

TUGAS AKHIR

STUDI KEBUTUHAN KAPASITAS JALAN PADA PINTU TOL

(*STUDI LITERATUR*)

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

Disusun Oleh:

BARITA HAMONANGAN SIREGAR

1907210072



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

2023

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Barita Hamonangan Siregar
NPM : 1907210072
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Kebutuhan Jalan Pada Pintu Tol
Bidang Ilmu : Transport

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 : Barita Hamonangan Siregar
NPM : 1907210072
Program Studi : Teknik Sipil
Bidang Ilmu : Transport
Judul Skripsi : Studi Kebutuhan Jalan Pada Pintu Tol

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



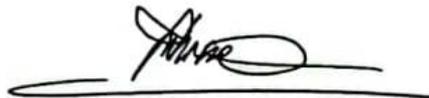
Zulkifli Siregar, S.T., M.T.

Dosen Pembanding II



Rizki Efrida, S.T., M.T.

Ketua Prodi Teknik Sipil



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Barita Hamonangan Siregar
Tempat/Tanggal Lahir : Pasar Lori / 23 Maret 2001
NPM : 1907210072
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Studi Kebutuhan Jalan Pada Pintu Tol”.

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.

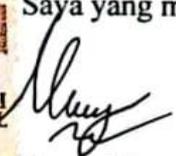
Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kerjasama saya.

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,




Barita Hamonangan Siregar
NPM : 1907210072

ABSTRAK

STUDI KEBUTUHAN KAPASITAS JALAN PADA PINTU TOL

(STUDI LITERATUR)

Barita Hamonangan Siregar

1907210072

Ir. Tri Rahayu, M.Si

Gerbang Tol atau Gardu Tol merupakan bagian terpenting dari sebuah jalan Tol, dikarenakan tempat ini berfungsi sebagai sarana pelayanan untuk melakukan proses pembayaran bagi para pengguna jalan Tol tersebut. Mengetahui jumlah kebutuhan jalan pada pintu tol yang dapat ditampung gardu tol untuk memenuhi tingkat kelancaran lalu lintas. Data yang didapat melalui studi literatur yang dilakukan dengan cara mengumpulkan jurnal-jurnal penelitian terkait dengan menghitung kapasitas pintu tol terhadap peningkatan volume kendaraan 5 dan 10 tahun mendatang. Dengan melakukan pengkajian terhadap artikel dan jurnal terkait didapatkan rangkaian cara melakukan penghitungan kapasitas pintu tol sesuai dengan standart pelayanan minimal (SPM) jalan tol. kapasitas pintu tol terhadap peningkatan arus volume kendaraan golongan I ditahun 2023 sebesar 298 kendaraan/jam/gardu dengan waktu pelayanan ideal 3 detik/kendaraaa. Peningkatan arus volume kendaraan golongan I ditahun 2027 sebesar 436 kendaraan/jam/gardu dengan waktu ideal pelayanan 5 detik/kendaraan. Peningkatan arus volume kendaraan ditahun 2031 sebesar 639 kendaraan/jam/gardu dengan waktu ideal pelayanan 8 detik/kendaraan, hasil tersebut masih memenuhi standart pelayanan minimum (SPM) jalan tol. Rata-rata waktu pelayanan gardu tol 6 detik/kendaraan dan daya tampung maksimal pelayanan 675 kendaraan/jam.

Kata kunci : Jalan Tol, Kapasitas Gerbang Tol,Waktu Pelayanan.

ABSTRACT

STUDY OF ROAD CAPACITY NEEDS AT TOLL GATES

(STUDY OF LITERATURE)

Barita Hamonangan Siregar

1907210072

Ir. Tri Rahayu, M.Si

Toll gate or toll booth is the most important part of a toll road, because this place functions as a service facility for carrying out the payment process for users of the toll road. Knowing the number of road requirements at the toll gate that can be accommodated by the toll booth to meet the level of smooth traffic. Data obtained through literature studies carried out by collecting research journals related to calculating the capacity of toll gates regarding the increase in vehicle volume in the next 5 and 10 years. By reviewing related articles and journals, we found a series of ways to calculate toll gate capacity in accordance with toll road minimum service standards (SPM). Toll gate capacity to increase the flow of class I vehicle volume in 2023 is 298 vehicles/hour/substation with an ideal service time of 3 seconds/vehicle. The increase in the flow of class I vehicle volume in 2027 will be 436 vehicles/hour/substation with an ideal service time of 5 seconds/vehicle. The increase in vehicle volume flow in 2031 is 639 vehicles/hour/substation with an ideal service time of 8 seconds/vehicle, this result still meets the minimum service standards (SPM) for toll roads. The average toll booth service time is 6 seconds/vehicle and the maximum service capacity is 675 vehicles/hour.

Keywords: Toll Road, Toll Gate Capacity, Service Time.

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 “Studi Kebutuhan Jalan Pada Pintu Tol ” 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. Bapak Zulkifli Siregar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Assoc.Prof.Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Terimakasih yang istimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Alm. Mahyudin Siregar dan Ibunda tercinta Supiah Munthe yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga dapat menyelesaikan studinya.
11. Terimakasih juga kepada kakak-kakak dan abang yang telah terus mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir saya ini.
12. Sahabat-sahabat penulis M. Kevin Matondang Universitas, Aprilian Dwi Hani Usholehah Maru'ao, Elsa Audilla dan keluarga B1 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

Barita Hamonangan Siregar
NPM : 1907210072

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penulisan	2
1.5 Ruang Lingkup	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Jalan	4
2.1.1 Pengertian Jalan	4
2.1.2 Klasifikasi Jalan	4
2.1.3 Pengelompokkan Jalan	5
2.2 Jalan Tol	7
2.2.1 Pengertian Jalan Tol	7
2.2.2 Spesifikasi Jalan Tol	7
2.2.3 Gerbang Tol	9
2.2.4 Spesifikasi Umum Desain Gerbang Tol	9

2.2.5 Sistem Transaksi Pada Gerbang Tol	10
2.2.6 Jenis - Jenis Jalan Tol	11
2.2.7 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014	12
2.3 Proses Antrian	16
2.3.1 Disiplin Antrian	16
2.3.2 Sistem Antrian	18
2.3.4 Parameter Antrian	21
2.3.5 Model Antrian	24
2.4 Pelataran Tol dan Gerbang Tol	25
2.5 Golongan Kendaraan	26
2.7 Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Keperluan Jalan Tol	26
2.7.1 Tolak Ukur pengukuran waktu Pelayanan gardu Tol	28
2.8 Model Gardu Transaksi Tol	29
2.8.1 Transaksi manual	30
2.8.2 Transaksi <i>NFC-RFID (E-TOLL)</i>	30
2.8.3 Transaksi sistem <i>Vanet-DSRC (OBU, MLFF)</i>	30
2.9 Ukuran Lebar Lajur Per Arah Pada Jalan Tol	31
BAB 3 METODE PENELITIAN	35
3.1 Rancangan Strategi Pencarian Studi Literatur	35
3.2 Kriteria Studi Literatur	35
3.3 Tahapan Kegiatan Penelitian	35
3.4 Tahapan Pekerjaan	36
3.5 Tahapan Pengumpulan Data	37
3.6 Pengolahan Data	37
BAB 4 ANALISA DATA	38
4.1 Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Keperluan Jalan Tol	38
4.1.1 Tahapan perencanaan Gerbang Tol	38
4.1.2 Perhitungan Kapasitas Pelayanan Pintu tol	43
4.2 Perhitungan Jumlah Pintu Tol	44

4.3 Perhitungan Antrian pada Pintu Tol (Antrian FIFO)	51
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Disiplin Antrian FIFO	17
Gambar 2.2	Disiplin Antrian FIFO	17
Gambar 2.3	Disiplin Antrian FVFS	18
Gambar 2.4	Single Channel - Single Phase (Saluran Tunggal - Satu Tahap). Kakiay, Thomas J . 2004	19
Gambar 2.5	Multi Channel - Single Phase (Banyak Saluran - Satu Tahap. Kakiay, Thomas J. 2004 .	19
Gambar 2.6	Multi Channel - Multi Phase (Banyak Saluran – Banyak Tahap) Kakiay, Thomas J. 2004.	20
Gambar 2.7	Single Channel - Multi Phase (Saluran)	20
Gambar 2.8	System ini terdapat pada system pelayanan bank, aturan untuk memasuki jembatan/terowongan dan lain – lain	21
Gambar 2.9	Ruang bebas pada Gerbang Tol	25
Gambar 2.10	Pelataran Tol pada Gerbang tol barrier	26
Gambar 2.11	Pelataran gerbang tol ramp	26
Gambar 2.12	Konfigurasi potongan melintang jalan bebas hambatan tipe 4/2-T34	
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 4.1	Grafik hubungan waktu pelayanan dengan n (panjang antrian) tahun 2023	64
Gambar 4.2	Grafik hubungan Waktu pelayanan dengan q (panjang antrian) Tahun 2023	64
Gambar 4.3	Grafik hubungan Waktu Pelayanan d (waktu tunggu)	65
Gambar 4.4	Grafik hubungan Waktu Pelayanan dengan w (waktu antrian)	65
Gambar 4.5	Grafik hubungan waktu pelayanan dengan n (panjang antrian) tahun 2027	66
Gambar 4.6	Grafik hubungan Waktu pelayanan dengan q (panjang antrian) Tahun 2027	66
Gambar 4.7	Grafik hubungan Waktu Pelayanan d (waktu tunggu)	66

Gambar 4.8	Grafik hubungan Waktu Pelayanan dengan w (waktu antrian)	67
Gambar 4.9	Grafik hubungan waktu pelayanan dengan n (panjang antrian) tahun 2027	67
Gambar 4.10	Grafik hubungan Waktu pelayanan dengan q (panjang antrian) Tahun 2031	68
Gambar 4.11	Grafik hubungan Waktu Pelayanan d (waktu tunggu)	68
Gambar 4.12	Grafik hubungan Waktu Pelayanan dengan w (waktu antrian)	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Pengaruh umum rencana geometrik terhadap tingkat kecelakaan	13
Tabel 2.2	Padanan klasifikasi jenis kendaraan	14
Tabel 2.3	Kinerja lalu lintas sebagai fungsi dari tipe jalan, alinemen, dan LHRT	16
Tabel 2.4	Model Antrian	24
Tabel 2.5	Golongan Jenis Kendaraan Jalan tol	26
Tabel 4.1	Proyeksi lalu lintas 10% pada gerbang tol semayang	38
Tabel 4.2	Volume lalu lintas 2 arah	38
Tabel 4.3	Tingkat kedatangan dengan faktor $k = 0,11$	42
Tabel 4.4	Tingkat kedatangan kendaraan/jam	43
Tabel 4.5	Rekapitulasi tahun 2023	63
Tabel 4.6	Rekapitulasi Tahun Rencana 2027	65
Tabel 4.7	Rekapitulasi Tahun rencana 2031	67

DAFTAR NOTASI

q	: Jumlah kendaraan atau orang dalam antrian
t	: Waktu
$P(r,T)$: Probabilitas n kedatangan dalam waktu T
λ	: Rata-rata kedatangan persatuan waktu
T	: periode waktu
e	: Bilangan logaritma natural ($e = 2.7182818$)
r	: Jumlah kedatangan dalam waktu T ; ($n = 0,1,2,\dots$)
$P(s \leq t)$: Probabilitas dimana waktu antar keatangan persatuan waktu
n	: Jumlah sampel
t	: Waktu rata-rata dalam system (dtk)
Z	: Confidence level (tingkat kepercayaan) 1.96
V	: Variabelitas
P	: Persentase karakteristik
C	: Confidance limit (%)
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	: Tingkat pelayanan rata-rata
N	: Jumlah gardu tol
k	: Jumlah gerbang pelayanan
C_1	: Ongkos pelayana tiap pelanggan per satuan waktu
C_2	: Ongkos tunggu tiap pelanggan per satuan waktu
$T\{C(\mu)\}$: Ongkos total dengan laju pelayanan
$C_2E(nt)$: Ongkos tunggu per satuan waktu
$T\{C(c)\}$: Ongkos total dengan jumlah pelayanan c
c	: Jumlah optimal pelayanan
FIFO	: First In First Out

FILO : First In Last Out
FVSF : First Vacant First Served
ETC : Electronic Tol Collection
GTO : Gardu Tol Otomatis

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan peranan penting untuk kelancaran transportasi darat. Berbagai kendala sering ditemukan terkait tingkat kepadatan lalu lintas yang melintasi suatu ruas jalan tersebut, juga terkait kelebihan muatan kendaraan yang melewati suatu ruas jalan. Akibat yang timbul sebagai dampak ketidaksesuaian kendaraan rencana jalan dengan kondisi eksisting, selain kemacetan, juga berupa kerusakan struktural jalan.

Berdasarkan UU Nomor 38 Tahun 2004, jalan merupakan prasarana yang ditujukan untuk transportasi darat, termasuk bagian jalan, berbagai bangunan serta perkengkapan untuk lalu lintas, berada diatas permukaan tanah serta dibawah permukaan tanah dan atau air, terkecuali untuk jalan kereta api, jalan lori serta jalan kabel. Sedangkan dalam UU Nomor 22 tahun 2009, dijelaskan jika jalan adalah seluruh bagian jalan, bangunan pelengkap serta perlengkapannya yang ditujukan untuk lalu lintas umum, berada diatas permukaan tanah, dibawah permukaan tanah atau air, serta diatas permukaan air, terkecuali untuk jalan rel serta jalan kabel.

Jalan memiliki beberapa jenis diantaranya adalah jalan Tol, jalan Tol atau jalan bebas hambatan adalah jalan yang diperuntukan untuk kendaraan dengan sumbu roda lebih dari dua seperti, mobil, bus, truk, dan sebagainya. Gerbang Tol atau Gardu Tol merupakan bagian terpenting dari sebuah jalan Tol, dikarenakan tempat ini berfungsi sebagai sarana pelayanan untuk melakukan proses pembayaran bagi para pengguna jalan Tol tersebut.

BPJT (Badan Pengatur Jalan Tol) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, pembangunan jalan tol bertujuan untuk memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang, meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa, meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan, dan meringankan beban pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan.

Penelitian ini lebih di fokuskan terhadap tingkat pelayanan pintu gerbang yang harus memiliki enam elemen sumber utama yaitu sumber (populasi), kedatangan

pelanggan, barisan antrian, disiplin pelayanan, mekanisme pelayanan dan kepergian pelanggan. Karena pada komponen jalan tol ini sering menimbulkan keterlambatan atau kemacetan akibat antrian pada jam-jam sibuk.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menghitung kapasitas pintu tol yang memenuhi tingkat kelancaran lalu lintas terhadap peningkatan volume kendaraan 5 dan 10 tahun ?
2. Berapakah panjang antrian satu gardu tol untuk volume peningkatan kendaraan 5 dan 10 tahun?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini :

1. Untuk mengetahui peningkatan volume kendaraan 5 sampai 10 tahun kedepan terhadap waktu ideal pelayanan pintu tol.
2. Mengetahui panjang antrian satu gardu tol terhadap peningkatan volume kendaraan 5 dan 10 tahun.

1.4 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat penulisan tugas akhir adalah :

1. Mahasiswa dapat mengetahui tentang bagaimana jumlah kapasitas yang dapat ditampung oleh gerbang tol terhadap peningkatan volume kendaraan 5 dan 10 tahun.
2. Mahasiswa dapat mengetahui tentang kinerja pelayanan yang diberikan oleh satu gardu tol.
3. Menambah pengalaman dan pengetahuan yang bermanfaat tentang kebutuhan pintu Tol yang berada di gerbang tol.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk menentukan banyaknya kebutuhan yang dilakukan dalam penentuan jumlah gardu tol, banyak faktor-faktor permasalahan yang akan timbul dalam

penelitian ini. Dalam melakukan penulisan tugas akhir ini, maka penulis melakukan pembatasan pokok permasalahan yaitu:

1. Mengetahui jumlah kapasitas yang dapat ditampung pintu gerbang tol untuk kendaraan golongan I.
2. Menganalisis pelayanan waktu yang dapat dilakukan satu gardu tol, seperti pelayanan pintu masuk dan keluar dipintu gerbang tol terhadap jenis kendaraan golongan I.
3. Tidak melakukan penghitungan jumlah anggaran pembuatan pintu gerbang 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 pengolahan data yang dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan

2.1.1 Pengertian Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, diatas permukaan tanah, dibawah permukaan tanah,, dan/atau air, serta diatas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel (UU nomor 11 Tahun 2020).

Jalan raya adalah jalur - jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat. (Clarkson H. Oglesby. 1999).

2.1.2 Klasifikasi Jalan

Jalan menurut UU NOMOR 2 TAHUN 2022, berdasarkan fungsinya terbagi atas 2 bagian, yaitu jalan Umum dan khusus:

a. Jalan Umum

Jalan umum diperuntukkan bagi lalu lintas umum yang dapat dipakai oleh khalayak umum. Jalan umum ini dikelompokkan kedalam 4 bagian jalan, yaitu:

- Jalan Arteri, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh dengan rata-rata kecepatan tinggi dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisiensi.
- Jalan Kolektor, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang dengan rata-rata kecepatan sedang, dan jumlah jalan masuk yang dibatasi.

- Jalan Lokal, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat dengan rata-rata kecepatan rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
 - Jalan lingkungan, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah.
- b. Jalan Khusus
- Jalan khusus adalah jalan yang tidak diperuntukan bagi lalu lintas umum, tetapi untuk kepentingan lalu lintas sendiri/tertentu yang diselenggarakan oleh selain penyelenggara jalan.

2.1.3 Pengelompokkan Jalan

Berdasarkan UU nomor 2 Tahun 2022, pengelompokkan jalan terbagi menjadi beberapa bagian diantaranya adalah:

a. Jalan Nasional

Jalan nasional sendiri meliputi beberapa jaringan jalan yaitu:

1. Jalan arteri adalah jaringan jalan primer yang menghubungkan
 - Antar pusat kegiatan nasional
 - Antara pusat kegiatan nasional dan pusat kegiatan wilayah
 - Pusat kegiatan nasional atau pusat kegiatan wilayah yang terhubung dengan bandar udara dan pelabuhan utama.
2. Jalan Kolektor 1, adalah jaringan jalan primer yang menghubungkan alat transportasi nasional.
3. Jalan strategis nasional
4. Jalan Tol.

b. Jalan Provinsi

Jalan provinsi meliputi beberapa bagian jaringan jalan dalam pengelompokkannya, diantaranya:

1. Jalan kolektor 2, adalah sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota Kabupaten/Kota.
2. Jalan Kolektor 3, adalah sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota Kabupaten/Kota.

3. Jalan strategis Provinsi, adalah jaringan jalan yang pembangunannya dikhususkan untuk melayani kepentingan provinsi berdasarkan pembangkit pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan dan keamanan.

c. Jalan kabupaten

Jalan kabupaten merupakan jalan yang sistem jaringan jalannya tidak termasuk kedalam bagian dari jalan nasional dan jalan provinsi, sistem jaringan jalan yang merupakan jalan kolektor primer 4. Jalan kabupaten juga memiliki beberapa bagian dalam pengelompokkannya, diantaranya :

1. Jalan lokal, adalah sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan diantaranya:

- Ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan
- Ibukota kabupaten dengan pusat pemerintahan desa
- Antar ibukota kecamatan
- Ibu kota kecamatan dengan ibukota desa
- Antar desa, dan
- Poros desa

2. Jalan umum, dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten

3. Jalan strategis kabupaten

d. Jalan kota

Merupakan jalan yang berada diwilayah perkotaan yang meliputi Jalan Umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan:

1. Antar pusat pelayanan dalam kota
2. Pusat pelayanan dengan persil
3. Antar persil
4. Antar pusat pemukiman yang berada dalam kota
5. Jalan poros desa dalam wilayah kota

e. Jalan desa

Merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan antar pemukiman yang berada didalam desa serta jalan lingkungan didalam desa.

2.2 Jalan Tol

2.2.1 Pengertian Jalan Tol

Jalan Tol adalah jalan yang dibangun sebagai kepentingan dalam melanjutkan perekonomian untuk menghubungkan dua atau lebih daerah yang jaraknya cukup jauh, yang biasanya terletak diluar kota.(Nicholas j. Garber dan lester A. Hoel)

Menurut Undang-undang No. 15 Tahun 2015 Tentang Jalan Tol, jalan Tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar Tol. Badan pengatur jalan Tol (BPTJ) adalah badan yang dibentuk oleh Menteri, dan yang bertanggung jawab adalah Menteri. Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan pengguna jalan Tol. Pengguna Jalan Tol adalah setiap orang yang menggunakan jalan Tol.

Pembangunan 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. Pembangunan jalan Tol bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi terutama diwilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya (*UU No.15/2005 pasal 2 ayat 1 dan 2*).

Jalan Tol mempunyai tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari jalan umum yang ada dan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi. Jalan Tol yang digunakan untuk lalu lintas antarkota didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 km/jam, dan untuk jalan tol diwilayah perkotaan didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam. Jalan tol didesain untuk mampu menahan muatan sumbu terberat (MST) paling rendah 8 ton (*UU No. 15/2005 Tentang jalan Tol*).

2.2.2 Spesifikasi Jalan Tol

Jalan harus memiliki beberapa spesifikasi khusus untuk menunjang keselamatan yang Optimal dalam pelaksanaan pelayanan yang didapat oleh penggunanya, menurut UU No. 15 tahun 2005 tentang jalan tol diantaranya adalah:

- Tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya
- Jumlah jalan masuk dan jalan keluar ke dan dari jalan tol dibatasi secara efisien dan semua jalan masuk dan jalan keluar harus terkendali secara penuh
- Jarak antar simpang susun, paling rendah 5 kilometer untuk jalan tol luar perkotaan dan paling rendah 2 kilometer untuk jalan tol dalam kota.
- Jumlah lajur sekurang-kurangnya dua lajur per arah.
- Menggunakan pemisah tengah atau median
- Lebar bahu jalan sebelah luar harus dapat dipergunakan sebagai jalur lalu-lintas sementara dalam keadaan darurat.
- Pada setiap jalan tol harus tersedia sarana komunikasi, sarana deteksi pengaman lain yang memungkinkan pertolongan dengan sampai ketempat kejadian, serta upaya pengaman terhadap pelanggaran, kecelakaan, dan gangguan keamanan lainnya.
- Pada jalan tol antarkota harus tersedia tempat istirahat dan pelayanan untuk kepentingan pengguna jalan tol.
- Tempat istirahat disediakan paling sedikit satu untuk setiap jarak 50 kilometer pada setiap jurusan.
- Setiap tempat istirahat dan pelayanan dilarang dihubungkan dengan akses apapun dari luar jalan tol.

Berdasarkan Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014, pasal 3, Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol (SPMJT) pelayanan yang harus terpenuhi, diantaranya yaitu :

1. Kondisi jalan tol
2. Kecepatan tempuh rata-rata
3. Aksesibilitas
4. Mobilitas
5. Keselamatan
6. Unit pertolongan/penyelamatan dan bantuan pelayanan
7. Lingkungan; dan
8. Tempat istirahat (TI), dan Tempat Istirahat dan Pelayanan (TIP).

2.2.3 Gerbang Tol

Menurut Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor -/SE/M/2017 tentang Standar Desain Gerbang Tol. Gerbang adalah tempat pelayanan transaksi tol bagi pemakai jalan tol yang terdiri dari beberapa gardu dan sarana kelengkapan lainnya.

Sedangkan gardu tol adalah tempat bekerja pengumpul tol untuk melaksanakan tugas pelayanan kepada pemakai jalan.

2.2.4 Spesifikasi Umum Desain Gerbang Tol

Adapun spesifikasi umum bangunan gerbang Tol Menurut Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor -/SE/M/2017 tentang Standar Desain Gerbang Tol adalah sebagai berikut :

- a. Bangunan Gerbang Tol (tanpa Kantor Gerbang Tol Diatas)
 1. Atap gerbang tol berfungsi untuk melindungi gerbang tol dari hujan, panas, dan angin. Didesain dengan memperhatikan beban-beban yang dipersyaratkan. Bahan atap gerbang yang digunakan harus terbuat dari bahan yang kokoh, kuat, tahan terhadap cuaca, tanah api dan tahan terhadap semua arah hembasan angin. Ketinggian atap gerbang tol dapat sedemikian rupa sehingga tidak terjadi kondensasi didaerah gerbang. Struktur atap gerbang tol dapat menggunakan *space frame* untuk mendapatkan ruang bebas tanpa tiang ditengah.
 2. Bahan eksterior yang digunakan untuk fasad adalah bahan ringan, tahan lama dan mudah perawatan di antaranya Aluminium Composite Panel (ACP) dengan warna dominan biru dan kuning.
 3. Bagian atas gerbang tol dapat difungsikan sebagai displai informasi di antaranya dengan menggunakan layar Light Emiting Dioda (LED) atau Liquid Cristal Display (LCD). Informasi juga dapat disajikan dalam bentuk running text apabila diperlukan dalam rangka peningkatan pelayanan kepada pemakai jalan tol.

b. Bangunan gerbang Tol (dengan kantor Gerbang Tol diatas)

Pada lokasi dengan lahan terbatas ,dapat dibangun kantor gerbang tol diatas gerbang tol. Sebagai bangunan untuk melakukan kegiatan administrasi pengumpul tol dan pengawasan aktivitas pada gerbang tol.

Adapun spesifikasi umumnya adalah sebagai berikut:

1. Atap gerbang tol yang digunakan sama halnya dengan atap gerbang tol tanpa kantor diatas.
2. Struktur kantor gerbang dapat menggunakan balok baja profil ataupun bahan lain yang kuat, ringan, mudah dalam pemasangan dan perawatan.
3. Tinggi ruang maksimal adalah 3 m.
4. Bahan interior yang dapat digunakan untuk kantor di atas gerbang tol di antaranya:
 - a. Floor deck plus wire mesh untuk lantai
 - b. Dinding perimeter menggunakan hebel / bata ringan, dinding partisi berbahan gypsum (tebal minimal 9 mm) dan disarankan untuk menggunakan bahan yang dapat meredam suara (akustik).
 - c. Bahan pintu dan jendela dapat menggunakan kaca tempered tanpa kusen atau kaca biasa dengan kusen aluminium.
5. Bahan eksterior yang digunakan untuk fasad di antaranya:
 - a. Bahan eksterior yang digunakan sama halnya dengan gerbang tol tanpa kantor diatas.
 - b. Jendela dapat menggunakan kaca tempered yang tidak menyerap sinar UV ataupun dengan double facade. Pemilihan material dan desain ini disesuaikan dengan prinsip bangunan gedung hijau di antaranya pemanfaatan pencahayaan alami dan pendinginan pasif.
6. Bagian atas gerbang tol sebagai penyampaian informasi sama halnya dengan bagian atas pada gerbang tol tanpa kantor diatas (PUPR, 2014).

2.2.5 Sistem Transaksi Pada Gerbang Tol

Sistem transaksi yang dapat dilayani oleh gerbang tol adalah sistem transaksi manual maupun elektronik. Sistem transaksi disesuaikan dengan masing – masing

Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) dengan sistem operasi pengumpulan tol yang dapat terintegrasi dengan ruas jalan tol lainnya (Utama, 2017).

Ada beberapa system pembayaran pada gerbang tol diantaranya menggunakan sistem pembayaran tunai/cash/konvensional, sistem pembayaran OBU dan pembayaran GTO.

- a. Sistem pembayaran tunai (konvensional), sistem ini merupakan pembayaran yang dilakukan dengan membayar sejumlah uang sesuai tarif yang telah di tentukan oleh petugas tol.
- b. system GTO (Gardu Tol Otomatis) menggunakan kartu elektronik pengguna tol yang berisi saldo atau uang elektronik. Dengan cara menempelkan kartu tersebut pada mesin yang sudah disediakan pada gate toll, dengan sendirinya saldo terpotong dengan sesuai nominal tarif tol yang di tentukan dan toll gate akan terbuka secara otomatis.
- c. *Electronic Toll Collection (ETC)* atau *On-Board Unit (OBU)* adalah sistem transaksi non tunai dimana pemakai jalan bebas hambatan ini tidak melakukan transaksi konvensional lagi, karena dengan membeli perangkat OBU dan *E Toll Card* kemudian diletakan di dalam kendaraan. Untuk cara yang terakhir hanya beberapa tol gate saja yang menggunakannya di Indonesia.(Hafizah et al., 2021)

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. Biasa nya sistem ini dilakukan di tol Kota.

2.2.6 Jenis - Jenis Jalan Tol

1. Jalan tol ruas terbuka (*open road Tolling*)

Jalan tol jenis ini merupakan jalan tol yang tidak memiliki gerbang pembayaran manual dalam hal melakukan pembayaran tarif tol, pengguna jalan tol tidak harus berhenti untuk melakukan pembayaran tarif tol. Sehingga pengguna tol

harus memiliki sistem pembayaran yang sudah terintegrasi dengan pihak pengelola jalan tol tersebut.

2. Jalan tol ruas terbatas (*Expressway*)

Pada jalan tol jenis ini pengguna jalan tol harus terlebih dahulu melakukan pembayaran pada awal memasuki gerbang tol, sistem pembayaran yang dilakukan pun masih menggunakan sistem pembayaran manual.

3. Jalan tol elektronik (*Road Tolling With Electronic Card*)

Merupakan jalan tol yang hanya dapat digunakan dengan menggunakan kartu toll yang telah terintegrasi dengan pengelola jalan tol untuk melakukan pembayaran tarif tol. Sehingga pengguna jalan tol diwajibkan untuk memiliki terlebih kartu elektronik toll sebelum menggunakan layanan jalan tol. Sistem ini merupakan sistem yang sudah diterapkan di jalan Indonesia.

2.2.7 Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014

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

- Kapasitas jalan (C), dan Kinerja lalu lintas jalan yang diukur oleh derajat kejenuhan (D_j)
- 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).

Tabel 2.1: Tabel Pengaruh umum rencana geometrik terhadap tingkat kecelakaan

No	Tipe/Jenis Desain	Keterangan
1	Pelebaran jalur	Menurunkan tingkat kecelakaan 2-15% per meter pelebaran
2	Pelebaran dan perbaikan kondisi permukaan bahu	Menaikkan tingkat keselamatan lalu lintas, walaupun dengan derajat yang lebih kecil dibandingkan pelebaran jalan
3	Lajur pendakian pada kelandaian curam	Mengurangi tingkat kecelakaan sebesar 25-30%
4	Median penghalang	Mengurangi kecelakaan fatal dan luka berat 10-30%, tapi menaikkan kecelakaan rudi material
5	Batas kecepatan	Menurunkan tingkat kecelakaan sebesar faktor $(V_{sesudah}/V_{sebelum})^2$

Selanjutnya mempertimbangkan hal-hal teknis dalam melaksanakan desain teknis rinci, meliputi :

a. Data masukan lalu lintas

Terdapat dua data masukan lalu lintas yang diperlukan yang terdiri dari, yang pertama data arus lalu lintas eksisting kemudian yang kedua data arus lalu lintas rencana. Data lalu lintas eksisting diperuntukan sebagai bahan evaluasi kinerja lalu lintas, yang berupa arus lalu lintas per-jam eksisting pada waktu tertentu yang dievaluasi, seperti contoh arus lalu lintas pada waktu jam sibuk pagi atau sore. Data ini digunakan sebagai penetapan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas desain rencana, berupa arus lalu lintas jam desain (q_{jp}) yang ditetapkan dari LHRT, menggunakan faktor k.

$$q_{jp} = \text{LHRT} \times k \quad (2.1)$$

Keterangan :

LHRT = volume lalu-lintas tahunan

k = faktor jam rencana

Tabel 2.2: Padanan klasifikasi jenis kendaraan

IRMS (11 kelas)	DJBM (1992) (8 kelas)	MKJI'97 (5 kelas)
1. Sepeda motor, Skuter, Kendaraan roda tiga	1. Sepeda motor, Skuter, Sepeda kumbang, dan Sepeda roda tiga	1. SM: Kendaraan bermotor roda 2 dan 3 dengan panjang tidak lebih dari 2,5m
2. Sedan, Jeep, Station wagon	2. Sedan, Jeep, Station wagon	2. KR: Mobil penumpang (Sedan, Jeep, Station wagon, Opelet, Minibus, Mikrobis), Pickup, Truk Kecil, dengan panjang tidak lebih dari atau sama dengan 5,5m
3. Opelet, Pickup-opelet, Suburban, Kombi, dan Minibus	3. Opelet, Pickup-opelet, Suburban, Kombi, dan Minibus	
4. Pickup, Mikro-truk, dan Mobil hantaran	4. Pickup, Mikro-truk, dan Mobil hantaran	
5a. Bus Kecil	5. Bus	3. KS: Bus dan Truk 2 sumbu, dengan panjang tidak lebih dari atau sama dengan 9,0m
5b. Bus Besar		4. BB: Bus besar, dengan panjang 5,5m – 12,0m
6. Truk 2 sumbu	6. Truk 2 sumbu	
7a. Truk 3 sumbu	7. Truk 3 sumbu atau lebih dan Gandengan	TB: Truk 3 sumbu dan
7b. Truk Gandengan		5. Truk kombinasi (Truk Gandengan dan Truk Tempelan), dengan panjang lebih dari 12,0m.
7c. Truk Tempelan (<i>Semi trailer</i>)		
8. KTB: Sepeda, Beca, Dokar, Keretek, Andong.	8. KTB: Sepeda, Beca, Dokar, Keretek, Andong.	KTB: Sepeda, Beca, Dokar, Keretek, Andong.

*) Catatan: Dalam analisis kapasitas JBH, jenis kendaraan sepeda motor (SM) dan kendaraan tidak bermotor (KTB), tidak disertakan.

Sumber: PKJI 2014

b. Ekuivalen kendaraan ringan (ekr)

Nilai arus lalu lintas (q) mencerminkan komposisi lalu lintas, yang dinyatakan arus dalam skr. Secara empiris ekr diturunkan menjadi beberapa jenis sebagai berikut : Kendaraan Ringan (KR), Kendaraan Sedang (KS), Bus Besar (BB), dan Truk Besar (TB).

c. Kecepatan arus bebas (V_B)

Sebagai kriteria dasar untuk kinerja JBH pada saat arus 0. Bentuk umum persamaan untuk menentukan V_B adalah:

$$V_B = V_{BD} + V_{BL} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- V_B = kecepatan arus bebas kendaraan ringan kondisi lapangan (km/jam)
- V_{BD} = kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan yang diamati pada Jalan dan alinemen (km/jam)
- V_{BL} = penyesuaian kecepatan akibat lebar jalur lalu lintas (km/jam)

d. Kapasitas JBH (C)

C adalah arus maksimum per lajur. Persamaan yang digunakan adalah :

$$C = C_0 \times FC_L \quad (2.3)$$

Keterangan :

- C = arus maksimum per lajur
- C_0 = kapasitas dasar menggunakan tabel B.5 (skr/jam)
- FC_L = faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar efektif jalur lalu lintas, berdasarkan tabel B.6

e. Derajat kejenuhan (D_J)

Penentu kinerja lalu lintas suatu simpang dan juga segmen jalan

$$D_J = \frac{q}{c} \quad (2.4)$$

Keterangan :

- D_J = derajat kejenuhan
- q = arus lalu lintas (kend/jam)
- c = kapasitas (skr/jam)

f. Waktu tempuh (T_T)

Nilai yang didasarkan pada kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*)

$$T_T = \frac{L}{V_T} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- V_T = kecepatan ruang rata-rata kendaraan ringan (km/jam)
- L = panjang segmen (km)
- T_T = waktu tempuh rata-rata kendaraan ringan (jam)

g. Kinerja lalu lintas JBH

Tingkat pelayanan mewakili kinerja jalan (*level of service, LoS*), yaitu suatu ukuran kualitatif persepsi pengemudi tentang kualitas berkendara. LoS

berkaitan dengan ukuran pendekatan kuantitatif, yakni kerapatan atau persen tundaan.

Tabel 2.3: Kinerja lalu lintas sebagai fungsi dari tipe jalan, alinemen, dan LHRT

Tipe jalan / Tipe alinemen	Variabel	Lalu lintas harian rata-rata tahunan LHRT kend./jam																
		Faktor k = 0,11																
		LHRT kend/hari	0	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	60000	70000	80000	90000	100000
	q_{JP} kend/jam	0	500	1100	1650	2200	2750	3300	3850	4400	4950	5500	6600	7700	8800	9900	11000	12100
JBH4/2-T, datar	q/C	0,00	0,06	0,14	0,21	0,28	0,35	0,43	0,52	0,60	0,66	0,70	0,83	0,97	>1,0			
	Kecepatan km/jam	88,0	86,3	84,4	82,5	80,4	78,0	75,5	72,0	69,4	67,2	65,8	58,9	47,9	40,5			
JBH4/2-T, bukit	q/C	0,00	0,09	0,18	0,27	0,36	0,46	0,56	0,63	0,68	0,76	0,84	>1,0					
	Kecepatan km/jam	77,0	75,0	72,9	70,5	68,0	65,2	62,0	59,8	58,0	54,9	51,0	36,3					
JBH4/2-T, gunung	q/C	0,00	0,12	0,23	0,34	0,44	0,55	0,62	0,67	0,75	0,85	0,94	>1,0					
	Kecepatan km/jam	64,0	61,8	59,5	57,1	54,6	52,0	50,0	48,4	45,7	42,0	36,8	30,4					
JBH6/2-T, datar	q/C	0,00	0,04	0,09	0,14	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,49	0,60	0,67	0,74	0,83	0,92	>1,0
	Kecepatan km/jam	91,0	89,8	88,6	87,3	86,0	84,6	83,1	81,5	79,9	78,1	76,1	71,8	68,9	65,8	60,9	54,4	42,3
JBH6/2-T, bukit	q/C	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,43	0,49	0,56	0,61	0,67	0,78	0,89	>1,0		
	Kecepatan km/jam	79,0	77,7	76,2	74,8	73,2	71,6	69,8	67,9	65,9	63,7	62,0	59,8	55,1	49,0	36,9		
JBH6/2-T, gunung	q/C	0,00	0,08	0,15	0,23	0,30	0,37	0,44	0,51	0,58	0,62	0,66	0,75	0,88	>1,0			
	Kecepatan km/jam	65,0	63,5	62,0	60,4	58,8	57,2	55,5	53,7	52,0	50,8	49,6	46,4	41,1	29,6			

Tabel diatas digunakan sebagai arus jam rencana (q_{JP}) sebagai berikut:

Hitung parameter berikut :

- Hitung q_{JP}
- Hitung faktor-P untuk dikonversi dari kend/jam ke skr/jam

$$P = (\% q_{KR} \times ekr_{KR} + \% q_{KS} \times ekr_{KS} + \% q_{KB} \times ekr_{KB} + \% q_{TB} \times ekr_{TB})/100$$

- Hitung arus jam rencana dalam satuan kendarangan ringan

$$q_{JP} = LHRT \times k \times P \tag{2.6}$$

Kegunaan tabel diatas diantaranya :

- a) Memperkirakan kinerja lalu lintas untuk semua tipe jalan tingkat LHRT atau q_{JP} tertentu, interpolasi linier dilakukan sebagai nilai arus antara.
- b) Memperkirakan LHRT yang akan ditampung oleh tipe-tipe jalan dalam ukuran kinerja lalu lintas yang dinyatakan D_j , V_T , T_T yang diperbolehkan.

2.3 Proses Antrian

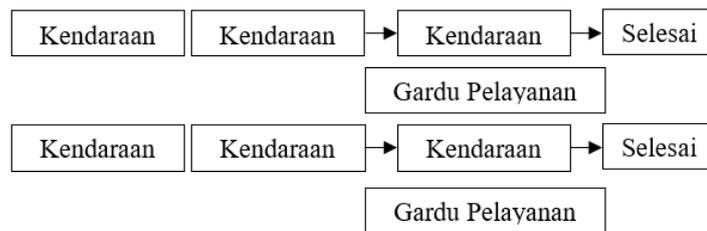
2.3.1 Disiplin Antrian

Disiplin antrian adalah aturan dalam mana para pelanggan dilayani atau disiplin pelayanan (*service time*) yang memuat urutan (*order*) para pelanggan menerima layanan. Aturan pelayanan menurut urutan kedatangan ini dapat didasarkan pada:

- Pertama masuk pertama keluarga (FIFO)
- Yang terakhir masuk pertama keluar (LIFO)
- Pelayanan dalam urutan acak (SIRO)

a. *First In First Out* (FIFO) atau *First Come First Served* (FCFS)

FIFO (*first in out*) merupakan suatu peraturan di mana yang akan dilayani dahulu adalah pelanggan yang datang terlebih dahulu. FIFO ini sering juga disebut FCFS (*First Come First Served*).

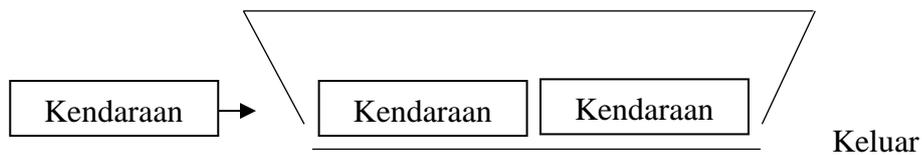


Gambar 2.1: *Disiplin Antrian FIFO*

Gambar tersebut diatas memperlihatkan ilustrasi bagaimana tata cara disiplin antrian FIFO. Disiplin antrian FIFO sangat sering digunakan dalam bidang transportasi dimana orang dan/atau kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama.

b. *First In Last Out* (FIFO) atau *First Come Last Served* (FCLS)

LIFO (*Last In First Order*) merupakan antrian di mana yang datang paling akhir adalah yang dilayani paling awal atau paling dahulu, yang sering juga dikenal dengan LCFS (*Last Come First Served*)

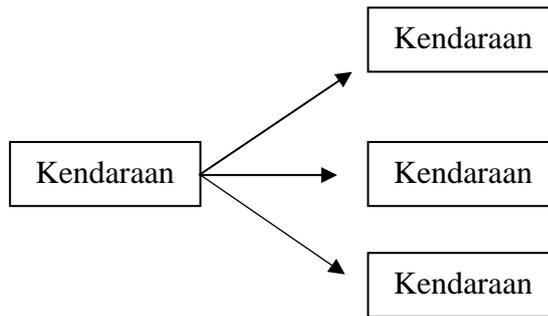


Gambar 2.2: *Disiplin Antrian FIFO*

Disiplin FIFO juga cukup sering digunakan dibidang transportasi dimana orang dan/atau kendaraan yang pertama tiba akan dilayani terakhir

c. *First Vacant First Served* (FVFS)

SIRO (*Service In Random Order*) di mana pelayanan dilakukan secara acak. Sering juga dikenal dengan RSS (*Random Selection For Service*)



Gambar 2.3: Disiplin Antrian FVFS

Dapat dilihat pada gambar, disiplin antrian FVFS sangat sering digunakan pada beberapa loket pembayaran listrik atau telepon, dan banyak contoh lainnya. Dengan disiplin antrian FVFS ini, orang yang pertama tiba akan dilayani oleh tempat pelayanan yang pertama tiba akan dilayani oleh tempat pelayanan yang pertama kosong. Dalam kasus FVFS, hanya akan terbentuk 1 (satu) antrian tunggal saja, tetapi jumlah tempat pelayanan bisa lebih 1 (satu).

2.3.2 Sistem Antrian

Terdapat beberapa sistem antrian yang berbeda-beda yang menggunakan suatu notasi yang dikenal sebagai notasi kendali, tujuan notasi ini adalah untuk mengidentifikasi suatu antrian seperti V/W/X/Y/Z, dimana:

- V = Menunjukkan pola kedatangan
- W = Menunjukkan pola pelayanan
- X = Menyatakan jumlah pelayanan yang ada
- Y = Menyatakan kapasitas system
- Z = Menandakan disiplin antrian

Jika Y dan Z tidak ditentukan berarti Y tak terhingga (∞) dan Z adalah FIFO

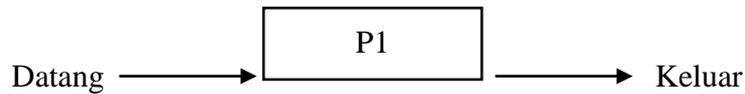
Ada beberapa model struktur antrian dasar yang umum terjadi dalam seluruh sistem antrian, yaitu sebagai berikut:

1. *Single Channel - Single Phase* atau satu antrian satu pelayanan

Struktur antrian pada single channel – single phase ini hanya memilih satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini memiliki satu tahap saja. Dalam sistem antrian ini hanya terdapat satu pemberi layanan serta satu jenis layanan saja yang dapat

diberikan. Sehingga yang telah diberikan pelayanan dapat langsung keluar dari sistem antrian.(Bahar, Mananohas, and Montolalu 2018).

Stuktur ini sangat sederhana dan dapat dilihat pada gambar berikut ini:

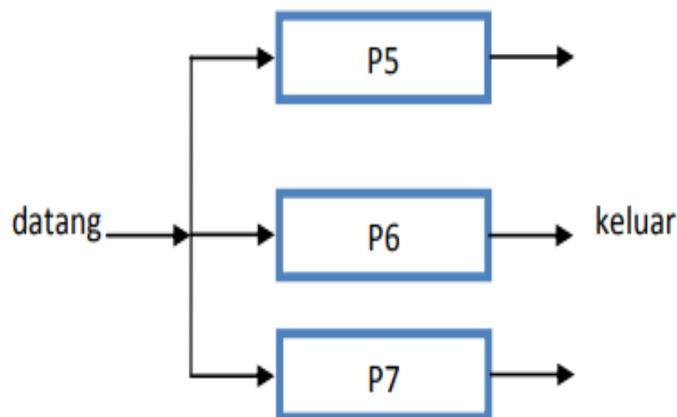


Gambar 2.4: *Single Channel - Single Phase* (Saluran Tunggal - Satu Tahap).
Kakiay, Thomas J . 2004

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

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)

sebagai contoh dari model ini adalah pembelian tiket yang dilayani oleh lebih dari satu loket . Stuktur ini sangat sederhana dan dapat dilihat pada gambar berikut ini.

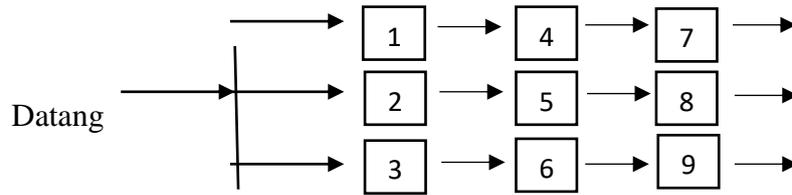


Gambar 2.5: *Multi Channel - Single Phase* (Banyak Saluran - Satu Tahap. Kakiay, Thomas J. 2004 .

3. *Multi Channel - Multi Phase* (Banyak Saluran – Banyak Tahap)

Multi channel – multi phase terjadi apabila terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan dalam setiap jenis layanan. Merupakan sistem antrian yang terdapat satu jenis layanan dalam sistem antriannya, namun terdapat lebih dari satu pemberi layanan.(Bahar et al. 2018)

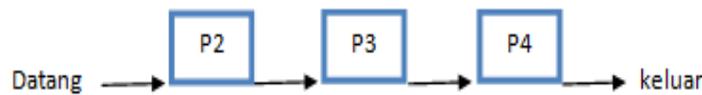
Struktur ini sangat sederhana dan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.6: *Multi Channel - Multi Phase* (Banyak Saluran – Banyak Tahap)
Kakiay, Thomas J. 2004.

4. *Single Channel - Multi Phase* atau satu antrian beberapa pelayanan seri

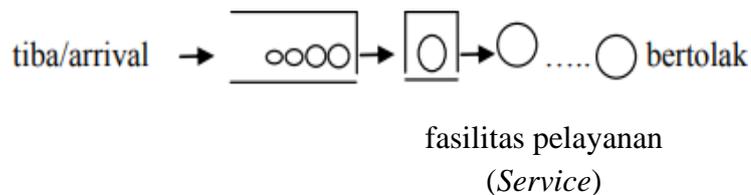
Struktur antrian pada single channel – multi phase ini hanya memiliki satu jalur pelayanan dan dalam jalur ini memiliki dua tahap (lebih dari satu layanan). Sistem antrian ini adalah dimana sistem antrian terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan dalam berbagai jenis layanannya. (Bahar et al. 2018). Struktur ini sangat sederhana dan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.7: *Single Channel - Multi Phase* (Saluran)

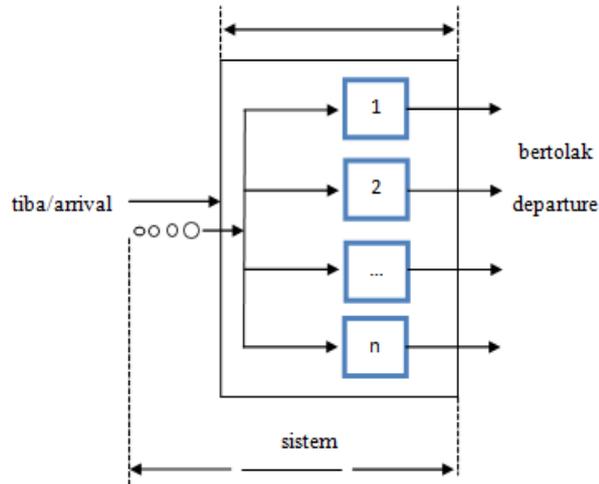
1. Dalam teori antrian selalu ditentukan kombinasi di mana kegiatan yang dimulai dari pelanggan datang pada suatu tempat tertentu dan kemudian dapat langsung mengikuti aturan antrian untuk selanjutnya dilayani dan akhirnya meninggalkan tempat tersebut.
2. Apa bila ditinjau banyaknya kebutuhan pelanggan (customer) yang memerlukan pelayanan (service), maka terdapat beberapa model antrian dan service sekaligus untuk melayani pelanggan, yaitu sebagai berikut:

a. Pelayanan tunggal dengan antrian tunggal



Ini bentuk yang umum yang banyak ditemukan di berbagai tempat.

- b. Pelayanan (*service*) berbentuk paralel sedangkan kedatangan pelanggan mengikuti baris (*line*) di mana pelayanan akan diberikan dengan bergantung pada pelayanan yang kosong contoh



Gambar 2.8: System ini terdapat pada system pelayanan bank, aturan untuk memasuki jembatan/terowongan dan lain – lain

2.3.4 Parameter Antrian

Ada empat parameter utama yang selalu digunakan untuk menganalisis antrian, oleh karena itu jumlah gardu tol yang sesuai dengan tingkat kedatangan kendaraan yang ada sehingga tidak terjadi antrian yang panjang, berikut merupakan yang dapat digunakan untuk menghitung n , q , d , dan w untuk disiplin antrian FIFO
 \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)

- a. Disiplin Antrian FIFO

Persamaan 2.7 – 2.10 ini merupakan dapat digunakan menghitung \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} untuk disiplin antrian FIFO (Tamin 2008).

- a. Jumlah kendaraan dalam system

$$n = \frac{\lambda N}{\mu - (\frac{\lambda}{N})} \quad (2.7)$$

b. Jumlah kendaraan yang antri

$$q = \frac{\left(\frac{\lambda}{N}\right)^2}{\mu - \left(\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)\right)} \quad (2.8)$$

c. Waktu menunggu rata – rata dalam system

$$d = \frac{1}{\mu - \left(\frac{\lambda}{N}\right)} \times 3600 \quad (2.9)$$

d. Waktu menunggu rata – rata dalam antrian

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

Dimana:

n = jumlah rata-rata kendaraan didalam system

q = jumlah kendaraan yang antrian

d = waktu menunggu rata-rata dalam sistem

w = waktu menunggu antrian

λ = tingkat kedatangan rata-rata

N = jumlah pintu gerbang /jalur

μ = tingkat pelayanan rata-rata

ρ = intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian

Beberapa asumsi yang di perlukan dalam penggunaan disiplin antrian FIFO adalah

1. persamaan (2.7) – (2.9) hanya berlaku untuk lajur tunggal dengan nilai $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$
 1. Jika nilai $\rho > 1$ maka diharuskan menambah beberapa lajur.
2. jika terdapat lebih dari 1 (satu) lajur (katakan N lajur) maka asumsinya bahwa tingkat kedatangan (λ) akan membagi dirinya secara merata untuk setiap lajur, dimana N adalah lajur dengan demikian dapat di asumsikan akan terbentuk N antrian tunggal dimana setiap antrian berlajur tunggal akan dapat menggunakan persamaan (2.7)-(2.9)
3. kendaraan yang sudah antri pada suatu lajur antrian di asumsikan tidak boleh berpindah antrian ke jalur lainnya.
4. waktu pelayanan antara tempat pelayanan di asumsikan relative sama.

b. Disiplin FVFS

Persamaan 2.12 – 2.16 ini persamaan yang akan digunakan untuk menghitung \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} untuk disiplin antrian FVFS (Tamij 2008).

$$P(0) = \frac{1}{[\sum_{n=0}^{K-1} \frac{1}{n!} (\frac{\lambda}{\mu})^n] + [\frac{1}{K!} (\frac{\lambda}{\mu})^K (\frac{K\mu}{K\mu-\lambda})]} \quad (2.11)$$

Dimana $P(0)$ adalah besarnya peluang terjadinya kondisi dimana tidak ada kendaraan dalam sistem antrian, dan K adalah jumlah tempat pelayanan.

$$\bar{n} = \frac{\lambda \mu (\frac{\lambda}{\mu})^K}{(K-1)!(K\mu-\lambda)^2} p(0) + \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.12)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda \mu (\frac{\lambda}{\mu})^K}{(K-1)!(K\mu-\lambda)^2} p(0) = n - \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.13)$$

$$\bar{d} = \frac{\mu (\frac{\lambda}{\mu})^K}{(K-1)!(K\mu-\lambda)^2} p(0) + \frac{1}{\mu} \quad (2.14)$$

$$\bar{w} = \frac{\mu (\frac{\lambda}{\mu})^K}{(K-1)!(K\mu-\lambda)^2} p(0) = d - \frac{1}{\mu} \quad (2.15)$$

Dimana:

λ = tingkat kedatangan rata-rata

μ = tingkat pelayanan rata-rata

K = jumlah gerbang pelayanan

$p(0)$ = besarnya peluang terjadinya kondisi dimana tidak ada kendaraan dalam sistem antrian.

Asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FVFS adalah terdapat hanya 1 (satu) antrian (lajur-tunggal) dimana kendaraan atau orang yang berada pada antrian terdepan akan dilayani oleh suatu tempat pelayanan yang pertama kosong (vacant).

Penurunan secara matematis untuk kondisi tetap ini disebut hasil-hasil (rumusan-rumusan) keadaan tetap (*steady state result*) yang berarti bahwa ini merupakan hasil yang diamati sesudah sistem beroperasi pada waktu yang lama hingga nilai rata-rata nya atau nilai probabilitasnya tidak akan berubah. Persamaan tersebut diturunkan dari situasi dengan periode operasi tidak terhingga. Pendekatan dengan cara ini logis digunakan untuk evaluasi efektif berbagai segi perencanaan jalan tol.

2.3.5 Model Antrian

Model antrian tunggal adalah apabila system layanan hanya memiliki satu gerbang pelayanan, sedangkan model pelayanan ganda adalah apabila sejumlah system pelayanan mempunyai satuan pelayanan paralel yang masing-masing akan dilayani oleh seperangkat pelayanan. Dalam hal mengoptimalkan suatu pelayanan, dapat melakukan perkiraan waktu pelayanan dan dapat juga menentukan jumlah saluran atau jalur antrian dan jumlah pelayanan atau tenaga kerja yang tepat yang akan digunakan dengan menggunakan model-model antrian.

Dalam hal antrian sendiri terdapat 4 macam model antrian, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Model A: model antrian jalur tunggal dengan kedatangan berdistribusi poisson dan waktu pelayanan Ekspensial(M/M/1).
2. Model B : model antrian jalur berganda (M/M/S).
3. Model C : model waktu pelayanan konstan (M/D/1).
4. Model D : model popasi yang terbata

Tabel 2.4: Model Antrian

Model	Nama	Jumlah jalur	Jumlah Tahapan	Pola tingkat kedatangan	Pola waktu pelayanan	Ukuran antrian	aturan
A	System sederhana (M/M/1)	Tunggal	Tunggal	Poisson	ekponensial	Tidak terbatas	FIFO
B	Berganda	Ganda	Tunggal	Poisson	ekponensial	Tidak terbatas	FIFO
C	Pelayanan Konstan (M/D/I)	Tunggal	Tunggal	Poisson	ekponensial	Tidak terbatas	FIFO
D	POPULASI Terbatas	Tunggal	Tunggal	Poisson	ekponensial	Tidak terbatas	FIFO

Keempat antrian diatas, dan diasumsikan yaitu memiliki karakteristik umum diantaranya adalah:

1. kedatangan berdistribusi poisan
2. Pengguna Aturan FIFO
3. Pelayanan satu tahap

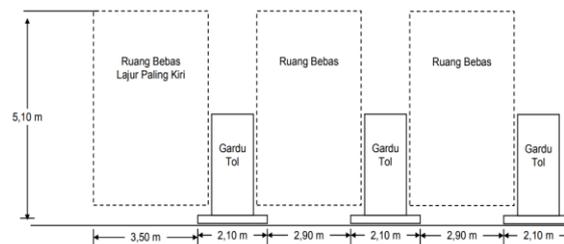
Melakukan kebijakan dalam penambahan suatu pintu tol, merupakan suatu kebijakan yang memiliki biaya besar, hal ini dikarenakan melakukan penambahan

pada pintu tol berarti menambah bangunan pintu tol, peralatan baru, tenaga manusia, dan masih banyak biaya yang terkait. Permasalahan lahan merupakan faktor utama kritis bagi jalan tol di daerah perkotaan.

2.4 Pelataran Tol dan Gerbang Tol

Pelataran tol atau toll plaza adalah daerah pada bagian jalan tol yang memiliki bentuk geometris yang lebih lebar dari ukuran normal jalan tol, ini merupakan daerah kawasan ditempatkannya gerbang tol. Perencanaan pelataran tol dan gerbang tol harus menggunakan persyaratan perencanaan menurut Bina Marga Tentang Geometri Jalan bebas hambatan. Hal-hal penting yang harus diperhatikan adalah kelancaran lalu lintas, keamanan dan efisiensi pengoperasian, dan pandangan bebas.

Peraturan Bina Marga ini juga mengatur untuk lebar lajur lalu lintas pada gerbang tol adalah 2,90m dan lebar pulau tol 2,10m dengan panjang minimum 2,5m untuk lajur searah, sedangkan lajur bolak balik 3,3m. pelayanan kendaraan yang bersifat khusus seperti angkutan dengan kendaraan ekstra lebar maka pada lajur paling luar (kiri) dibuat lebar minimal adalah 3,50m. gambar dibawah ini memperlihatkan ruang bebas pada gerbang tol.

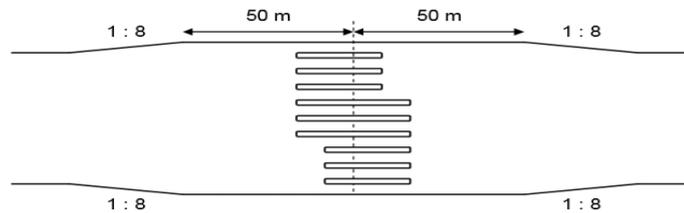


Gambar 2.9: Ruang bebas pada Gerbang Tol

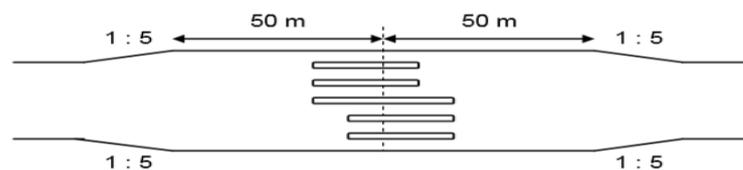
Perkerasan minimal permukaan kemiringan melintang pada pelataran tol adalah 0,1% dan maksimum 2,0%. Pelebaran jalur yang dilakukan pada pelataran tol harus direncanakan transisi yang cukup untuk melakukan manuver atau weaving lalu lintas dari jalur normal ke arah lajur tol/gardu yang akan dituju dan/atau sebaliknya.

Pada pelataran tol barrier permukaan perkerasannya memiliki kemiringan melintang permukaan perkerasannya dibuat minimum sebesar 0,5%, dengan ketentuan sumbu gerbang tol berada pada puncak lengkung vertikal dengan landai

memanjang jalan +2% dan -2%. Pada pelataran tol barrier, pelebaran jalur harus dibuat dengan kemiringan taper maksimum pelataran 1:8, dan kemiringan taper maksimum pelataran tol pada ramp atau jalan akses 1:5.



Gambar 2.10: Pelataran Tol pada Gerbang tol barrier



Gambar 2.11: Pelataran gerbang tol ramp

2.5 Golongan Kendaraan

Golongan jenis kendaraan bermotor pada jalan tol yang sudah beroperasi Berdasarkan Kepmen PU No 370/KPTS/M/2007.

Tabel 2.5: Golongan Jenis Kendaraan Jalan tol

Golongan	Jenis kendaraan
Golongan I	Sedan, Jip, Pick up/Truck Kecil, dan Bus
Golongan II	Truck dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truck dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truck dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truck dengan 5 (lima) gandar
Golongan VI	Kendaraan bermotor roda 2 (dua)

2.7 Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Keperluan Jalan Tol

Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) dalam perhitungan untuk penambahan jumlah gardu tol telah memiliki Standart Pelayanan Minimal (SPM) sesuai dengan Peraturan Menteri PU No.16/PRT/M/2014. Aksesibilitas yang diterapkan harus mencakup dengan kecepatan transaksi dan perhitungan jumlah gardu yang

dibutuhkan dalam satu jalur per arah. Didalam peraturan yang tertera terdapat 2 jenis transaksi, yakni transaksi sistem tertutup dan terbuka:

Tabel 2.6: Aksesibilitas waktu pelayanan tipe transaksi sesuai SPM

Tipe sistem Transaksi	Waktu pelayanan maksimal	Jumlah kendaraan yang ditampung/jam/gardu
Gerbang tol sistem terbuka	6 detik/kendaraan	450 kendaraan
Gerbang tol sistem tertutup		
• Gardu masuk :	5 detik/kendaraan	500 kendaraan
• Gardu keluar :	9 detik/kendaraan	300 kendaraan

- Transaksi sistem terbuka merupakan jenis transaksi yang pembayaran tarif tolnya dibayar diawal memasuki pintu tol dengan melakukan tap in, sehingga pada saat telah sampai digerbang tol tujuan tidak perlu melakukan tap out kartu lagi. Dalam transaksi sistem ini kecepatan pelayanan yang sesuai dengan SPM harus tidak lebih dari 6 detik/kendaraan, dengan pelayanan kendaraan perjam maksimal 450 kendaraan/jam/gardu. Sistem transaksi ini banyak diterapkan pada Jalan Tol yang berada dipulau Jawa.
- Pada transaksi sistem tertutup memiliki sedikit perbedaan dalam penerapan pembayarannya tarif tolnya, yakni dengan melakukan tap in pada gardu tol, ketika sudah sampai ditujuan maka pengguna diwajibkan melakukan tap out digardu keluar jalan tol. Pada sistem transaksi ini pelayanan yang diwajibkan dalam SPM adalah 5 detik/kendaraan pada gardu masuk dan 9 detik/kendaraan pada gardu, dengan batas maksimal pelayanan kendaraan saat masuk sebanyak 500 kendaraan/jam/gardu dan 300 kendaraan/jam/gardu saat berada digardu keluar. Sistem transaksi ini banyak ditemukan dipulau sumatera, seperti Tol Trans Sumatera ruas Tebing Tinggi-Medan-Binjai-Stabat.

Pada kedua sistem penerapan transasksi diatas maksimal antrian kendaraan yang diperbolehkan hanya 10 kendaraan saja dalam keadaan kondisi normal dan apabila terjadi kendala maka penangan yang dilakukan selambatnya 30 menit.

Berdasarkan artikel M. Fakhuriza Pradana dkk, dalam perencanaan kebutuhan gardu tol pada gerbang tol harus melihat arus lalu lintas yang terjadi disekitar kawasan gerbang tol dan melakukan simulasi peningkatan arus lintas yang mungkin

akan terjadi pada daerah tersebut. Hal ini diharuskan karena peningkatan arus lalu lintas akan mengalami peningkatan setiap tahunnya.

Depertemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga memberikan rincian terkait dengan kapasitas jumlah gardu yang dapat menampung kendaraan dalam waktu pelayanan 4, 6, dan 10 detik.

Tabel 2.7: Kapasitas gerbang tol berdasarkan jumlah gardu

Jumlah Gardu	Kapasitas Gerbang Tol (Kendaraan/Jam)		
	Waktu pelayanan (detik)		
	4	6	10
1	675	450	270
2	1.575	1.050	630
3	2.475	1.650	990
4	3.375	2.250	1.350
5	4.275	2.850	1.710
6	5.175	3.450	2.070
7	6.075	4.050	2.430
8	6.975	4.650	2.790
9	7.875	5.250	3.150
10	8.755	5.850	3.510
11	9.675	6.450	3.870
12	10.575	7.050	4.230
13	11.475	7.650	4.590
14	12.375	8.250	4.950
15	13.275	8.850	5.310

Tabel diatas merupakan acuan dalam perencanaan dan peningkatan jumlah gardu tol. Semakin cepat waktu pelayanan yang dapat dicapai maka semakin efektif jumlah gardu yang tersedia.

2.7.1 Tolak Ukur pengukuran waktu Pelayanan gardu Tol

Tabel 2.8: Tabel Standar Pelayanan Minimum (SPM) jalan tol

No	JURUYAN PELAYANAN	STANDAR PELAYANAN MINIMAL			TATA CARA / METODE PENGUKURAN					SARAN KEPADA PENGUSAHA JALAN TOL
		INDIKATOR	CAKUPAN/LINGKUP	TOLOK UKUR	YANG MELAKUKAN PENGAMATAN/PENGUKURAN	CARA PENGAMATAN/PENGUKURAN	ALAT YANG DIGUNAKAN	WAKTU PENGUKURAN /JADWAL /FREKUENSI	POPULASI PENCAPAIAN	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		<ul style="list-style-type: none"> Gardu keluar GTO Gardu Tol Asahil Kertu Gardu Tol Transkisi 	<ul style="list-style-type: none"> Maksimal 9 detik setiap kendaraan 	Operator dan atau oleh BPJT	Survei Waktu Transaksi	Stopwatch, papan survei, alat tulis	Setiap bulan oleh Operator dan atau oleh BPJT Setiap 6 bulan	≥ 5 Gardu = 80% atau ≤ 5 Gardu = 100%	Kelancaran	
			<ul style="list-style-type: none"> Maksimal 4 detik setiap kendaraan 	Operator dan atau oleh BPJT	Survei Waktu Transaksi	Stopwatch, papan survei, alat tulis	Setiap bulan oleh Operator dan atau oleh BPJT Setiap 6 bulan	Gardu = 80% atau ≤ 5 Gardu = 100%	Kelancaran	
			<ul style="list-style-type: none"> Maksimal 5 detik setiap kendaraan 	Operator dan atau oleh BPJT	Survei Waktu Transaksi	Stopwatch, papan survei, alat tulis	Setiap bulan oleh Operator dan atau oleh BPJT Setiap 6 bulan	Gardu = 80% atau ≤ 5 Gardu = 100%	Kelancaran	
		<ul style="list-style-type: none"> Jumlah Antrian Kendaraan 	<ul style="list-style-type: none"> Gardu Tol 	<ul style="list-style-type: none"> Maksimal 10 kendaraan per-Gardu dalam kondisi normal 	Operator dan atau oleh BPJT	Survei Jumlah Antrian Kendaraan	Papan survei, alat tulis	Setiap bulan oleh Operator dan atau oleh BPJT Setiap 6 bulan	100%	Kelancaran
3	Aksesibilitas	Kecepatan Transaksi Rata-rata	<ul style="list-style-type: none"> Gerbang Tol sistem terbuka 	<ul style="list-style-type: none"> Maksimal 4 detik setiap kendaraan 	Operator dan atau oleh BPJT	Survei Waktu Transaksi	Stopwatch, papan survei, alat tulis	Setiap bulan oleh Operator dan atau oleh BPJT Setiap 6 bulan	≥ 5 Gardu = 80% atau ≤ 5 Gardu = 100%	Kelancaran
			<ul style="list-style-type: none"> Gerbang Tol sistem tertutup 							
			<ul style="list-style-type: none"> Gardu manual 	<ul style="list-style-type: none"> Maksimal 5 detik setiap kendaraan 	Operator dan atau oleh BPJT	Survei Waktu Transaksi	Stopwatch, papan survei, alat tulis	Setiap bulan oleh Operator dan atau oleh BPJT Setiap 6 bulan	≥ 5 Gardu = 80% atau ≤ 5 Gardu = 100%	Kelancaran

SPM dalam melakukan pengukuran standar waktu pelayanan telah mengatur tata cara dan tolok ukur dalam menentukan waktu maksimal pelayanan sebuah kendaraan saat akan memasuki gardu tol. Dalam pengecekan kecepatan pelayanan gardu tol dilakukan oleh operator setiap bulan dan oleh BPJT setiap 6 bulan. Alat yang digunakan dalam pengecekan ini adalah *Stopwatch*, papan survei dan alat tulis. Penentuan waktu transaksi dilakukan dengan melihat kecepatan gardu dalam melayani transaksi. Sehingga didapat waktu maksimal pelayanan 4 detik.

2.8 Model Gardu Transaksi Tol

Berdasarkan artikel Resnu Nuafal Muzaki dkk, menyatakan bahwa waktu pelayanan gardu tol yang ada di Indonesia masi berada dibawah waktu pelayanan yang berada dinegara jiran kita Malaysia. Pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 ini menyatakan bahwasannya gardu tol otomatis di Indonesia mencatat waktu pelayanan rata-rata yang didapat disalah satu gerbang tol Jakarta-Bandung yakni gerbang tol Pasteur mencatat waktu pelayanan 9,07 detik/kendaraan, nilai tersebut berbanding jauh dengan transaksi Tol Malaysia mencatat waktu pelayanan 5,06 detik/kendaraan, dan transaksi Tol Jepang mencatat waktu 1,3 detik/kendaraan.

2.8.1 Transaksi manual

Transaksi manual merupakan tipe transaksi pembayaran tarif tol yang masih menggunakan manusia dalam melakukan proses pembayaran, transaksi tipe ini digunakan pada awal pertama dibukannya jalan tol di Indonesia pada tahun 1978. Waktu pelayanan rata-rata kendaraan adalah 13,5 detik/kendaraan. Namun saat ini penggunaan gardu transaksi manual sudah tidak digunakan lagi.

2.8.2 Transaksi *NFC-RFID (E-TOLL)*

Berdasarkan artikel Kukuh Aris Santoso, menjelaskan bahwa transaksi pembayaran tarif tol model *NFC-RFID* sudah efektif digunakan sebagai sistem pembayaran pada gardu tol, *NFC-RFID* adalah *Near Field Communication* berbasis *Radio Frequency Identifikasi*. Perangkat ini bekerja pada frekuensi 13.56 Mhz, jarak ± 10 cm, dan pertukaran data mencapai 42 kilobits/s. Di Indonesia perangkat ini sudah dikenal dengan sebutan *e-toll* yang biasa digunakan untuk melakukan *tap in* dan *tap out* pada gardu tol. Waktu pelayanan rata-rata yang dapat diberikan dari alat ini adalah 4-7 detik/kendaraan, angka ini jauh berada diatas waktu pelayanan transaksi secara manual. Cara kerja proses transaksi ini adalah pengguna jalan tol harus memiliki kartu tol yang nantinya akan ditempel pada perangkat gardu tol sebagai alat pemindai jenis golongan kendaraan yang akan menggunakan jalan tol. alat ini memiliki kecepatan pembacaan yang sangat singkat, yakni 2 detik dengan jarak kartu 3 cm.

2.8.3 Transaksi sistem *Vanet-DSRC (OBU, MLFF)*

Berdasarkan artikel Kukuh Aris Santoso, menjelaskan bahwa sistem transaksi ini merupakan sistem transaksi yang sangat sangat efektif, dikarenakan pada sistem ini menghilangkan antrian kendaraan pada gardu masuk dan keluar tol. VANET (*Vehicle Ad-Hoc Networks*) penggunaannya harus dilengkapi dengan OBU (*On-Boar Unit*) yang memiliki fungsi sebagai terminal dan *router wirelees*. DSRC (*Dedicated short-range communication*) merupakan komunikasi satu atau dua arah berjarak pendek hingga menengah (1000 meter) yang difungsikan untuk kendaraan roda 4 atau lebih.

Di Indonesia sistem transaksi ini sudah mulai diterapkan dengan sebutan MLFF (*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 Kemenpeu 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 Satellite System*). Sedangkan OBU perangkat nya di tempel didalam kendaraan untuk melakukan transaksi. Kedua perangkat ini sama-sama menghasilkan waktu pelayanan menjadi < 1 detik/kendaraan.

Tabel 2.9: Kecepatan waktu pelayanan tiap model gardu

No	Model Gardu	Waktu pelayanan/kend. (detik)	Jarak pembacaan kartu	Kecepatan pembacaan kartu (detik)
1	Gardu manual	13,5	-	-
2	NFC-RFID (E-TOLL)	4-7	3 cm	2
3	Vanet-DSRC (OBU,MLFF)	1		-

2.9 Ukuran Lebar Lajur Per Arah Pada Jalan Tol

Dalam melakukan perencanaan pembangunan jalan tol terdapat ketentuan yang tentunya sudah diatur oleh pemerintah sebagai standart yang berlaku dalam proses perencanaan kontruksi jalan bebas hambatan. Peraturan Menteri PUPR No. 5 Tahun 2023 tentang persyaratan teknis jalan dan perencanaan teknis jalan.

Tabel 2.10: Persyaratan Teknis Jalan Bebas Hambatan

Status: Jalan Nasional/JBH/Jalan Tol		ANTARKOTA			KOTA		
SPESIFIKASI PENYEDIAAN PRASARANA JALAN		JALAN BEBAS HAMBATAN			JALAN BEBAS HAMBATAN		
FUNGSI DAN KELAS PENGGUNAAN JALAN		Arteri (Kelas I, II, III, Khusus)			Arteri (Kelas I, II, III, Khusus)		
		Kolektor (Kelas I, II, III)			Kolektor (Kelas I, II, III)		
TIPE JALAN PALING KECIL		8/2-T	6/2-T	4/2-T	8/2-T	6/2-T	4/2-T
LHRT DESAIN (SMP/Hari) ≤ Nilai tabel (75% Kapasitas)	Medan Datar	≤ 156.000	≤ 117.000	≤ 78.000	≤ 156.000	≤ 117.000	≤ 78.000
	Medan Bukit	≤ 153.000	≤ 115.000	≤ 77.000			
	Medan Gunung	≤ 146.000	≤ 110.000	≤ 75.000			
KECEPATAN DESAIN, V _D , (Km/Jam)	Medan Datar	80 - 120			60 - 100		
	Medan Bukit	70 - 100					
	Medan Gunung	60 - 100					
LEBAR JALUR LALU LINTAS, m	V _D ≤ 80 KpJ	2 x 14,00	2 x 10,50	2 x 7,00	2 x 14,00	2 x 10,50	2 x 7,00
	V _D > 80 KpJ	2 x 15,00	2 x 11,25	2 x 7,50	2 x 15,00	2 x 11,25	2 x 7,50
LEBAR BAHU LUAR paling kecil, m	Semua Medan	3,00			2,00		
	Median drendahkan	9,00 dengan bahu dalam 1,0m untuk V _D ≤ 80KpJ atau 1,50m untuk V _D > 80KpJ					
LEBAR MEDIAN paling kecil, m (lebar median termasuk lebar kedua bahu dalam dan bangunan median; Marka garis tepi berada di dalam bahu dalam)	Median ditinggikan	2,80 untuk V _D ≤ 80 Km/Jam, median ditinggikan setinggi kereb dan dilengkapi rel pengaman. Ukuran sebagai berikut: Lebar bahu dalam = 1,00 m; Lebar bangunan pemisah setinggi kereb = 0,80 m.			2,80; Untuk V _D ≤ 80 Km/Jam, ditinggikan setinggi kereb dan dilengkapi rel pengaman. Ukuran sebagai berikut: Lebar bahu dalam = 1,0 m; Lebar bangunan pemisah setinggi kereb = 0,80 m.		
	Median ditinggikan	3,80 untuk V _D > 80 Km/Jam, ditinggikan setinggi 1,10m berupa penghalang beton. Ukuran sebagai berikut: Lebar bahu dalam = 1,50 m; Lebar bangunan pemisah setinggi 1,10 m = 0,80 m.			3,80; Untuk V _D > 80 Km/Jam, ditinggikan setinggi 1,10m berupa penghalang beton. Ukuran sebagai berikut: Lebar bahu dalam = 1,50 m; Lebar bangunan pemisah setinggi 1,10 m = 0,80 m.		
BADAN JALAN paling kecil, m untuk V _D ≤ 80KpJ	Arteri	37,30	30,30	23,30	35,30	28,30	21,30
	Kolektor	37,30	30,30	23,30	35,30	28,30	21,30
BADAN JALAN paling kecil, m untuk V _D > 80KpJ	Arteri	40,30	32,80	25,30	37,30	29,80	22,30
	Kolektor	40,30	32,80	25,30	37,30	29,80	22,30
PENAMPANG MELINTANG JALAN	Lebar, m	40,30	33,30	26,30	38,30	31,30	24,30
	Tinggi, m	5,00			5,00		
	Dalam, m	1,50			1,50		
RUMAJA paling kecil, m	Lebar, m	45,00	38,00	30,00	45,00	38,00	30,00
	Arteri	15,00 atau sesuai kebutuhan			15,00 atau sesuai kebutuhan		
	Kolektor	10,00 atau sesuai kebutuhan			10,00 atau sesuai kebutuhan		
	Jembatan	100,00			100,00		

Penentuan awal dalam perencanaan pembangunan jalan tol harus memilih jumlah lajur per arah yang akan dibangun. Di Indonesia umumnya jalan tol penggunaan 2 lajur per arah, hal ini tidak lepas dari terbatasnya lahan yang dimiliki oleh pemerintah. Untuk itu spesifikasi yang umum kita temui di jalan tol adalah tipe jalan 4/2-T, yakni:

- LHRT (Lalu lintas harian rata-rata) yang diperbolehkan dalam jalan ini adalah tidak lebih dari 78.000/hari untuk medan dataran, 77.000 kendaraan /hari untuk medan perbukitan, dan 75.000 kendaraan/hari untuk medan pegunungan. Sehingga untuk mencapai tingkat kelancaraan tanpa mengalami tundaan maksimal 19.500 kendaraan/hari/lajur. Yang artinya apabila melewati dari jumlah yang telah ditentukan makanya perlunya peningkatan kapasitas jalan karena jika sudah melewati akan menimbulkan kemacetan.
- Kecepatan minimal dan maksimal tempuh kendaraan dalam tol antar kota adalah 80-120 km/jam untuk medan dataran, 70-100 km/jam untuk perbukitan, dan 60-100 km/jam untuk medan pegunungan. Sedangkan untuk tol dalam kota kecepatan minimal dan maksimal yang diperbolehkan adalah 60-100 km/jam.
- Lebar jalur lalu lintas jalan bebas hambatan yang diterapkan adalah 2×7,00 meter untuk daerah dengan maksimal kecepatan 80 km/jam sampai 2×7,50 meter

untuk daerah dengan kecepatan lebih dari 80 km/jam. Ukuran tersebut berlaku juga dengan jalan tol dalam kota.

- Lebar lajur per arah adalah 3.50 meter sampai 3.70 meter.
- Lebar bahu jalan bagian luar adalah 3 meter untuk tol antar kota, sedangkan tol dalam kota lebar jalan bagian luar lebih kecil yakni 2 meter.
- Lebar median jalan, dalam bagian ini terdapat 2 jenis median yang digunakan didalam jalan bebas hambatan, yakni :
 - a. Median direndahkan, merupakan median yang pada bagian tengahnya biasanya ditanami tumbuhan untuk penghijauan. Median ini memiliki spesifikasi lebar minimal 9 meter, yang terdiri dari bahu jalan bagian dalam 1 meter untuk daerah dengan kecepatan maksimal 80 km/jam, dan 1.5 meter untuk daerah dengan kecepatan minimal 80 km/jam.
 - b. Median ditinggikan, merupakan median yang berbentuk beton yang umum kita jumpai di jalan tol. Median ini memiliki spesifikasi, pada jalan dengan daerah maksimal kecepatan 80 km/jam maka lebar median 2,8 meter yang terdiri dari lebar bahu jalan masing-masing bagian dalam 1 meter dan tinggi kerib 80 cm. sedangkan pada daerah dengan minimal kecepatan 80 km/jam, maka spesifikasi median jalan berukuran 3,8 meter yang terdiri dari lebar bahu jalan masing-masing bagian dalam 1.5 meter dan kerib 80 cm.
- Lebar bagian badan jalan minimal pada jalan bebas hambatan terbagi menjadi dua jenis, yakni:

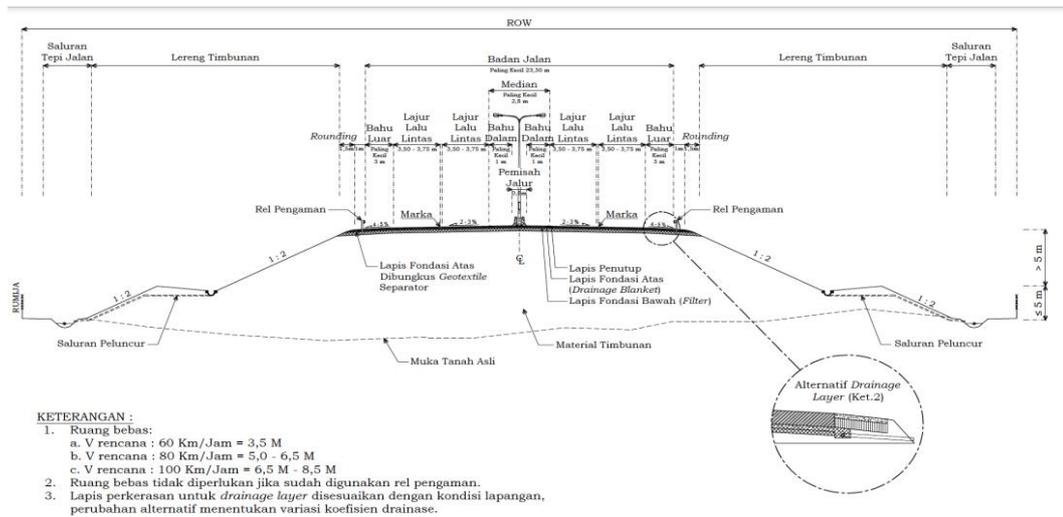
Kawasan maksimal kecepatan 80 km/jam.

- a. Ruas jalan arteri antar kota memiliki lebar badan jalan minimal 23,30 meter dan ruas jalan arteri dalam kota memiliki lebar badan jalan minimal 21,30 meter.
- b. Ruas jalan kolektor antar kota memiliki lebar badan jalan 23,30 meter dan ruas jalan kolektor dalam kota memiliki lebar badan jalan 21,30 meter.

Kawasan minimal kecepatan 80 km/jam.

- a. Ruas jalan arteri antar kota memiliki lebar badan jalan 25,30 meter dan ruas jalan arteri dalam kota memiliki lebar badan jalan 22,30 meter.
- b. Ruas jalan kolektor antar kota memiliki lebar badan jalan 25,30 meter dan ruas jalan kolektor dalam kota memiliki lebar badan jalan 22,30 meter.

- Pada bagian penampang melintang ruang manfaat jalan (RUMAJA) minimal lebar yang diharuskan 26,30 meter untuk ruas tol antar kota dan 24,30 meter untuk ruas tol dalam kota.
- Pada bagian penampang melintang ruang milik jalan (RUMIJA) minimal lebar yang diharuskan 30 meter untuk semua ruas jalan tol.



Gambar 2.12: Konfigurasi potongan melintang jalan bebas hambatan tipe 4/2-T

Ketentuan data diatas merupakan ketentuan syarat wajib dalam melakukan perencanaan pembangunan jalan tol yang sudah menjadi standart nasional untuk semua jalan bebas hambatan yang ada di Indonsia. Apabila nantinya pada jumlah lalu lintas harian kendaraan yang menggunakan jalan tersebut telah melewati maksimal ≤ 78.000 kendaraan, maka perlu dilakukan peningkatan ruas jalan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Strategi Pencarian Studi Literatur

Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur. Metode studi literatur merupakan bentuk penelitian yang dilakukan melalui penelusuran-penelusuran dengan membaca berbagai sumber baik buku, jurnal, dan terbitan-terbitan lain yang berkaitan dengan topik penelitian, untuk menjawab isu atau permasalahan yang ada.

Sumber pencarian literatur yang digunakan dalam penelitian ini ditelusuri melalui:

1. *Google scholar*
2. Repository UMSU

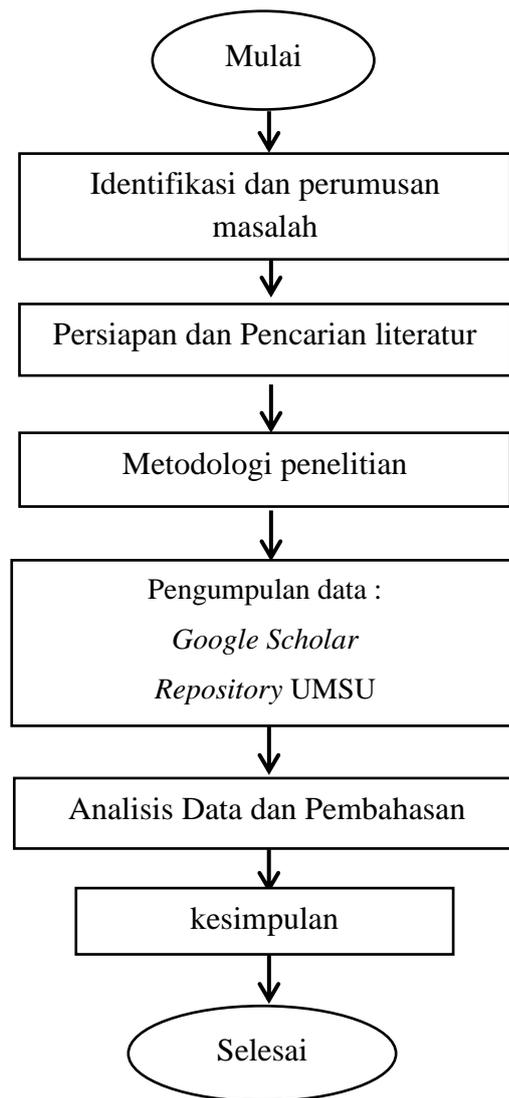
3.2 Kriteria Studi Literatur

Kriteria inklusi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Artikel, jurnal, dan skripsi.
- b. Artikel, jurnal, dan skripsi yang mengandung kata kunci yang sesuai dengan topik pembahasan penelitian.
- c. Artikel merupakan *full paper* dan tidak terbatas metode penelitian tertentu
- d. Artikel menggunakan bahasa Indonesia dan/atau bahasa Inggris.

3.3 Tahapan Kegiatan Penelitian

Dalam melakukan kegiatan penelitian diperlukan kerangka kerja yang berisi skema penelitian dari awal sampai diperolehnya suatu kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan. Kerangka kerja penelitian dibuat dalam diagram alur penelitian sebagaimana Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian

3.4 Tahapan Pekerjaan

Penelitian ini merupakan *literature Review* dengan melakukan pengamatan dan pengumpulan data dengan melihat dan mengumpulkan artikel, jurnal dan tugas akhir mahasiswa terdahulu mengenai topik pembahasan yang akan diteliti. Beberapa kegiatan yang akan dilakukan dalam proses ini adalah:

1. Pecarian data berupa artikel, jurnal, dan skripsi
2. Pelaksanaan pengumpulan data
3. Pengolahan data

3.5 Tahapan Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian ini, perlu direncanakan beberapa hal dalam pengumpulan data yaitu:

1. Pencarian literatur

Pencarian data ini dilakukan dengan mencari beberapa artikel, jurnal, dan tugas akhir mahasiswa terdahulu.

Basic data: 1. *Google scholar*

2. *Repository UMSU*

2. Cara kerja

Adapun langkah pengerjaan studi ini adalah sebagai berikut:

- Jurnal atau artikel disaring berdasarkan judul, abstrak, dan kata kunci dari kriteria yang telah ditetapkan.
- Hasil penelitian yang akan diproses, artikel dengan kriteria inklusi.
- Judul artikel disaring kembali dengan melihat keseluruhan isi teks.
- artikel atau jurnal yang sesuai dengan penelitian.
- Melakukan analisis data yang didapat.

3.6 Pengolahan Data

Setelah artikel, jurnal, dan tugas akhir telah terkumpul dengan lengkap maka data-data tersebut dilakukan analisis dan interpretasi untuk menemukan permasalahan yang terkait.

BAB 4
ANALISA DATA

4.1 Kebutuhan Gardu Tol Berdasarkan Keperluan Jalan Tol

4.1.1 Tahapan perencanaan Gerbang Tol

a. Analisis volume kendaraan

Tabel 4.1: Proyeksi lalu lintas 10% pada gerbang tol semayang

Tahun	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	Total
2023	5422	435	337	50	65	6309
2027	7938	637	493	73	95	9236
2031	11622	932	722	107	139	13522

Data pertumbuhan lalu lintas 10% per waktu rencana 5 dan 10 tahun.

Tabel 4.2: volume lalu lintas 2 arah

Tahun	Volume Lalu Lintas 2 Arah kendaraan/hari					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
2023	2711	217	168	25	32	3153
2027	3969	318	246	36	47	4616
2031	5811	466	361	53	69	6760

Data yang telah diproyeksi dibagi 2 untuk mendapatkan volume lalu lintas 2 arah.

Data yang diperoleh diproyeksi kan sebesar 10% dengan rentang waktu 5 tahun.

$$V_R = V \times (1 + 10\%)^n$$

V_R = volumen rencana pada tahun tertentu (kend/hari)

V = volume diketahui

n = selisih tahun

Perhitungan : tahun rencana 2027

Golongan I

$$\begin{aligned} V_R 2027 &= V_R 2023 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 3139 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 7938,35 = 7938 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Arah} &= 7938/2 \\ &= 3969 \text{ kendaraan/hari/arah} \end{aligned}$$

Golongan II

$$\begin{aligned} V_R 2027 &= V_R 2023 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 435 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 636,88 = 637 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Arah} &= 637/2 \\ &= 318 \text{ kendaraan/hari/arah} \end{aligned}$$

Golongan III

$$\begin{aligned} V_R 2027 &= V_R 2023 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 337 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 493,40 = 493 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Arah} &= 493/2 \\ &= 246 \text{ kendaraan/hari/arah} \end{aligned}$$

Golongan IV

$$\begin{aligned} V_R 2027 &= V_R 2023 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 50 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 73,20 = 73 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Arah} &= 73/2 \\ &= 36 \text{ kendaraan/hari/arah} \end{aligned}$$

Golongan V

$$\begin{aligned} V_R 2027 &= V_R 2023 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 65 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 95,16 = 95 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Arah} &= 95/2 \\ &= 47 \text{ kendaraan/hari/arah} \end{aligned}$$

Tahun rencana 2031

Golongan I

$$\begin{aligned}V_R 2031 &= V_R 2027 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 7938 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 11622,22 = 11622 \text{ kendaraan/hari} \\ 2 \text{ Arah} &= 11622/2 \\ &= 5811 \text{ kendaraan/hari/arah}\end{aligned}$$

Golongan II

$$\begin{aligned}V_R 2031 &= V_R 2027 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 637 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 932,63 = 932 \text{ kendaraan/hari} \\ 2 \text{ Arah} &= 932/2 \\ &= 466 \text{ kendaraan/hari/arah}\end{aligned}$$

Golongan III

$$\begin{aligned}V_R 2031 &= V_R 2027 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 493 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 721,80 = 722 \text{ kendaraan/hari} \\ 2 \text{ Arah} &= 722/2 \\ &= 361 \text{ kendaraan/hari/arah}\end{aligned}$$

Golongan IV

$$\begin{aligned}V_R 2031 &= V_R 2027 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 73 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 106,87 = 107 \text{ kendaraan/hari} \\ 2 \text{ Arah} &= 107/2 \\ &= 53 \text{ kendaraan/hari/arah}\end{aligned}$$

Golongan V

$$\begin{aligned}V_R 2031 &= V_R 2027 \times (1 + 0,10)^4 \\ &= 95 \times (1 + 0,10)^4\end{aligned}$$

$$= 139,08 = 139 \text{ kendaraan/hari}$$

$$2 \text{ Arah} = 139/2$$

$$= 69 \text{ kendaraan/hari/arah}$$

b. Analisis tingkat kedatangan.

$$q_{jp} = k \times \text{LHRT}$$

Tahun 2023

Golongan I

$$q_{jp} = 2771 \times 0,11 = 298,21 = 298 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan II

$$q_{jp} = 217 \times 0,11 = 23,87 = 24 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan III

$$q_{jp} = 168 \times 0,11 = 18,48 = 18 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan IV

$$q_{jp} = 25 \times 0,11 = 2,75 = 3 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan V

$$q_{jp} = 32 \times 0,11 = 3,52 = 3 \text{ kendaraan/jam}$$

Tahun rencana 2027

Golongan I

$$q_{jp} = 3969 \times 0,11 = 436,59 = 436 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan II

$$q_{jp} = 318 \times 0,11 = 34,98 = 35 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan III

$$q_{jp} = 246 \times 0,11 = 27,06 = 27 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan IV

$$q_{jp} = 36 \times 0,11 = 3,96 = 4 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan V

$$q_{jp} = 47 \times 0,11 = 5,17 = 5 \text{ kendaraan/jam}$$

Tahun rencana 2031

Golongan I

$$q_{jp} = 5811 \times 0,11 = 639,21 = 639 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan II

$$qjp = 466 \times 0,11 = 51,26 = 51 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan III

$$qjp = 361 \times 0,11 = 39,71 = 40 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan IV

$$qjp = 53 \times 0,11 = 5,83 = 6 \text{ kendaraan/jam}$$

Golongan V

$$qjp = 69 \times 0,11 = 7,59 = 7 \text{ kendaraan/jam}$$

Tabel 4.3: Tingkat kedatangan dengan faktor $k = 0,11$

Tahun	Tingkat Kedatangan kendaraan/jam				
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V
2023	298	24	18	3	3
2027	436	35	27	4	5
2031	639	51	40	6	7

c. Analisis waktu pelayanan.

Setiap golongan kendaraan memiliki waktu rata-rata pelayanan yang berbeda.

$$\text{GTO OBU golongan I} = 1 \text{ detik.}$$

$$\text{GTO biasa golongan I} = 4,05 \text{ detik.}$$

$$\text{GTO golongan II} = 6,12 \text{ detik.}$$

$$\text{GTO golongan III, IV, V} = 8,75 \text{ detik.}$$

Perhitungan tingkat pelayanan dalam 1 jam (3600 detik)

$$\text{GTO OBU golongan I} = 1 \text{ detik} \rightarrow 3600/1 = 3600 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\text{GTO biasa Golongan I} = 4,05 \text{ detik} \rightarrow 3600/4,05 = 800 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\text{GTO golongan II} = 6,12 \text{ detik} \rightarrow 3600/6,12 = 588 \text{ kendaraan/jam}$$

$$\text{GTO golongan III, IV, V} = 8,75 \text{ detik} \rightarrow 3600/8,75 = 411 \text{ kendaraan/jam}$$

Perhitungan tingkat kedatangan dengan perencanaan tingkat pelayanan dengan proporsi 25% kendaraan golongan I menggunakan OBU dan 50% menggunakan GTO biasa.

Tahun 2023

Golongan I GTO OBU = $25\% \times 298 = 74$ kendaraan/jam

Golongan II = 24 kendaraan/jam

Golongan III = 18 kendaraan/jam

Golongan IV = 3 kendaraan/jam

Golongan V = 3 kendaraan /jam

4.1.2 Perhitungan Kapasitas Pelayanan Pintu tol

Tabel 4.4: Tingkat kedatangan kendaraan/jam

Tahun	Tingkat Kedatangan kendaraan/jam					Total
	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	
2023	298	24	18	3	3	346
2027	436	35	27	4	5	507
2031	639	51	40	6	7	743

Waktu pelayanan pintu masuk tol tahun 2023 golongan I

$\lambda = 298$ kendaraan/jam

$N = 2$

$r = \frac{298}{2} = 149$ kendaraan/jam

jadi waktu pelayanan yang dibutuhkan

$WP = \frac{3600}{149} = 24$ detik/kendaraan

Waktu pelayanan pintu tol tahun 2027

$\lambda = 436$ kendaraan/jam

$N = 2$

$r = \frac{436}{2} = 218$ kendaraan/jam

jadi waktu pelayanan yang dibutuhkan

$WP = \frac{3600}{218} = 16$ detik/kendaraan

Waktu pelayanan pintu tol tahun 2031

$\lambda = 639$ kendaraan/jam

$$N = 2$$

$$r = \frac{639}{2} = 319 \text{ kendaraan/jam}$$

jadi waktu pelayanan yang dibutuhkan

$$WP = \frac{3600}{319} = 11 \text{ detik/kendaraan}$$

Berdasarkan tingkat kedatangan diperoleh kondisi ideal dilapangan 11 detik pada tahun 2031 dan waktu pelayanan maksimal 6 detik.

4.2 Perhitungan Jumlah Pintu Tol

Dengan data yang didapatkan dan telah diproyeksi untuk 5 dan 10 tahun kedepan dalam mengendalikan arus pergerakan yang besar dan waktu pelayanan sangat singkat, diperhitungkan jumlah gardu yang akan dibutuhkan agar tercapai optimalisasi kinerja pada suatu gerbang tol. Perhitungan dilakukan hanya pada golongan I, dimana merupakan jumlah pengguna dominan jalan tol.

Tahun 2023:

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

$$\lambda = 298 \text{ kendaraan/jam ; WP} = 4 \text{ detik}$$

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{298/2}{900} = 0,16 < 1 \end{aligned}$$

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
 $\lambda = 298 \text{ kendaran/jam ; WP} = 5 \text{ detik}$

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{298/2}{720} = 0,20 < 1\end{aligned}$$

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 $\lambda = 298$ kendaraan/ jam ; WP = 6 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{298/2}{600} = 0,24 < 1\end{aligned}$$

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 $\lambda = 298$ kendaraan/ jam ; WP = 7 detik

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

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{298/2}{514} = 0,28 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 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 $\lambda = 298$ kendaraan/ jam ; WP = 8 detik

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

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{298/2}{450} = 0,33 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 2 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 8 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

Tahun rencana 2027:

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

$$\lambda = 436 \text{ kendaraan/jam ; WP} = 4 \text{ detik}$$

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

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{436/2}{900} = 0,24 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 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 $\lambda = 436$ kendaraan/jam ; WP = 5 detik

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{436/2}{720} = 0,30 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 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 $\lambda = 436$ kendaraan/ jam ; WP = 6 detik

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{436/2}{600} = 0,36 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 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 $\lambda = 436$ kendaraan/ jam ; WP = 7 detik

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

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{436/2}{514} = 0,42 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 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 $\lambda = 436$ kendaraan/ jam ; WP = 8 detik

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

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{436/2}{450} = 0,48 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 2 gardu tol.
- b. Dengan waktu pelayanan (WP) 8 detik/ kendaraan, jumlah gardu tol dibutuhkan adalah 2 gardu tol.

Tahun rencana 2031:

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

$$\lambda = 639 \text{ kendaraan/jam ; WP} = 4 \text{ detik}$$

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{639/2}{900} = 0,35 < 1 \end{aligned}$$

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

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

$$\lambda = 639 \text{ kendaran/jam ; WP} = 5 \text{ detik}$$

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

$$N = 2$$

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

$$= \frac{639/2}{720} = 0,44 < 1$$

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

- a. Jumlah gardu tol (N) yang dibutuhkan adalah N = 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 $\lambda = 639$ kendaraan/ jam ; WP = 6 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{639/2}{600} = 0,53 < 1 \end{aligned}$$

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 $\lambda = 639$ kendaraan/ jam ; WP = 7 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{639/2}{514} = 0,62 < 1 \end{aligned}$$

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 $\lambda = 639$ kendaraan/ jam ; WP = 8 detik

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

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \\ &= \frac{639/2}{450} = 0,71 < 1\end{aligned}$$

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.

Dengan demikian waktu pelayanan 4, 5, 6, 7, dan 8 detik pada gerbang tol semayang dengan waktu rencana 5 dan 10 tahun belum mencapai angka < 1 , ini berarti penggunaan 2 gardu masih dikatakan aman dengan pertumbuhan arus kendaraan 10%.

4.3 Perhitungan Antrian pada Pintu Tol (Antrian FIFO)

Tahun 2023

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

Diketahui : $\mu = 900$

$$\lambda = 298$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{298}{2}}{900 - \left(\frac{298}{2}\right)} \\ &= 0,198 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(298/2)^2}{900(900 - (298/2))} \\ &= 0,032 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{900 - \left(\frac{298}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 4,79 \approx 5 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{298}{2}\right)}{900\left(900 - \left(\frac{298}{2}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 0,79 = 1 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 720$

$\lambda = 298$

$N = 2$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{298}{2}}{720 - \left(\frac{298}{2}\right)} \\ &= 0,260 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(298/2)^2}{720(720 - (346/2))} \\ &= 0,054 = 1 \text{ kendaraan} \\ \bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{720 - \left(\frac{298}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 6,30 \approx 6 \text{ detik} \\ \bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{298/2}{720(720 - \left(\frac{298}{2}\right))} \times 3600 \\ &= 1,30 \approx 2 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 600$
 $\lambda = 298$
 $N = 2$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{298}{2}}{600 - \left(\frac{298}{2}\right)} \\ &= 0,330 = 1 \text{ kendaraan} \\ \bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(298/2)^2}{600(600 - (298/2))} \\ &= 0,082 = 1 \text{ kendaraan} \\ \bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{600 - \left(\frac{298}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 7,98 \approx 8 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{\left(\frac{298}{2}\right)}{600\left(600 - \left(\frac{298}{2}\right)\right)} \times 3600 \\
&= 1,98 \approx 2 \text{ detik}
\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 514$
 $\lambda = 298$
 $N = 2$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\
&= \frac{\frac{298}{2}}{514 - \left(\frac{298}{2}\right)} \\
&= 0,40 = 1 \text{ kendaraan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(298/2)^2}{514(514 - (298/2))} \\
&= 0,118 = 1 \text{ kendaraan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{514 - \left(\frac{298}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 9,86 \approx 10 \text{ detik}
\end{aligned}$$

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

$$= \frac{\left(\frac{298}{2}\right)}{514\left(514-\left(\frac{298}{2}\right)\right)} \times 3600$$

$$= 2,85 \approx 3 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 450$

$\lambda = 298$

$N = 2$

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

$$= \frac{\frac{298}{2}}{450 - \left(\frac{298}{2}\right)}$$

$$= 0,49 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(298/2)^2}{450(450 - (298/2))}$$

$$= 0,163 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{450 - \left(\frac{298}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 11,96 \approx 12 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{(298/2)}{450(450 - (298/2))} \times 3600$$

$$= 3,96 = 5 \text{ detik}$$

Tahun rencana 2027

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

Diketahui : $\mu = 900$

$$\lambda = 436$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{436}{2}}{900 - \left(\frac{436}{2}\right)} \\ &= 0,319 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(436/2)^2}{900(900 - (436/2))} \\ &= 0,077 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{900 - \left(\frac{436}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 5,27 \approx 5 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{436}{2}\right)}{900\left(900 - \left(\frac{436}{2}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 1,27 = 1 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 720$

$$\lambda = 436$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{436}{2}}{720 - \left(\frac{436}{2}\right)}\end{aligned}$$

$$= 0,434 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(436/2)^2}{720(720 - (436/2))}$$

$$= 0,131 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{720 - \left(\frac{436}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 7,17 \approx 7 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{436/2}{720(720 - \left(\frac{436}{2}\right))} \times 3600$$

$$= 2,17 \approx 2 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 600$

$$\lambda = 436$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{436}{2}}{600 - \left(\frac{436}{2}\right)}$$

$$= 0,57 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(436/2)^2}{600(600 - (436/2))}$$

$$= 0,207 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{600 - \left(\frac{436}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 9,42 \approx 9 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{\left(\frac{436}{2}\right)}{600\left(600 - \left(\frac{436}{2}\right)\right)} \times 3600 \\
&= 3,42 \approx 3 \text{ detik}
\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 514$

$\lambda = 436$

$N = 2$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\
&= \frac{\frac{436}{2}}{514 - \left(\frac{436}{2}\right)} \\
&= 0,73 = 1 \text{ kendaraan} \\
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(436/2)^2}{514(514 - (436/2))} \\
&= 0,312 = 1 \text{ kendaraan} \\
\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{514 - (436)} \times 3600 \\
&= 12,16 \approx 12 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600
\end{aligned}$$

$$= \frac{\left(\frac{436}{2}\right)}{514\left(514 - \left(\frac{436}{2}\right)\right)} \times 3600$$

$$5,15 \approx 5 \text{ detik}$$

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

Diketahui : $\mu = 450$

$$\lambda = 436$$

$$N = 2$$

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

$$= \frac{\frac{436}{2}}{450 - \left(\frac{436}{2}\right)}$$

$$= 0,939 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{(436/2)^2}{450(450 - (436/2))}$$

$$= 0,455 = 1 \text{ kendaraan}$$

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

$$= \frac{1}{450 - \left(\frac{436}{2}\right)} \times 3600$$

$$= 15,51 \approx 15 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{(436/2)}{450(450 - (436/2))} \times 3600$$

$$= 7,51 = 7 \text{ detik}$$

Tahun rencana 2031

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

Diketahui : $\mu = 900$

$$\lambda = 639$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{639}{2}}{900 - \left(\frac{639}{2}\right)} \\ &= 0,550 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(639/2)^2}{900(900 - (639/2))} \\ &= 0,195 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{900 - \left(\frac{639}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 6,20 \approx 6 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{\left(\frac{639}{2}\right)}{900 \left(900 - \left(\frac{639}{2}\right)\right)} \times 3600 \\ &= 2,20 = 2 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 720$

$$\lambda = 639$$

$$N = 2$$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{639}{2}}{720 - \left(\frac{639}{2}\right)} \\ &= 0,797 = 1 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(639/2)^2}{720(720 - (639/2))} \\ &= 0,354 = 1 \text{ kendaraan} \\ \bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{720 - \left(\frac{639}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 8,98 \approx 9 \text{ detik} \\ \bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{639/2}{720(720 - \left(\frac{639}{2}\right))} \times 3600 \\ &= 3,98 \approx 4 \text{ detik}\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 600$
 $\lambda = 639$
 $N = 2$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{639}{2}}{600 - \left(\frac{639}{2}\right)} \\ &= 1,139 = 1 \text{ kendaraan} \\ \bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(639/2)^2}{600(600 - (639/2))} \\ &= 0,606 = 1 \text{ kendaraan} \\ \bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{600 - \left(\frac{639}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 12,83 \approx 13 \text{ detik} \\
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{\left(\frac{639}{2}\right)}{600\left(600 - \left(\frac{639}{2}\right)\right)} \times 3600 \\
&= 6,83 \approx 7 \text{ detik}
\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 514$
 $\lambda = 639$
 $N = 2$

$$\begin{aligned}
\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\
&= \frac{\frac{639}{2}}{514 - \left(\frac{639}{2}\right)} \\
&= 1,642 = 2 \text{ kendaraan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\
&= \frac{(639/2)^2}{514(514 - (639/2))} \\
&= 1,021 = 1 \text{ kendaraan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\
&= \frac{1}{514 - \left(\frac{639}{2}\right)} \times 3600 \\
&= 18,50 \approx 18 \text{ detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\
&= \frac{\left(\frac{639}{2}\right)}{514\left(514 - \left(\frac{639}{2}\right)\right)} \times 3600 \\
&= 11,50 \approx 18 \text{ detik}
\end{aligned}$$

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

Diketahui : $\mu = 450$

$\lambda = 639$

$N = 2$

$$\begin{aligned}\bar{n} &= \frac{\lambda/N}{\mu - (\lambda/N)} \\ &= \frac{\frac{639}{2}}{450 - \left(\frac{639}{2}\right)} \\ &= 2,448 = 2 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{q} &= \frac{(\lambda/N)^2}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \\ &= \frac{(639/2)^2}{450(450 - (639/2))} \\ &= 1,723 = 2 \text{ kendaraan}\end{aligned}$$

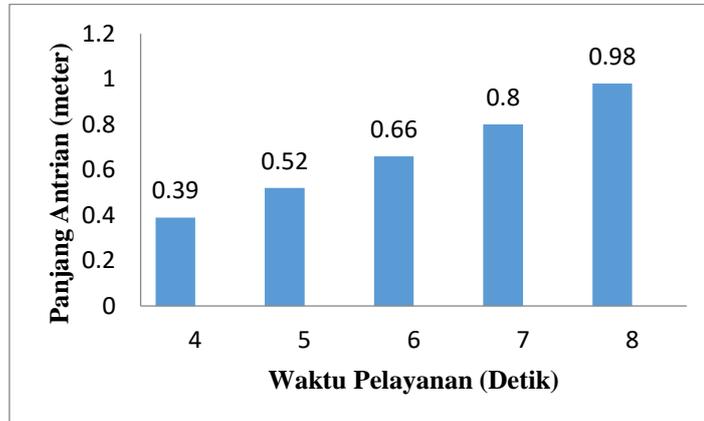
$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{\mu - (\lambda/N)} \times 3600 \\ &= \frac{1}{450 - \left(\frac{639}{2}\right)} \times 3600 \\ &= 27,58 \approx 28 \text{ detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{w} &= \frac{(\lambda/N)}{\mu(\mu - (\lambda/N))} \times 3600 \\ &= \frac{(639/2)}{450(450 - (639/2))} \times 3600 \\ &= 19,58 = 20 \text{ detik}\end{aligned}$$

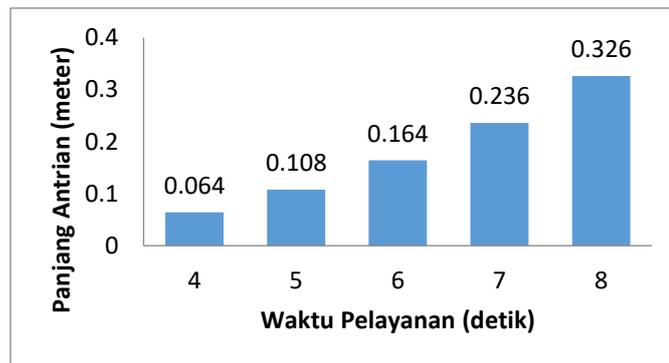
Tabel 4.5: Rekapitulasi tahun 2023

Jumlah pintu tol N	Kend /jam μ	Kendaraan \bar{n}	Dalam meter $\bar{n}. 2$	Kendaraan \bar{q}	Dalam meter $\bar{q}. 2$	Detik \bar{d}	Detik \bar{w}
2	900	0,198	0,39	0,032	0,064	4,79	0,79
2	720	0,260	0,52	0,054	0,108	6,30	1,30
2	600	0,330	0,66	0,082	0,164	7,98	1,98
2	514	0,400	0,8	0,118	0,236	9,86	2,85
2	450	0,490	0,98,	0,163	0,326	11,96	3,96

Gambar 4.1 dan gambar 4.2 (Tahun 2023) Memperlihatkan bahwa waktu pelayanan gardu tol semayang pada tahun 2023 memiliki waktu pelayanan yang sangat baik karna jumlah antrian yang ditimbulkan tidak menyebabkan penumpukan pada gardu tol.

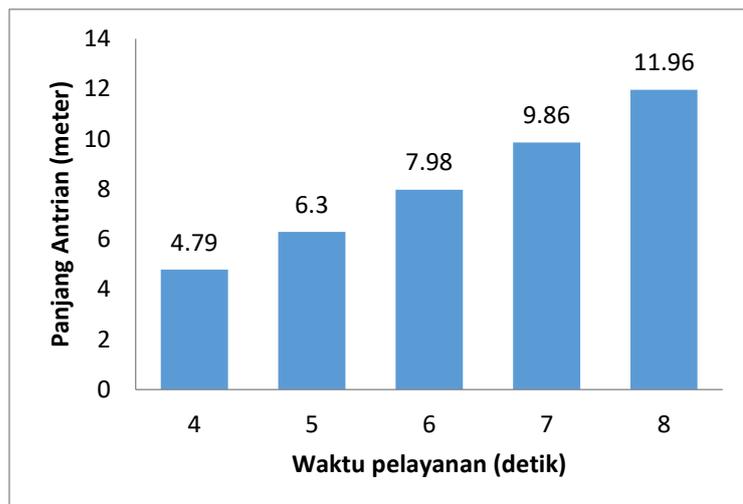


Gambar 4.1: Grafik hubungan waktu pelayanan dengan \bar{n} (panjang antrian) tahun 2023

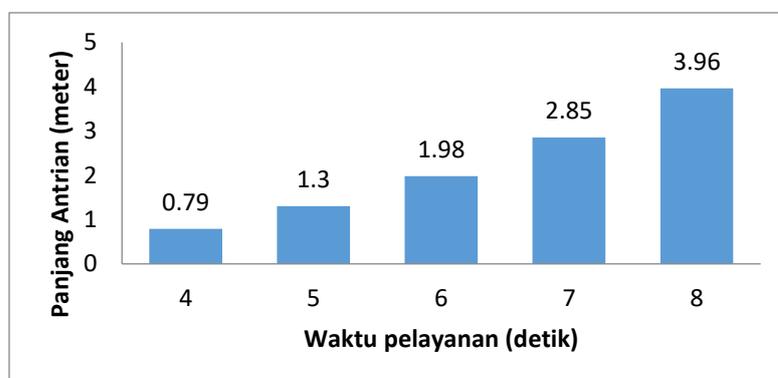


Gambar 4.2: Grafik hubungan Waktu pelayanan dengan \bar{q} (panjang antrian) Tahun 2023

Gambar 4.3 dan gambar 4.4 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 \bar{d} (waktu tunggu)

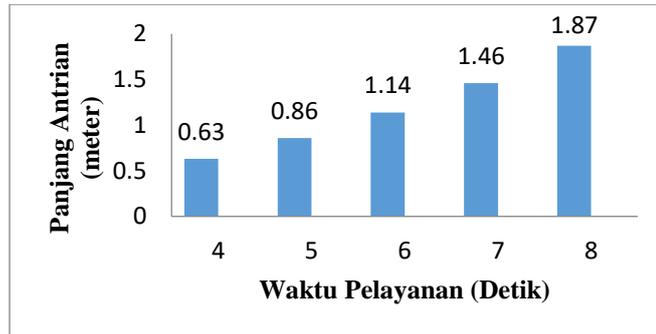


Gambar 4.4 Grafik hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{w} (waktu antrian)

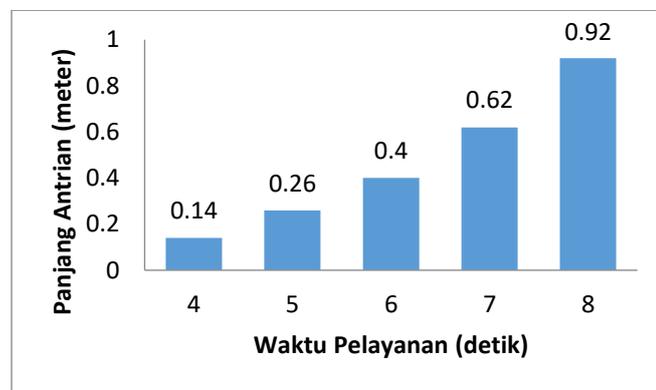
Tabel 4.6: Rekapitulasi Tahun Rencana 2027

Jumlah pintu tol N	Kend /jam μ	Kendaraan \bar{n}	Dalam meter $\bar{n}.2$	Kendaraan \bar{q}	Dalam meter $\bar{q}.2$	Detik \bar{d}	Detik \bar{w}
2	900	0,319	0,63	0,07	0,14	5,27	1,27
2	720	0,434	0,86	0,13	0,26	7,17	2,17
2	600	0,570	1,14	0,20	0,40	9,42	3,42
2	514	0,730	1,46	0,31	0,62	12,16	5,15
2	450	0,939	1,87	0,45	0,90	15,51	7,51

Gambar 4.5 dan gambar 4.6 (Tahun 2027) memperlihatkan bahwa waktu pelayanan gardu tol semayang pada tahun 2027 memiliki waktu pelayanan yang sangat baik karna jumlah antrian yang ditimbulkan tidak menyebabkan penumpukan pada gardu tol.

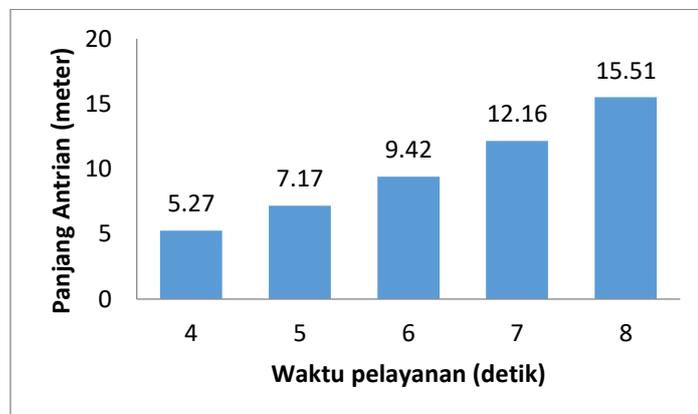


Gambar 4.5: Grafik hubungan waktu pelayanan dengan \bar{n} (panjang antrian) tahun 2027

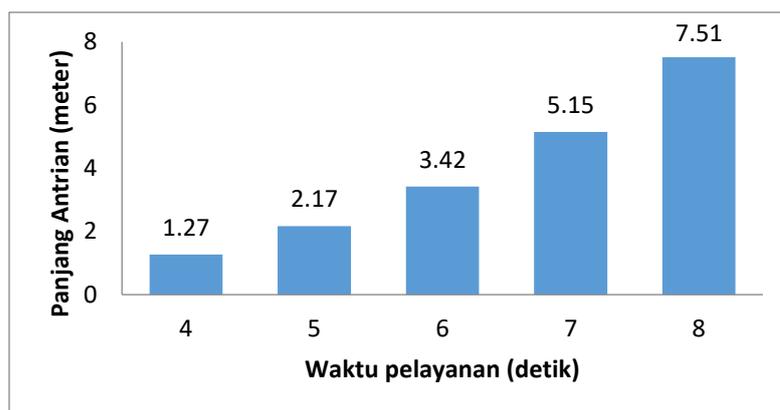


Gambar 4.6: Grafik hubungan Waktu pelayanan dengan \bar{q} (panjang antrian) Tahun 2027

Gambar 4.7 dan gambar 4.8 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)

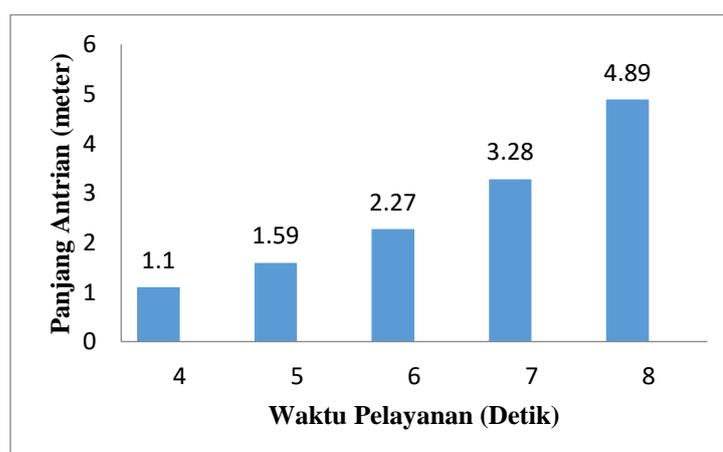


Gambar 4.8: Grafik hubungan Waktu Pelayanan dengan \bar{w} (waktu antrian)

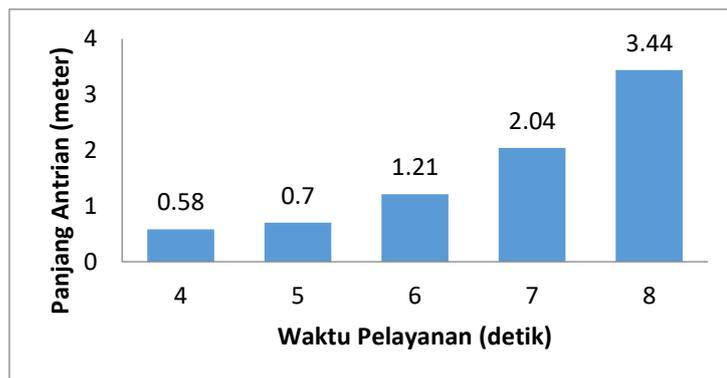
Tabel 4.7: Rekapitulasi Tahun rencana 2031

Jumlah pintu tol N	Kend /jam μ	Kendaraan \bar{n}	Dalam meter $\bar{n}.2$	Kendaraan \bar{q}	Dalam meter $\bar{q}.2$	Detik \bar{d}	Detik \bar{w}
2	900	0,550	1,1	0,195	0,58	6,20	2,20
2	720	0,797	1,59	0,354	0,70	8,98	3,98
2	600	1,139	2,27	0,606	1,21	12,83	6,83
2	514	1,642	3,28	1,021	2,04	18,50	11,50
2	450	2,448	4,89	1,723	3,44	27,58	19,58

Grafik 4.9 dan grafik 4.10 (Tahun 2031) memperlihatkan bahwa waktu pelayanan gardu tol semayang pada tahun 2031 memiliki waktu pelayanan yang sangat baik karna jumlah antrian yang ditimbulkan tidak menyebabkan penumpukan pada gardu tol.

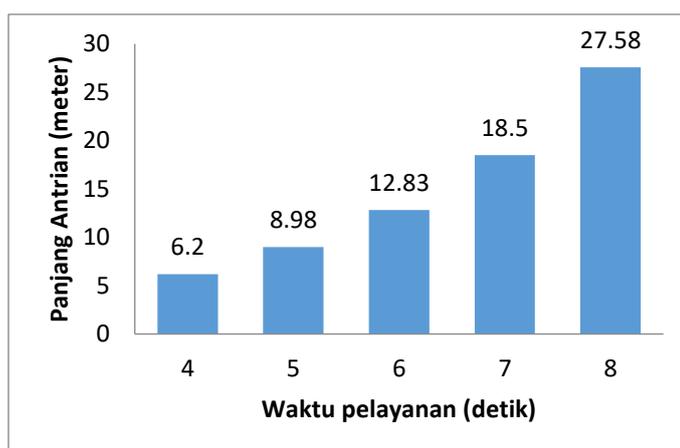


Gambar 4.9: Grafik hubungan waktu pelayanan dengan \bar{n} (panjang antrian) tahun 2031

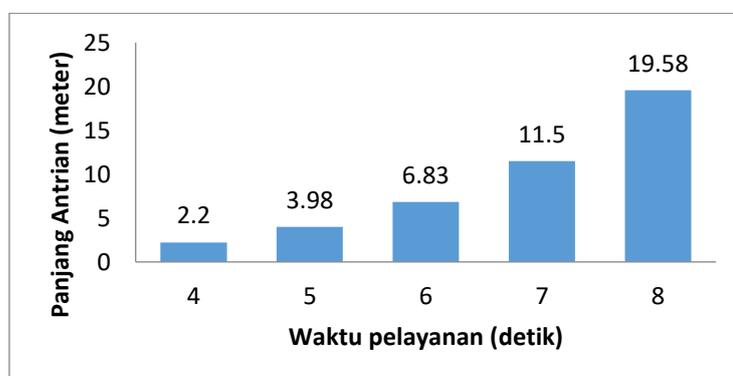


Gambar 4.10: Grafik hubungan Waktu pelayanan dengan \bar{q} (panjang antrian) Tahun 2031

Gambar 4.11 dan gambar 4.12 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 4.11: Grafik hubungan Waktu Pelayanan \bar{d} (waktu tunggu)



Gambar 4.12: 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 data perencanaan terhadap peningkatan volume kendaraan 5 dan 10 tahun diketahui peningkatan jumlah kendaraan pada gerbang tol semayang sebagai berikut:
 - Tahun 2023 jumlah kendaraan golongan I sebesar 2.711 kendaraan/hari, dengan jumlah rincian tingkat kedatangan 298 kendaraan/jam diperoleh kondisi ideal waktu pelayanan pada gerbang tol sebesar 3 detik/kendaraan, masih sesuai dengan SPM jalan tol
 - Tahun 2027 peningkatan jumlah kendaraan golongan I sebesar 3.969 kendaraan/hari, dengan jumlah rincian tingkat kedatangan 436 kendaraan/jam diperoleh kondisi ideal waktu pelayanan pada gerbang tol sebesar 6 detik/kendaraan, masih sesuai dengan SPM jalan tol
 - Tahun 2031 peningkatan jumlah kendaraan golongan I sebesar 5.811 kendaraan/hari, dengan jumlah rincian 639 kendaraan/jam diperoleh kondisi ideal waktu pelayanan pada gerbang tol sebesar 8 detik/kendaraan, hasil ini menunjukkan waktu pelayanan masih sesuai dengan SPM jalan tol, sehingga penggunaan 2 gardu masih memadai.
2. Berdasarkan hasil perhitungan didapat panjang waktu antrian terhadap peningkatan volume kendaraan (10%) 5 dan 10 tahun pada gerbang tol semayang sebagai berikut :
 - Tahun 2023 dengan waktu pelayanan 6 detik didapat panjang antrian 2 meter atau 1 kendaraan.
 - Tahun 2027 dengan waktu pelayanan 6 detik didapat panjang antrian 4 meter atau 2 kendaraan.
 - Tahun 2031 dengan waktu pelayanan 6 detik didapat panjang antrian 7 meter atau 3 kendaraan.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu pelayanan yang terjadi pada tahun rencana 5 dan 10 tahun kedepan masih memenuhi SPM jalan tol karena jumlah antriannya tidak lebih dari 3 kendaraan. Dalam hal ini tidak perlu dilakukan penambahan gardu.

5.2 Saran

Saran yang dapat saya berikan sebagai bahan evaluasi kinerja pelayanan gerbang tol Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Dalam meningkatkan waktu pelayanan hendaknya kondisi peralatan transaksi pada gardu tol selalu diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan sistem yang parah.
2. Penerapan sistem pembayaran nirsentuh harus sudah mulai diterapkan diseluruh gerbang tol Indonesia sehingga tidak adalagi antrian kendaraan dalam melakukan transaksi untuk masuk tol.
3. Penggunaan sistem transaksi MLFF (*multi line free flow*) merupakan teknologi transaksi yang harus dikembangkan keseluruh gerbang tol Indonesia karena tingkat kelancaran waktu pelayanan yang sangat baik dari sistem tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- A. A. Suryobuwono, M. Ruminda, P. Lestari, R. P. Mahersa, and A. Y. Musyaffa, "Penentuan Sistem Antrian Kendaraan Untuk Menentukan Efektivitas Jumlah Gardu Pada Gerbang Tol PT. Jasa Marga (Persero) Tbk (Studi Kasus Gerbang Tol Cibubur1)," *J. Sist. Transp. Logistik*, vol. 1 (1), no. 2018, pp. 27–31, 2021.
- A. M. Ali, Mukhlis, and A. Septiyan, "Analisis Sistem Antrian untuk Menentukan Jumlah Gardu Keluar yang Optimal pada Gerbang Tol Tanjung Mulia," *Semin. Nas. Tek. Ind. [SNTI2017]*, pp. 13–14, 2017.
- A. putri Git and F. HA, "EFEKTIVITAS ELECTRONIC TOLL (E-TOLL) OLEH PT . JASA MARGA SURABAYA (Studi pada Gerbang Tol Otomatis Surabaya-Gempol)," *Ef. Electron. TOLL OLEH PT. JASA MARGA SURABAYA (Studi pada Gerbang Tol Otomatis Surabaya-Gempo*, vol. 5, no. 2, pp. 1–6, 2017,
- D. Imansyah and F. Rosyad, "ANALISA KAPASITAS DAN WAKTU PELAYANAN PADA GEBANG TOL KERAMASAN PALEMBANG – KAYU AGUNG Abstrak".
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, (2009). *Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol*. Jakarta.
- E. F. A. Sihotang, S. Sugito, and M. A. Mukid, "ANALISIS ANTREAN DAN KINERJA SISTEM PELAYANAN GARDU TOL OTOMATIS GERBANG TOL MUKTIHARJO (Studi Kasus: Gardu Tol Otomatis Gerbang Tol Muktiharjo)," *J. Gaussian*, vol. 8, no. 1, pp. 106–116, 2019, doi: 10.14710/j.gauss.v8i1.26625.
- Geertje Efranty Kandiyoh, Ventje B.Slat, Julius Tenda, Josef A. Sumajouw (2022). *Perspektif Masyarakat dalam Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung*. Politeknik Negeri Manado.
- Ir. Erwin Kusnandar (2011). *ITS Untuk Jalan Bebas Hambatan*. PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN (PUSJATAN)
- K. A. Santoso, "Penggunaan Teknologi Nfc-Rfid Dan Vanets-Dsrc Di Sistem Gerbang Tol Otomatis Untuk Mengurangi Kemacetan Pada Pintu Tol," *Pros.*

- Semin. Nas. Dies Natalis 41 Utp Surakarta*, vol. 1, no. 01, pp. 122–128, 2021, doi: 10.36728/semnasutp.v1i01.19.
- K. PUPR, “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol.” p. 10, 2014.
- Lampung, B. (2015). *Evaluasi Kinerja dan Pelayanan pada Gerbang Tol Serang Timur*.
- M. F. Pradana, D. E. Intari, and F. Kurniawan, “Perencanaan Ulang Kebutuhan Gardu Tol Pada Gerbang Tol Cikande,” *J. Fondasi*, vol. 6, no. 2, 2017, doi: 10.36055/jft.v6i2.2478.
- Matematika, J., Bahar, M. S., Mananohas, M. L., & Montolalu, C. E. J. C. (n.d.). *Model Sistem Antrian dengan Menggunakan Pola Kedatangan dan Pola Pelayanan Pemohon SIM di Satuan Penyelenggaraan Administrasi SIM Resort Kepolisian Manado*.
- Melisa Anggraini, Rahayu Sulistyorini, Ahmad Zakaria (2020). *Optimalisasi Gerbang Tol Kalianda di Provinsi Lampung*. Universitas Lampung.
- Menteri PUPR, “SE Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 21/PRT/M/2019,” *Menteri Pekerj. Umum dan Perumah. Rakyat Republik Indones.*, pp. 95–140, 2019.
- N. Winarsih and J. Kusumaningrum, “Analisis Kapasitas Gerbang Tol Karawang Barat,” *Psikologi, Ekon. Sastra, Arsit. Tek. Sipil*, vol. 5, p. 9, 2013.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 392/PRT/M/2005 (2005). *Standart Pelayanan Minimal Jalan Tol*.
- PERATURAN PRESIDEN (2005). *PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 15 TAHUN 2005 TENTANG JALAN TOL*. PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA
- PERATURAN PRESIDEN (2022). *UNDANG – UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 2 TAHUN 2022*. PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA
- Pradana, M. F., Intari, D. E., Kurniawan, F., Teknik, J., Fakultas , S., Universitas, T., & Ageng, S (2017). *Gerbang Tol Cikande*, 6(2).
- PT Jasamarga (persero) Tb, 2018. *Laporan Harian Gerbang Tol Volume Lalu Lintas dan Pendapatan Tol*. Semarang

- PT, Jasa Marga, (1993), *Melaju Bebas Menuju Cakrawala 15 Tahun Penyelenggaraan Jalan Tol di Indonesia*, Jakarta.
- R. Handika, H. Widyastuti, and C. Buana, "Evaluasi Kinerja dan Pelayanan Gerbang Tol (Studi Kasus: Gerbang Tol Sei Rampah dan Gerbang Tol Tebing Tinggi Ruas Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi)," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. 71–78, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v8i2.48313.
- R. N. Muzaki, E. Harahap, F. Badruzzaman, P. Matematika, F. Matematika, and P. Alam, "Efektivitas Penggunaan E-Toll di Gerbang Tol Pasteur dengan Menggunakan Model Antrian," *Pros. Mat.*, vol. 6, no. 2, pp. 74–81, 2020.
- S. L. Wicaksono, W. Herijanto, and A. G. Kartika, "Perencanaan Gerbang Tol Serang - Panimbang," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.72736.
- S. Panimbang, "REKAYASA Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung," vol. 24, no. April, pp. 22–26, 2020.
- Satrio Luhur Wicaksono, Wahyu Herijanto, Anak Agung Gde Kartika (2021). *Perencanaan Gerbang Tol Serang – Panimbang*. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)
- Selamat, B., & Anif, H. (2017). *Gardu Keluar Yang Optimal Pada Gerbang Tol Tanjung*, 13-14.
- Setiadji, B. H., & Maulidani, J. (1996). *Optimasi Buka-an Gerbang Tol Studi Kasus di Gerbang Tol Pasteur Jalan Tol Pandalarang-Cileunyi*, Tugas Akhir, ITB, Bandung
- W. Wulandari and H. Widyastuti, "Evaluasi Tingkat Pelayanan Gerbang Tol Kapuk pada Ruas Tol Prof Dr. Sedyatmo, Jakarta Utara," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v8i2.48097.
- Wahyudi (2020). *Evaluasi perhitungan kebutuhan pintu Tol pada Gerbang Tol Amplas*. Universitas Medan Area
- Y. E. Delano, H. Widyastuti, and A. A. G. Kartika, "Perencanaan Gerbang Tol Kertosono - Kediri," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.60247.
- Z. Abidin and A. Kartohardjono, "Evaluasi Kinerja Gerbang Tol Studi Kasus di Gardu Tol Jakarta Utara," *Pros. Semnastek*, no. November, pp. 1–2, 2017,

[Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/1823%0Ahttps://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/download/1823/1728>.

Zulhijar (2018). *Analisa Pengaruh Gerbang Tol Medan – Binjai Terhadap Kinerja Ruas Jalan Kapten Sumarsono di Kota Medan*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama : Barita Hamonangan Siregar
Tempat Tanggal Lahir : Pasar Lori, 23 Maret 2001
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Dusun II Pasar Lori, Kec. Na IX-X, Kab. Labuhan
Batu Utara
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Alm. Mahyudin Siregar
Ibu : Supiah Munthe
No. Hp : 082272355703
E-mail : monceksir171@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1907210072
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 114369	2013
2	SMP	SMP S Bhayangkari 3	2016
3	SMA	SMAN 1 Rantau Utara	2019