frac{\frac{505}{2}}{257 - \left(\frac{505}{2}\right)} \\
&= 56,11 = 56 \text{ kendaraan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(505/2)^2}{257(257 - (505/2))} \\
&= 55,12 = 55 \text{ kendaraan} \\
\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{257 - \left(\frac{505}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 800 \text{ detik}
\end{aligned}$$

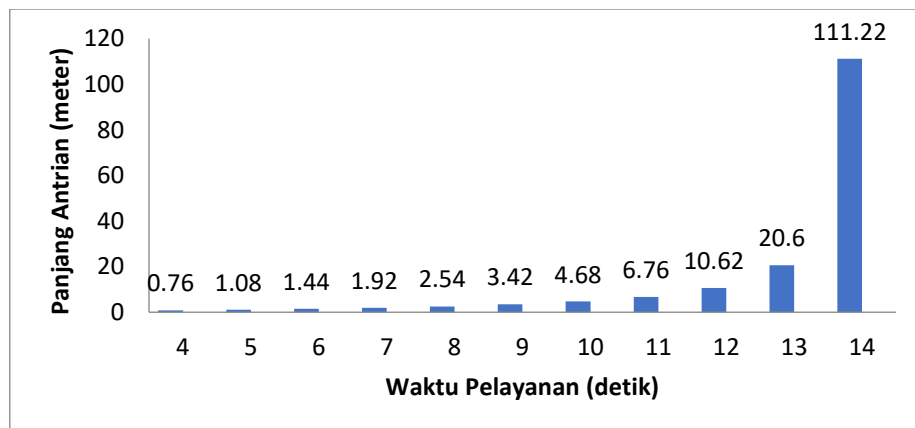
$$\begin{aligned}
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{(505/2)}{257(257 - (505/2))} \times 3600
\end{aligned}$$

$$= 785,99 \approx 786 \text{ detik}$$

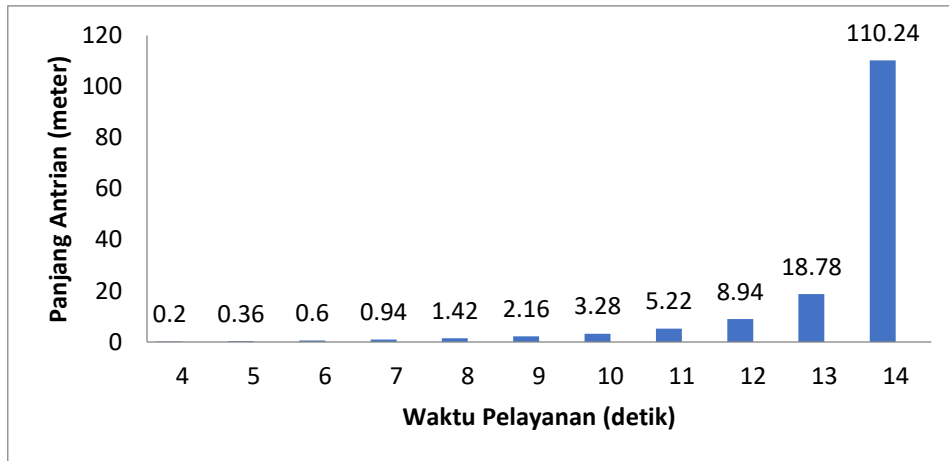
Tabel 4. 6: Rekapitulasi jumlah kendaraan keluar pada 2 pintu tol.

Jumlah 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	0,38	0,76	0,10	0,2	5,55	1,55
2	720	0,54	1,08	0,18	0,36	7,70	2,70
2	600	0,72	1,44	0,30	0,6	10,35	4,35
2	514	0,96	1,92	0,47	0,94	13,76	6,67
2	450	1,27	2,54	0,71	1,42	18,22	10,22
2	400	1,71	3,42	1,08	2,16	24,40	15,40
2	360	2,34	4,68	1,64	3,28	33,48	23,48
2	327	3,38	6,76	2,61	5,22	48,32	37,31
2	300	5,31	10,62	4,47	8,94	75,78	63,78
2	277	10,30	20,6	9,39	18,78	146,93	133,94
2	257	56,11	112,22	55,12	110,24	800	785,99

Grafik 4.5 dan grafik 4.6 (untuk gardu keluar) memperlihatkan bahwa semakin tinggi waktu pelayanan yang digunakan maka semakin panjang antrian kendaraan \bar{n} dan \bar{q} , demikian juga sebaliknya apabila waktu pelayanan semakin kecil maka anjang antrian kendaraan juga semakin kecil.

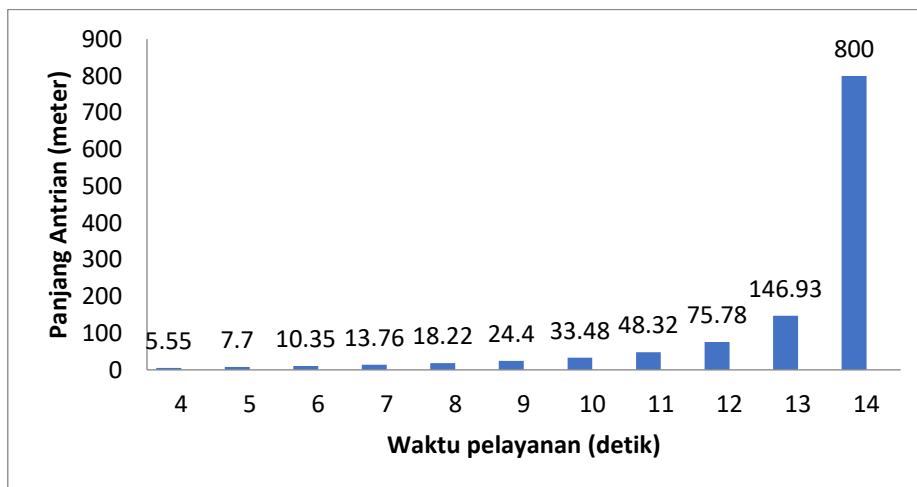


Gambar 4. 5: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{n} (panjang antrian)

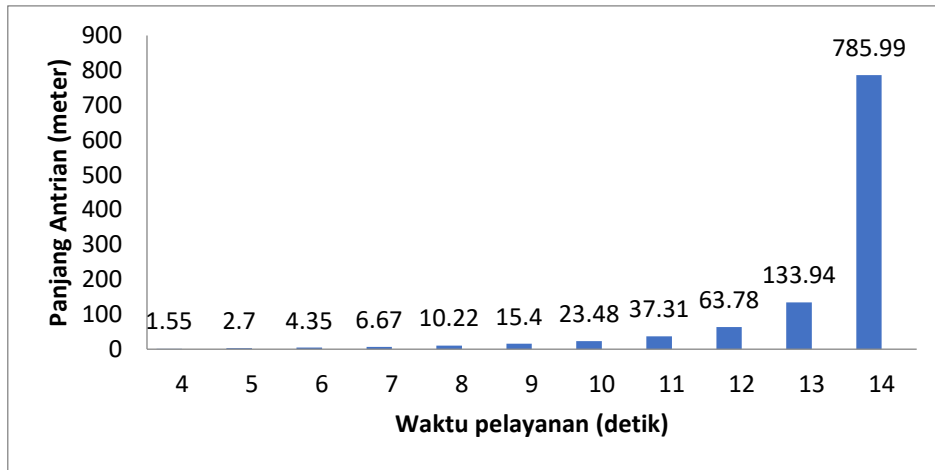


Gambar 4. 6: Grafik Hubungan Waktu pelayanan dengan \bar{q} (panjang antrian)

Grafik 4.7 dan grafik 4.8 (untuk gardu masuk) memperlihatkan bahwa waktu antrian d dan w akan semakin tinggi apabila waktu pelayanan semakin tinggi, demikian juga sebaliknya apabila waktu antrian semakin kecil maka waktu pelayanan juga semakin kecil.



Gambar 4. 7: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan \bar{d} (waktu tunggu)



Gambar 4. 8: Grafik Hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{w} (waktu antrian)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis dari survei yang dilakukan pada hari Kamis 16 Februari 2023 pukul 07.00-18.00 WIB di gerbang tol Semayang yang dapat diketahui jumlah antrian yang terjadi pada saat waktu pelayanan maksimal 6 detik untuk gardu masuk dengan menggunakan perhitungan disiplin antrian FIFO di dapatkan hasil : gardu tol masuk $\bar{q}= 1,32$ kendaraan (2 kendaraan), dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa jumlah antrian pada gerbang tol Semayang masih memenuhi standar pelayanan maksimal (SPM) jalan tol sebanyak 3 kendaraan.dan gardu tol keluar $\bar{q}= 2,16$ kendaraan (3 kendaraan), dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa jumlah antrian pada gerbang tol Semayang masih memenuhi standar pelayanan maksimal (SPM) jalan tol sebanyak 3 kendaraan.
2. Dengan tingkat kedatangan gardu tol masuk 333 kendaraan/jam/gardu maka kapasitas pada gardu masuk (*entrance*) masih memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol dengan gerbang tol sistem tertutup pada gardu *arrival* <500 kendaraan/jam/gardu dan gardu tol keluar 253 kendaraan/jam maka kapasitas gerbang tol Semayang masih memenuhi persyaratan Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol dengan gerbang tol sistem tertutup pada gardu *exit* yaitu <300 kendaraan/jam/gardu.

5.2 Saran

Saran yang dapat saya berikan untuk perbaikan kinerja gerbang tol Semayang adalah sebagai berikut:

1. Pengelola gerbang tol Semayang dapat memperhatikan perawatan pada mesin gerbang tol Semayang yang mana dalam survei yang saya lakukan saya mendapati sebagian pengguna tol kesulitan dalam melakukan transaksi non-

tunai yang disebabkan beberapa faktor seperti kartu e-toll yang tidak terbaca sendor pada mesin e-toll, macetnya struk bukti pembayaran e-toll.

2. Petugas gardu tol agar lebih sigap ketika pengguna tol mengalami masalah pada saat melakukan transaksi non-tunai.
3. Kemudian untuk para pengemudi jalan khusus nya, sebaiknya para pengguna yang pada saat melintasi jalan tol Semayang lupa bahwa saldo e-toll tidak mencukupi, maka para pengguna jalan tol Semayang ini bisa terlebih dahulu melakukan top – up kartu e-toll pada sebelumnya , seperti lewat smartphone atau pada minimarket terdahulu, atau bahkan sewaktu memasuki gerbang tol ini sudah tertera jumlah saldo pada layer mesn Reader Contacless, maka pengguna dapat melihat jumlah saldo yang ada didalam kartu e-toll dan dapat akan disesuaikan ke tujuan yang akan dituju.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., & Kartohardjono, A. (2017). Evaluasi Kinerja Gerbang Tol Studi Kasus di Gardu Tol Jakarta Utara. *Prosiding Semnastek, November*, 1-2.
- Adi Suryawan, K., Suardana Kader, I. M., Sedana Triadi, I. N., Sudiasa Jurusan Teknik Sipil, I. W., Negeri Bali, P., & Bukit Jimbaran, K. (2015). *Evaluasi Kapasitas Dan Waktu Pelayanan Pada Gerbang Tol Nusa Dua, Badung-Bali*. 15(MARET), 35–38.
- Ali, A. M., Mukhlis, & Septiyan, A. (2017). Analisis Sistem Antrian untuk Menentukan Jumlah Gardu Keluar yang Optimal pada Gerbang Tol Tanjung Mulia. *Seminar Nasional Teknik Industri [SNTI2017]*, 13–14.
- Delano, Y. E., Widyastuti, H., & Kartika, A. A. G. (2021). Perencanaan Gerbang Tol Kertosono - Kediri. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1).
- Handika, R., Widyastuti, H., & Buana, C. (2020). Evaluasi Kinerja dan Pelayanan Gerbang Tol (Studi Kasus: Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi Ruas Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi). *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 71–78.
- Imansyah, D., & Rosyad, F. (n.d.). *Anlisa Kapasitas Dan Waktu Pelayanan Pada Gerbang Tol Keramasan PALEMBANG – KAYU AGUNG Abstrak*.
- Naziyullah, N. (2015). *Evaluasi Kinerja Dan Pelayanan Pada Gerbang Tol Serang Timur*.
- Pengajar, S., Studi, P., Sipil, T., Itb, F., & Karsaman, R. H. (2009). *Upaya Peningkatan Standar Pelayanan Minimum (SPM) Jalan Tol di INDONESIA*. 26(10), 1–12.
- Perpres. (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. *Pemerintah Indonesia*, 134229, 77.
- Pradana, M. F., Intari, D. E., & Kurniawan, F. (2017). Perencanaan Ulang Kebutuhan Gardu Tol Pada Gerbang Tol Cikande. *Jurnal Fondasi*, 6(2).
- Putra, M. N. (2017). Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Gerbang Tol Tanjung Morawa. *Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Selamat, B., & Anif, H. (2017). *Gardu Keluar Yang Optimal Pada Gerbang Tol Tanjung*, 13-14.
- Suharyo, S., Pamungkas, W. G., & Rahmawati, D. (2018). Tinjauan Metode Pembayaran Kartu Tol Elektronik (Lokasi Di Gerbang Tol Banyumanik, Jalan Tol Semarang-Solo). *Teknika*, 13(2), 53.

- Sumantri, A. M., Ilham (2016). *Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Gerbang Tol Waru-Tanjung Perak*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Syahputra, Dede. (2019). *Analisis Kapasitas Gerbang Tol Tanjung Mulia*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.
- Winarsih, N., & Kusumaningrum, J. (2013). Analisis Kapasitas Gerbang Tol Karawang Barat. *Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil*, 5, 9.
- Wulandari, W., & Widyastuti, H. (2020). Evaluasi Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Kapuk pada Ruas Tol Prof Dr. Sedyatmo, Jakarta Utara. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2).

LAMPIRAN

Tabel Lampiran 1: Data Survei Senin, 13 Februari 2023

Gardu Masuk

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	309	21	12	3	2	347
08.00 – 09.00	302	20	10	2	1	335
09.00 – 10.00	295	18	13	1	2	329
10.00 – 11.00	280	10	10	4	1	305
11.00 – 12.00	270	15	8	4	1	298
12.00 – 13.00	279	12	8	1	2	302
13.00 – 14.00	286	10	11	1	3	311
14.00 – 15.00	292	18	15	5	3	333
15.00 – 16.00	301	12	15	5	6	339
16.00 – 17.00	307	19	18	3	3	350
17.00 – 18.00	311	20	12	2	4	349
Total						3598

Gardu Keluar

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	228	18	10	2	6	264
08.00 – 09.00	230	15	10	2	6	263
09.00 – 10.00	220	10	12	1	7	250
10.00 – 11.00	212	12	8	1	5	238
11.00 – 12.00	201	9	10	1	6	227
12.00 – 13.00	196	11	12	1	7	227
13.00 – 14.00	198	10	9	1	7	225
14.00 – 15.00	204	15	11	2	5	237
15.00 – 16.00	214	16	8	1	7	246
16.00 – 17.00	219	18	14	3	6	260
17.00 – 18.00	224	18	12	2	6	262
Total						2699

Tabel Lampiran 2: Data Survei Selasa, 14 Februari 2023

Gardu Masuk

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	300	25	18	4	4	351
08.00 – 09.00	302	23	18	4	3	350
09.00 – 10.00	287	23	15	3	3	331
10.00 – 11.00	275	18	12	2	2	309
11.00 – 12.00	268	20	14	3	4	309
12.00 – 13.00	259	18	15	4	4	300
13.00 – 14.00	267	15	11	1	3	297
14.00 – 15.00	288	12	10	2	5	317
15.00 – 16.00	291	18	17	1	2	329
16.00 – 17.00	298	20	17	4	2	341
17.00 – 18.00	304	30	20	3	2	359
Total						3593

Gardu Keluar

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	231	26	19	3	4	283
08.00 – 09.00	226	22	17	1	4	270
09.00 – 10.00	212	18	16	1	2	249
10.00 – 11.00	200	18	16	2	1	237
11.00 – 12.00	193	19	18	2	3	235
12.00 – 13.00	190	18	18	3	3	232
13.00 – 14.00	196	19	15	1	4	235
14.00 – 15.00	199	14	14	1	2	230
15.00 – 16.00	201	16	10	2	2	231
16.00 – 17.00	215	21	12	1	3	252
17.00 – 18.00	220	22	15	2	3	262
Total						2716

Tabel Lampiran 3: Data Survei Rabu, 15 Februari 2023

Gardu Masuk

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	315	25	7	2	2	351
08.00 – 09.00	309	27	7	1	2	350
09.00 – 10.00	300	25	6	1	1	331
10.00 – 11.00	289	22	8	1	1	309
11.00 – 12.00	279	21	6	2	2	309
12.00 – 13.00	270	20	8	2	3	300
13.00 – 14.00	281	18	8	1	3	297
14.00 – 15.00	289	21	7	1	2	317
15.00 – 16.00	297	20	5	1	1	329
16.00 – 17.00	310	20	9	2	2	341
17.00 – 18.00	312	21	8	1	3	359
Total						3593

Gardu Keluar

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	229	21	8	2	2	262
08.00 – 09.00	230	23	6	2	2	263
09.00 – 10.00	217	23	6	1	1	248
10.00 – 11.00	210	20	7	1	1	239
11.00 – 12.00	214	18	7	1	2	242
12.00 – 13.00	206	19	5	1	2	233
13.00 – 14.00	198	20	6	2	1	227
14.00 – 15.00	193	22	8	2	1	226
15.00 – 16.00	199	22	7	3	2	233
16.00 – 17.00	207	24	6	3	2	242
17.00 – 18.00	218	24	8	3	1	254
Total						2669

Tabel Lampiran 4: Data Survei Kamis, 16 Februari 2023

Gardu Masuk

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	323	26	12	2	2	365
08.00 – 09.00	319	25	13	1	2	360
09.00 – 10.00	297	21	11	1	2	332
10.00 – 11.00	289	18	11	1	2	321
11.00 – 12.00	250	16	9	2	2	279
12.00 – 13.00	246	15	10	2	1	274
13.00 – 14.00	275	16	12	2	1	306
14.00 – 15.00	298	18	10	1	2	329
15.00 – 16.00	305	19	10	1	2	337
16.00 – 17.00	307	28	13	2	3	353
17.00 – 18.00	320	26	12	2	3	363
Total						3619

Gardu Keluar

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	231	20	9	2	3	265
08.00 – 09.00	221	21	10	2	3	257
09.00 – 10.00	219	19	9	1	2	250
10.00 – 11.00	212	18	9	2	2	243
11.00 – 12.00	197	18	10	1	3	229
12.00 – 13.00	195	20	10	2	2	229
13.00 – 14.00	205	20	8	1	2	236
14.00 – 15.00	217	19	8	1	3	248
15.00 – 16.00	220	19	9	3	2	253
16.00 – 17.00	229	22	11	2	3	267
17.00 – 18.00	230	21	10	3	3	267
Total						2744

Tabel Lampiran 5: Data Survei Jumat, 17 Februari 2023

Gardu Masuk

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	314	25	14	2	3	358
08.00 – 09.00	306	26	13	2	3	350
09.00 – 10.00	300	25	13	2	1	341
10.00 – 11.00	287	23	11	1	2	324
11.00 – 12.00	260	22	15	1	2	300
12.00 – 13.00	253	24	11	2	2	292
13.00 – 14.00	259	21	12	3	1	296
14.00 – 15.00	277	19	12	2	3	313
15.00 – 16.00	289	20	13	2	3	327
16.00 – 17.00	298	23	14	3	2	340
17.00 – 18.00	308	26	14	2	3	353
Total						3594

Gardu Keluar

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	226	21	10	2	2	261
08.00 – 09.00	220	21	10	2	2	255
09.00 – 10.00	223	18	8	2	2	253
10.00 – 11.00	218	17	9	1	1	246
11.00 – 12.00	214	20	10	1	1	246
12.00 – 13.00	216	19	9	2	2	248
13.00 – 14.00	206	20	8	1	1	236
14.00 – 15.00	195	20	8	1	1	225
15.00 – 16.00	207	21	10	2	1	241
16.00 – 17.00	210	22	11	2	2	247
17.00 – 18.00	214	21	11	1	2	249
Total						2707

Tabel Lampiran 6: Data Survei Sabtu, 18 Februari 2023

Gardu Masuk

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	310	12	5	1	2	330
08.00 – 09.00	312	12	4	1	1	330
09.00 – 10.00	297	10	3	1	1	312
10.00 – 11.00	291	11	2	1	1	306
11.00 – 12.00	285	11	2	1	1	300
12.00 – 13.00	288	12	3	1	1	305
13.00 – 14.00	282	10	3	1	1	297
14.00 – 15.00	295	12	2	1	2	312
15.00 – 16.00	301	11	4	1	2	319
16.00 – 17.00	309	10	4	2	1	326
17.00 – 18.00	312	13	4	1	1	331
Total						3468

Gardu Keluar

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	223	10	4	1	1	239
08.00 – 09.00	225	12	4	1	1	243
09.00 – 10.00	216	9	2	1	1	229
10.00 – 11.00	210	11	2	1	1	225
11.00 – 12.00	216	9	1	1	1	228
12.00 – 13.00	207	8	3	1	1	220
13.00 – 14.00	199	12	3	1	1	216
14.00 – 15.00	212	10	2	1	1	226
15.00 – 16.00	218	6	3	1	1	229
16.00 – 17.00	222	9	3	1	1	236
17.00 – 18.00	225	10	4	1	1	241
Total						2532

Tabel Lampiran 7: Data Survei Minggu, 19 Februari 2023

Gardu Masuk

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	305	4	3	1	0	313
08.00 – 09.00	309	4	2	1	0	316
09.00 – 10.00	293	2	3	1	0	299
10.00 – 11.00	287	3	2	1	0	293
11.00 – 12.00	285	3	2	0	0	290
12.00 – 13.00	278	4	1	0	0	283
13.00 – 14.00	270	1	1	0	0	272
14.00 – 15.00	273	2	3	1	0	279
15.00 – 16.00	289	3	3	1	0	296
16.00 – 17.00	296	4	2	1	0	303
17.00 – 18.00	302	5	3	1	0	311
Total						3255

Gardu Keluar

Waktu (WIB)	Jumlah Kendaraan					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
07.00 – 08.00	210	4	1	0	1	216
08.00 – 09.00	215	4	1	0	0	220
09.00 – 10.00	202	6	1	0	0	209
10.00 – 11.00	193	4	1	0	0	198
11.00 – 12.00	187	8	1	0	0	196
12.00 – 13.00	196	5	2	0	0	203
13.00 – 14.00	199	5	2	0	0	206
14.00 – 15.00	207	6	2	0	0	215
15.00 – 16.00	212	6	1	0	0	219
16.00 – 17.00	216	7	2	2	0	227
17.00 – 18.00	218	7	2	1	0	228
Total						2337



Lampiran 8 Lokasi Penelitian Gerbang Tol Semayang



Lampiran 9 Menghitung Waktu Pelayanan Gardu Masuk



Lampiran 10 Menghitung Waktu Pelayanan Gardu Keluar



Lampiran 11 Kendaraan yang akan Masuk Gardu Tol

Tabel Lampiran 12 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	• Kekesatan	• Seluruh Ruas Jalan Tol	• > 0,33 μm	Keselamatan
		• Ketidakrataan	• Seluruh Ruas Jalan Tol	• IRI \leq 4m/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	• \leq 8 detik setiap kendaraan	Kelancaran
			Gerbang Tol sistem tertutup		
			• Gardu masuk	• \leq 7 detik setiap kendaraan	
		• Gardu keluar	• \leq 11 detik setiap kendaraan		
		• Jumlah Gardu Tol	• Kapasitas Sistem Terbuka	• \geq 450 kendaraan per jam per Gardu	Kelancaran
		• Kapasitas Sistem Tertutup			
		• Gardu masuk	• \geq 500 kend. per jam		
			• Gardu keluar	• \geq 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	• \leq 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	

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama : Elsa Audilla
Tempat, Tanggal Lahir : Sena Baru, 24 Agustus 2000
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Dusun Sena Baru, Kec. Selesai, Kab. Langkat
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Adaham
Ibu : Suarti
No. Hp : 082273285484
E-mail : elsaudilla17@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1907210049
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	SDN 057196	2012
2	SMP	SMP Swasta GajahMada Binjai	2015
3	SMA	SMAN 1 Binjai	2018