

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Pengertian, Tujuan dan Manfaat Jalan Tol

Menurut (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia 23 Tahun 2024, 2024) tentang jalan tol, pengertian dari jalan tol adalah jalan bebas hambatan yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar. Pada pasal 1 ayat 5 disebutkan juga tentang Tol adalah sejumlah uang tertentu yang wajib dibayarkan untuk pengguna jalan tol. Tujuan jalan tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat adalah:

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

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

1. Pembangunan jalan tol akan berpengaruh pada perkembangan wilayah dan peningkatan ekonomi
2. Meningkatkan mobilitas dan aksesibilitas orang dan barang
3. Pengguna jalan tol akan mendapatkan keuntungan berupa penghematan biaya operasi kendaraan (BOK) dan waktu dibanding apabila melewati jalan non tol
4. Badan usaha mendapatkan pengembalian investasi melalui pendapatan tol yang tergantung kepastian tarif tol

2.1.2 Persyaratan Jalan Tol

Untuk perencanaan sudah semestinya dibutuhkan persyaratan yang harus dipenuhi dalam pembangunan dan pengelolaan jalan tol di Indonesia.

Menurut (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia 23 Tahun 2024, 2024) Pasal 6 tentang jalan tol, jalan tol memiliki syarat teknik, yaitu:

1. Jalan Tol mempunyai tingkat pelayanan keamanan dan kenyamanan yang lebih tinggi dari pada Jalan Umum non Tol yang ada dan dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi.
2. Jalan Tol sebagaimana dimaksud pada ayat (1) merupakan jalan kelas I dan mempunyai spesifikasi penyediaan prasarana jalan sebagai Jalan Bebas Hambatan.
3. Jalan Tol yang digunakan untuk lalu lintas antar kota didesain berdasarkan kecepatan rencana paling rendah 80 km/jam (delapan puluh kilometer per jam) dan untuk Jalan Tol di wilayah perkotaan didesain dengan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam (enam puluh kilometer per jam).
4. Kecepatan rencana paling rendah Jalan Tol sebagaimana dimaksud pada ayat (3) ditetapkan dengan memperhatikan paling sedikit kondisi topografi, keselamatan lalu lintas, kebutuhan biaya investasi, dan implementasi Pembangunan Jalan Berkelanjutan.
5. Setiap Ruas Jalan Tol harus dilakukan pemagaran sesuai dengan ruang milik jalan dan dilengkapi fasilitas penyeberangan jalan dalam bentuk jembatan atau terowongan.
6. Pada tempat yang dapat membahayakan Pengguna Jalan Tol, Jalan Tol harus diberi bangunan pengaman yang mempunyai kekuatan dan struktur yang dapat menyerap energi benturan kendaraan.
7. Setiap Jalan Tol paling sedikit wajib dilengkapi dengan aturan perintah dan larangan yang dinyatakan dengan rambu lalu lintas, marka jalan, dan alat pemberi isyarat lalu lintas.
8. Ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (7) dilaksanakan berdasarkan ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang lalu lintas dan angkutan jalan.
9. Ketentuan lebih lanjut mengenai persyaratan teknis sebagaimana dimaksud pada ayat (1) sampai dengan ayat (6) diatur dengan Peraturan Menteri.

Menurut (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia 23 Tahun 2024, 2024) tentang jalan tol, pada pasal 7 disertakan jalan tol harus mempunyai spesifikasi:

1. tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya;
2. 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;
3. jarak antar simpang susun paling rendah 5 (lima) kilometer untuk Jalan Tol antar kota dan paling rendah 2 (dua) kilometer untuk Jalan Tol wilayah perkotaan;
4. jumlah lajur untuk jalur utama paling sedikit 2 (dua) lajur per arah;
5. menggunakan pemisah tengah atau median; dan
6. lebar bahu jalan sebelah luar dapat dipergunakan sebagai jalur lalu lintas sementara dalam keadaan darurat.

2.1.3 Jenis Kendaraan pada Jalan Tol

Berdasarkan (Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No.370/KPTS/M/2007, 2007) tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Tol yang sudah beroperasi dengan tujuan untuk mengatur berbagai aspek terkait penetapan tarif, pembatasan lalu lintas, dan penetapan persyaratan teknis. Berdasarkan ketentuan yang berlaku, golongan kendaraan bermotor yang dapat memanfaatkan fasilitas jalan tol adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Golongan Jenis Kendaraan Bermotor Pada Jalan Tol yang Sudah Beroperasi

GOLONGAN	JENIS KENDARAAN
Golongan I	Sedan, Jip, Pick Up/Truk Kecil (3/4), dan Bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima) gandar atau lebih
Golongan VI	Kendaraan bermotor roda 2 (dua)

Sumber: (Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No 370/KPTS/M/2007)

2.1.4 Data Masukan Lalu Lintas

Data masukan lalu lintas adalah informasi yang diperlukan untuk analisis dan perencanaan sistem transportasi (PKJI - Pedoman Kapasitas Jalan Bebas Hambatan, 2014). Berdasarkan waktunya, data lalu lintas dapat diklasifikasikan menjadi data eksisting dan data rencana. Data eksisting adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pada waktu tertentu, digunakan untuk menganalisis kondisi lalu lintas yang ada. Sementara itu, data rencana, yang memproyeksikan volume lalu lintas di masa mendatang, digunakan sebagai acuan dalam perencanaan kapasitas jalan, termasuk penentuan lebar dan jumlah lajur, berupa arus lalu lintas jam perencanaan (q_{JP}) yang ditetapkan dari LHRT (Lalu lintas Harian Rata – rata Tahunan), faktor K, dan faktor jam sibuk (F_{JS}) yang merepresentasikan fluktuasi selama jam sibuk. LHRT didapat dari data lalu lintas selama satu tahun penuh.

Untuk menetapkan q_{JP} , dasarnya adalah hubungan antara arus jam puncak atau arus jam perencanaan (q_{JP}) dengan LHRT seperti pada Persamaan (2.1).

$$q_{JP} = \frac{LHRT \times K}{F_{JS}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan

LHRT adalah volume lalu lintas rata-rata tahunan yang ditetapkan dari survei perhitungan lalu lintas selama 1 (satu) tahun penuh dibagi jumlah hari dalam tahun tersebut, dinyatakan dalam SMP/hari. LHRT dapat juga diperoleh dari data survei terbatas (misal 7 hari x 24 jam) dengan mengikuti tata cara perhitungan LHRT yang berlaku.

K adalah faktor jam desain, ditetapkan dari kajian fluktuasi volume jam sibuk jam-jaman selama 1 (satu) tahun. Nilai K yang dapat digunakan untuk JBH berkisar antara 0,08–0,11; JLK berkisar antara 0,08–0,12 dan JK berkisar antara 0,07–0,12. Nilai lain dapat digunakan jika didasarkan pada kajian yang dapat dipertanggungjawabkan. Misalkan untuk daerah wisata dapat digunakan nilai 0,08 –0,15.

F_{JS} adalah faktor jam sibuk, nilainya berkisar antara 0,80–0,95; nilai yang rendah untuk kondisi arus yang masih lengang dan yang tinggi untuk kondisi arus yang padat.

2.1.5 Kapasitas Gerbang Tol

Kapasitas gerbang tol adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat dilayani oleh gerbang tol dalam suatu periode waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam kendaraan per jam per gardu (Putra, 2017). Kapasitas gerbang tol merujuk pada jumlah maksimum kendaraan pengguna jalan tol yang dapat dilayani per lajur berdasarkan waktu pelayanan tertentu. Ini penting untuk memastikan bahwa arus lalu lintas dapat dikelola dengan efisien dan mengurangi kemacetan di gerbang tol.

Kapasitas gerbang tol ditentukan berdasarkan sistem *Trial and Error* dan hasil survei perjalanan pengguna jalan tol (Damanik, 2019). Data dari penelitian ini digunakan untuk memperkirakan jumlah kendaraan pada tahun – tahun yang akan datang. Tetapi, jika jumlah kendaraan terus bertambah, kapasitas gerbang tol perlu ditingkatkan.

Untuk mengatasi peningkatan jumlah pengguna jalan tol, maka harus mengetahui kapasitas maksimal setiap gerbang tol. Kapasitas ini bisa kita hitung berdasarkan jumlah kendaraan yang lewat. Kapasitas setiap gerbang tol berbeda-beda dan dipengaruhi oleh kecepatan pelayanan. Semakin cepat pelayanannya, semakin banyak kendaraan yang bisa dilayani.

Kapasitas maksimal gerbang tol adalah jumlah kendaraan yang bisa dilayani dalam satu periode waktu. Kapasitas ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, mulai dari kondisi fisik jalan tol hingga faktor eksternal seperti cuaca. Untuk menganalisis kapasitas, kita perlu memperhatikan panjang antrian kendaraan dan waktu yang dibutuhkan untuk melayani setiap kendaraan. Sesuai dengan Standar Pelayanan Minimal (SPM) yang ditetapkan Badan Pengelola Jalan Tol (BPJT) tahun 2015, kapasitas maksimum setiap gardu tol pada sistem terbuka adalah ≤ 450 kendaraan/jam per gardu.

2.1.6 Sistem Pembayaran Jalan Tol

Menurut (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 16/PRT/M/2017, 2017) Pasal 6 tentang Transaksi Tol Non tunai di Jalan Tol, penerapan Transaksi Tol Non-tunai sepenuhnya di seluruh jalan tol per 31 Oktober 2017 dan penerapan transaksi yang sepenuhnya menggunakan teknologi berbasis nirsentuh per 31 Desember 2018. Dengan diberlakukannya sistem transaksi tol non tunai secara penuh, seluruh ruas jalan tol akan menggunakan sistem pembayaran elektronik dan tidak lagi melayani transaksi tunai. Sistem transaksi non tunai di Indonesia. Sistem transaksi non tunai di Indonesia terbagi menjadi 2 yaitu sistem pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO), dan sistem pembayaran On Board Unit (OBU).

2.1.6.1 Sistem Pembayaran Gardu Tol Otomatis (GTO)

Gerbang tol otomatis (GTO) menggunakan sistem pembayaran tertutup berbasis kartu elektronik (*E-Toll Card*). Pengguna cukup menempelkan kartu pada *reader* di mesin GTO untuk melakukan transaksi. Setiap transaksi di GTO mengharuskan pengguna menempelkan kartu yang sama pada saat masuk dan keluar gerbang tol.

2.1.6.2 Sistem Pembayaran On Board Unit (OBU)

Gerbang tol menggunakan Sistem *On Board Unit* (OBU) adalah sistem pembayaran tol non-tunai yang menggunakan perangkat elektronik yang dipasang di dalam kendaraan. Perangkat ini memancarkan sinyal yang akan dibaca oleh mesin di gerbang tol, sehingga palang pintu akan terbuka secara otomatis dan pengguna gerbang tol tidak harus membuka kaca jendela untuk melakukan *tap* kartu elektronik (*e-Toll Card*) untuk bertransaksi.

2.1.7 Pengertian Waktu Pelayanan

Waktu pelayanan secara umum merujuk pada waktu yang dibutuhkan oleh suatu sistem atau fasilitas untuk melayani suatu permintaan atau transaksi (Tamin, 2019). Waktu pelayanan adalah waktu yang dibutuhkan untuk

melayani suatu kendaraan, orang, atau permintaan. Ini dapat diukur dalam satuan waktu seperti menit, detik, atau jam.

Konsep waktu pelayanan bersifat relatif dan bergantung pada jenis layanan yang diberikan. Tujuan utama dari setiap layanan adalah untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dan memberikan kepuasan. Kenaikan pada volume kendaraan yang menggunakan jalan tol mengharuskan adanya peningkatan kapasitas dan efisiensi layanan jalan tol. Waktu pelayanan jalan tol, juga dikenal sebagai *service time*, adalah waktu yang dibutuhkan oleh fasilitas pelayanan jalan tol untuk melayani kendaraan. Ini meliputi proses transaksi, seperti membayar tol, dan dapat diukur dari saat kendaraan masuk ke gerbang tol hingga keluar setelah melakukan transaksi. Indikator keberhasilan layanan jasa jalan tol adalah tercapainya tingkat pelayanan yang memenuhi standar kelancaran, keamanan, dan kenyamanan. Untuk memastikan tercapainya tujuan layanan jalan tol, beberapa indikator kinerja utama telah ditetapkan, di antaranya waktu pelayanan gardu, waktu tempuh, tingkat kelancaran lalu lintas, kualitas fasilitas, tingkat kepuasan pelanggan, dan kondisi permukaan jalan.

2.1.8 Standar Pelayanan Minimal (SPM)

Pada Pelayanan jalan tol memiliki Standar Pelayanan Minimal (SPM) yang merupakan acuan bagi pengelola jalan tol dalam menjalankan tugas dan tanggung jawabnya. Berdasarkan *website* resmi dari BPJT yang dimaksud dengan SPM adalah ukuran yang harus dicapai dalam pelaksanaan penyelenggaraan jalan tol SPM jalan tol mencakup kondisi jalan tol, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, keselamatan serta unit pertolongan/penyelamatan dan bantuan pelayanan. Besaran ukuran yang harus dicapai untuk masing-masing aspek dievaluasi secara berkala berdasarkan hasil pengawasan fungsi dan manfaat.

Pelaksanaan Standar Pelayanan Minimal merupakan suatu keharusan bagi Badan Usaha Jalan Tol dalam rangka memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna jalan. Menurut (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum

No.16/PRT/M/2014, 2014), standar pelayanan minimum jalan tol dapat diukur dari beberapa unsur, 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
8. Tempat Istirahat (TI), dan Tempat Istirahat Pelayanan (TIP)

Pada Pelayanan jalan tol memiliki Standar Pelayanan Minimal (SPM) yang merupakan acuan bagi pengelola jalan tol dalam menjalankan tugas dan tanggung jawabnya. Berdasarkan *website* resmi dari BPJT yang dimaksud dengan SPM adalah ukuran yang harus dicapai dalam pelaksanaan penyelenggaraan jalan tol SPM jalan tol mencakup kondisi jalan tol, kecepatan tempuh rata-rata, aksesibilitas, mobilitas, keselamatan serta unit pertolongan/penyelamatan dan bantuan pelayanan. Besaran ukuran yang harus dicapai untuk masing-masing aspek dievaluasi secara berkala berdasarkan hasil pengawasan fungsi dan manfaat.

Standar produktivitas gardu tol ditetapkan berdasarkan jenis sistem transaksi. Berdasarkan *website* resmi dari BPJT untuk informasi terbaru terkait dengan pelayanan pintu tol untuk gerbang tol otomatis pada sistem terbuka harus melayani tidak lebih dari 450 kendaraan/jam per gardu, sedangkan sistem tertutup harus tidak lebih dari 500 kendaraan/jam per gardu masuk dan 300 kendaraan/jam untuk gardu keluar.

2.1.9 Teori Antrian

Teori antrian (*Queueing*) sangat perlu dipelajari dalam usaha mengenal perilaku pergerakan arus lalu lintas baik manusia maupun kendaraan (Morlok, 1978 dan Hobbs, 1979 dalam (Tamin, 2019)). Hal tersebut karena sangat banyak kejadian yang terjadi di sektor transportasi dan permasalahan lalu

lintas yang terjadi sehari-hari pada sistem jaringan jalan dapat dijelaskan dan dipecahkan dengan bantuan analisis teori antrian, seperti misalnya:

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

Antrian adalah fenomena umum dalam sistem yang melibatkan pelayanan, baik itu manusia maupun kendaraan. Penyebab utama antrian adalah adanya proses pelayanan yang membutuhkan waktu, sehingga mengganggu kelancaran aliran unit yang dilayani (Tamin, 2003 dalam (Damanik, 2019)), seperti misalnya: antrian kendaraan di gerbang tol, hal tersebut terjadi karena pergerakan arus kendaraan yang berada di depan gerbang tol harus menunggu oleh adanya kegiatan penempatan kartu dan pengambilan karcis tol. Kegiatan inilah yang menyebabkan gangguan pada proses pergerakan arus kendaraan sehingga mengakibatkan terjadinya antrian kendaraan dengan suatu kondisi, antrian kendaraan tersebut akan dapat mengakibatkan permasalahan baik buat pengguna (dalam bentuk waktu antrian) maupun buat pengelola (dalam bentuk panjang antrian).

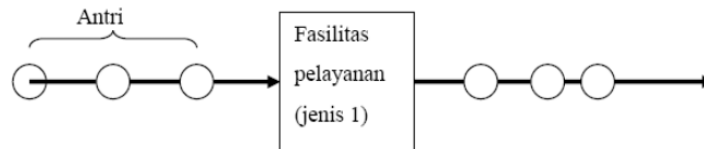
2.1.9.1 Sistem Antrian

Adapun desain sistem antrian dapat dilihat sebagai berikut:

1. Single Channel – Single Phase

Sistem antrian jalur tunggal (*single channel single phase*), di mana dalam sistem antrian tersebut hanya terdapat satu pemberi

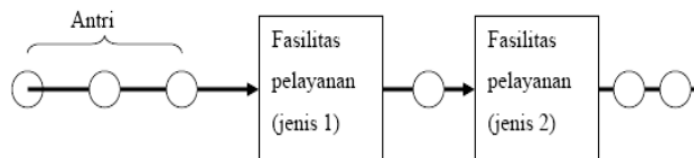
layanan serta satu jenis layanan yang diberikan. Model ini sering digunakan dalam situasi di mana hanya ada satu fasilitas pelayanan, seperti kasir di toko kecil.



Gambar 2. 1 Sistem antrian jalur Tunggal
Sumber: (Sugito, 2013)

2. *Single Channel – Multi Phase*

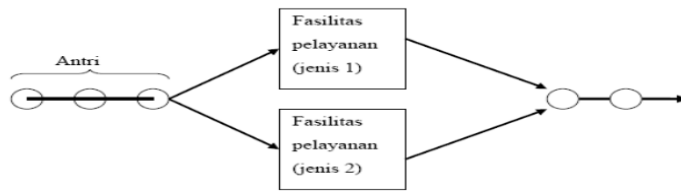
Sistem antrian jalur tunggal tahapan berganda (*single channel multi phase*), di mana dalam sistem antrian tersebut terdapat lebih dari satu jenis layanan yang diberikan, tetapi dalam setiap jenis layanan hanya terdapat satu pemberi layanan, seperti di rumah sakit di mana pasien mungkin harus mendaftar terlebih dahulu sebelum menemui dokter.



Gambar 2. 2 Sistem antrian jalur tunggal tahapan berganda
Sumber: (Sugito, 2013)

3. *Multi Channel – Single Phase*

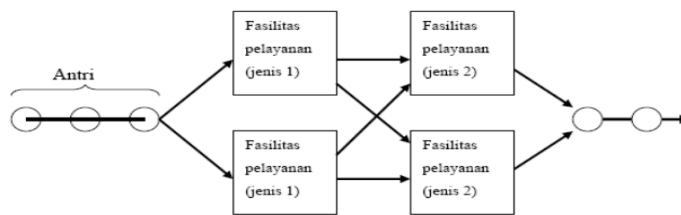
Sistem antrian jalur berganda satu tahap (*multi channel single phase*), di mana dalam sistem antrian terdapat satu jenis layanan dalam sistem antrian tersebut, namun terdapat lebih dari satu pemberi layanan. Sebagai contoh beberapa kasir di supermarket di mana pelanggan dapat memilih saluran mana yang ingin mereka antri.



Gambar 2. 3 Sistem antrian jalur berganda satu tahap
 Sumber: (Sugito, 2013)

4. Multi Channel – Multi Phase

Sistem antrian jalur berganda tahapan berganda (*multi channel, multi Phase*), di mana terdapat lebih dari satu jenis layanan dan terdapat lebih dari satu pemberi layanan dalam setiap jenis layanan. Contoh ini dapat ditemukan di bandara, di mana penumpang harus melalui beberapa tahap pemeriksaan sebelum naik pesawat.



Gambar 2. 4 Sistem antrian jalur berganda tahapan berganda
 Sumber: (Sugito, 2013)

2.1.9.2 Komponen Antrian

Menurut (Tamin, 2003 dalam (Alinda, 2018)), terdapat tiga komponen utama dalam teori antrian yang harus dipahami, yaitu:

1. Tingkat Kedatangan

Tingkat kedatangan yang dinyatakan dengan notasi λ adalah jumlah rata-rata pelanggan (individu atau kendaraan) yang datang ke dalam sistem antrian dalam satuan waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan orang/menit atau kendaraan/jam.

$$\lambda = \frac{\sum x}{N} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

Σx = Total jumlah kendaraan tiap golongan

N = Banyak waktu yang diperlukan (jam)

2. Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan yang dinyatakan dengan notasi μ adalah jumlah rata-rata pelanggan (individu atau kendaraan) yang dapat dilayani oleh satu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan orang/menit atau kendaraan/jam.

Tingkat Pelayanan atau juga dikenal Waktu Pelayanan (WP) dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh satu tempat pelayanan untuk dapat melayani satu kendaraan atau satu orang, biasa dinyatakan dalam satuan menit/kendaraan atau menit/orang, sehingga bisa disimpulkan bahwa:

$$WP = \frac{1}{\mu} \dots \dots \dots (2.3)$$

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

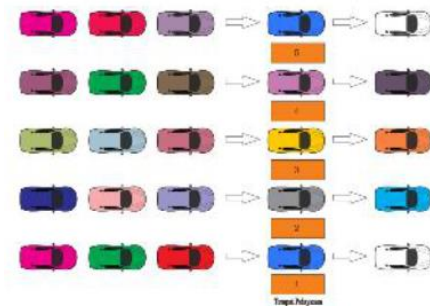
$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \dots \dots \dots (2.4)$$

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

3. Disiplin Antrian

Disiplin antrian adalah aturan yang mengatur bagaimana tata cara kendaraan atau manusia mengantri (Fakhruriza Pradana et al., 2018). Beberapa jenis disiplin antrian yang sering digunakan dalam bidang transportasi atau arus lalu lintas, yaitu:

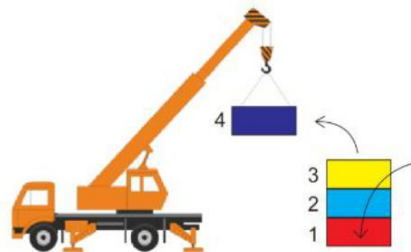
- a. *First In First Out (FIFO) atau First Come First Served (FCFS)*



Gambar 2. 5 Disiplin Antrian FIFO
Sumber: (Tamin,2003)

Gambar diatas menunjukkan ilustrasi bagaimana tata cara disiplin antrian FIFO. Disiplin antrian FIFO sering digunakan dalam bidang transportasi dimana orang dan/atau kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama. Sebagai contoh disiplin FIFO yaitu antrian kendaraan yang terbentuk di depan pintu tol.

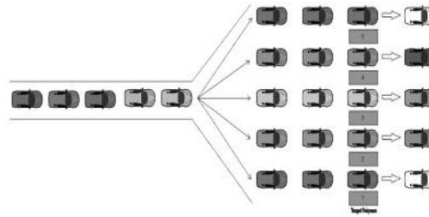
b. *First In Last Out (FILO* atau *First Come Last Served (FCLS)*)



Gambar 2. 6 Disiplin Antrian FILO
Sumber: (Tamin,2003)

Gambar tersebut memperlihatkan ilustrasi bagaimana tata cara disiplin antrian FILO, di mana orang atau kendaraan yang pertama tiba akan dilayani terakhir. Terlihat pada gambar bahwa barang pertama yang masuk gudang pada saat pembongkaran akan keluar terakhir dan barang terakhir yang masuk gudang ketika pemuatan akan keluar pertama saat pembongkaran.

c. *First Vacant First Served (FVFS)*



Gambar 2. 7 Disiplin Antrian FVFS

Sumber: (Tamin,2003)

Dilihat pada gambar diatas, disiplin antrian FVFS ini, orang 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 dari 1 (satu). Disiplin antrian FVFS sering digunakan pada beberapa loket pelayanan bank, loket pembayaran listrik atau telepon, dan banyak contoh lainnya.

Disiplin antrian FVFS memiliki kinerja akan sangat baik jika waktu pelayanan di setiap tempat pelayanan sangat bervariasi (jika standar deviasi waktu pelayanan antar tempat pelayanan relatif besar). Hal ini disebabkan penggunaan disiplin FIFO akan menjadi sangat tidak efektif jika waktu pelayanan sangat bervariasi antar tempat pelayanan, yang akan mengakibatkan panjang antrian yang tidak merata untuk setiap lajur antrian.

2.1.9.3 Parameter Antrian

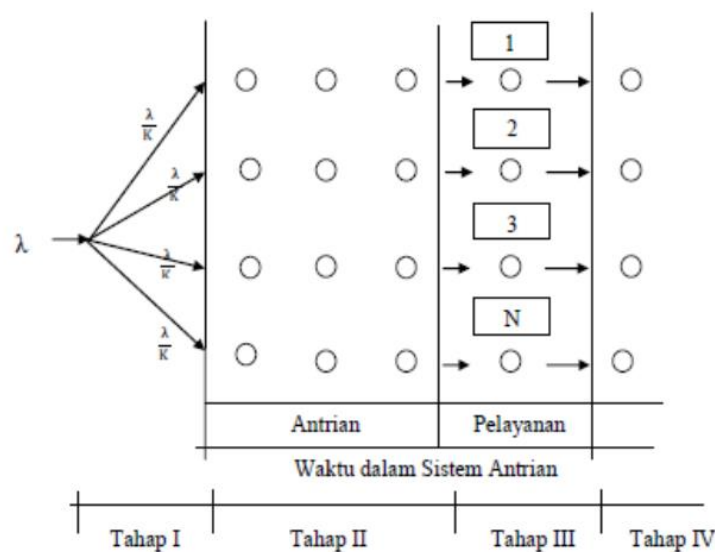
Parameter antrian memiliki 4 (empat) parameter utama yang sering digunakan dalam menganalisis antrian, yaitu: \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} (Tamin,2003). Defenisi dari setiap parameter tersebut adalah:

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

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

2.1.9.4 Proses Antrian

Aspek penting yang perlu dipahami dalam masalah antrian adalah mengenai bagaimana antrian terbentuk, seperti pada gambar berikut. Menurut (Tamin,2003 dalam (Alinda, 2018)), proses terjadinya antrian terdiri dari empat tahapan utama, yaitu:



Gambar 2. 8 Tahapan dalam Sistem Antrian
Sumber: (Tamin,2003)

1. Tahap I

Pada tahap ini, pelanggan (manusia atau kendaraan) mulai tiba dilokasi pelayanan dan bergabung dalam antrian. Banyaknya pengguna jasa yang datang disebut dengan tingkat kedatangan (λ). Jika mempergunakan disiplin antrian FIFO dan terdapat lebih dari satu tempat fasilitas pelayanan (multi lajur) maka dapat diasumsikan bahwa tingkat kedatangan (λ) tersebut akan membagi dirinya secara merata untuk setiap pelayanan sebesar $\frac{\lambda}{K}$ dengan K adalah jumlah fasilitas pelayanan. Dengan demikian dapat diasumsikan akan terbentuk K buah antrian berlajur tunggal dimana setiap antrian berlajur tunggal akan berlaku disiplin antrian FIFO.

2. Tahap II

Setelah bergabung dalam antrian, pada tahap ini pelanggan menunggu sampai giliran mereka untuk dilayani. Waktu tunggu ini merupakan periode yang dihabiskan pelanggan dalam antrian sebelum menerima layanan.

3. Tahap III

Pada tahap ini, pelanggan yang telah menunggu akan dilayani oleh tempat pelayanan. Waktu pelayanan (WP) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pelayanan kepada pelanggan, mulai dari saat pelayanan dimulai hingga selesai.

4. Tahap IV

Tahap setelah menerima pelayanan, pelanggan meninggalkan lokasi pelayanan. Proses ini menandai akhir dari siklus antrian untuk pelanggan tersebut.

2.1.9.5 Disiplin Antrian FIFO

Pada gerbang tol menerapkan teori disiplin antrian *First In First Out (FIFO)* atau *First Come First Served (FCFS)*. Persamaan berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} untuk disiplin FIFO (Tamin, 2013, dalam (Fakhruriza Pradana et al., 2018)).

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{(\mu-\lambda)} = \frac{\rho}{(1-\rho)} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} = \frac{\rho^2}{(1-\rho)} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{(\mu-\lambda)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\bar{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots (2.8)$$

Di mana :

λ = tingkat kedatangan rata – rata

μ = tingkat pelayanan rata – rata

ρ = intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian

Beberapa asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FIFO adalah:

1. Persamaan (2.5) dan (2.8) tersebut hanya berlaku untuk lajur-tunggal dan dengan nilai $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$. Jika nilai $\rho > 1$.
2. Jika terdapat lebih dari 1 (satu) lajur (katakana N lajur), maka diasumsikan bahwa tingkat kedatangan (λ) akan membagi dirinya secara merata untuk setiap lajur sebesar λ/N dengan N adalah jumlah lajur. Dengan demikian, dapat diasumsikan akan bentuk N buah antrian berlajur tunggal dimana setiap antrian berlajur tunggal akan dapat menggunakan persamaan (2.5) - (2.8).
3. Kendaraan yang sudah antri pada suatu jalur antrian diasumsikan tidak boleh berpindah ke lajur lainnya.
4. Waktu pelayanan antar tempat pelayanan diasumsikan relatif sama (atau dengan kata lain standar deviasi waktu pelayanan antar tempat pelayanan relatif kecil).

2.1.10 Analisa Antrian (Traffic Flow Fundamental)

Dengan menggunakan rumusan dasar dari arus lalu lintas, dapat menghitung panjang antrian berdasarkan arus kedatangan dan waktu tunggu. Dalam melakukan analisa antrian menggunakan rumusan *traffic flow fundamental* (Adolf d. May, 1990) (Damanik, 2019). Dalam menganalisa antrian tersebut menggunakan data kapasitas yang berubah menurut PKJI 2023 (Direktorat Jenderal Bina Marga et al., 2023).

Tabel 2. 2 Kapasitas Dasar JBH

Tipe JBH	Tipe Alinemen	C _o (SMP/jam/lajur)
JBH4/2 dan JBH6/2	Datar	2500
	Bukit	2350
	Gunung	2200

Sumber: PKJI 2023

$$tQ = \frac{tR(\mu - \mu_R)}{\mu - \lambda} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$N_Q = \frac{\lambda \times t_Q}{3600} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$Q_M = \frac{tR(\lambda - \mu_R)}{3600} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Q_Q = \frac{tR(\lambda - \mu_R)}{7200} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

- t_Q = Lama waktu antrian (detik/jam)
- N_Q = Jumlah kendaraan yang mengalami antrian
- Q_M = Panjang antrian maksimum
- Q_Q = Panjang antrian rata-rata saat terjadi antrian
- tR = Waktu pelayanan (detik/kendaraan)
- λ = Volume lalu lintas (kendaraan/jam)
- μ = Kapasitas (kendaraan/jam)
- μ_R = Kapasitas dasar (kendaraan/jam)
- N = Jumlah lajur antrian

2.1.11 Analisa Kebijakan

Untuk meminimumkan nilai \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} , terdapat beberapa kebijakan yang dapat dilakukan, yaitu:

1. Menambah gardu tol

Kebijakan untuk menambah gardu tol merupakan kebijakan yang memerlukan anggaran yang besar. Selain biaya pembelian lahan, konstruksi bangunan, dan pengadaan peralatan, juga diperlukan dana untuk operasional jalan tol tersebut.

2. Mengurangi waktu pelayanan

Kebijakan ini dianggap sebagai pilihan yang terbaik karena hanya memerlukan pemberian insentif kepada karyawan, jadi tidak memerlukan biaya yang besar. Meskipun demikian, kebijakan ini hanya dapat mengurangi waktu tunggu secara signifikan, namun tidak dapat menghilangkannya sepenuhnya.

3. Kebijakan sistem tandem

Kebijakan sistem tandem (Morlok, 1978 dan Hobbs, 1979), adalah usaha untuk meningkatkan kinerja pintu tol, karena dapat menurunkan waktu pelayanan sampai 50%. Sebagai contoh, waktu pelayanan 10 detik hanya dapat melayani 1 (satu) buah kendaraan. Dengan sistem tandem, dalam 10 detik yang sama pintu tol tersebut dapat melayani 2 (dua) buah kendaraan sekaligus. Sehingga dapat dikatakan bahwa waktu pelayanan seakan-akan hanya 5 detik. Akan tetapi, penggunaan sistem tandem hanya akan menguntungkan dengan persyaratan bahwa pelayanan kendaraan tersebut harus relatif sama. Jika tidak sama, maka dampaknya akan jauh lebih merugikan dari sistem antrian biasa (Alinda, 2018).

2.1.12 *Forecasting*

Peramalan (*forecasting*) adalah proses yang digunakan untuk memprediksi kejadian di masa depan berdasarkan data pertumbuhan tahun terakhir. Selanjutnya, hasil perhitungan *forecasting* ini akan dibandingkan dengan kapasitas pelayanan yang ada saat ini. Analisis *forecasting* dilakukan untuk mengetahui kemampuan gerbang melayani kendaraan yang lewat dengan jumlah kendaraan yang meningkat dari tahun-tahun sebelumnya. Perkiraan peningkatan jumlah kendaraan pada gerbang tol diperhitungkan menggunakan data historis jumlah kendaraan sampai lima tahun ke depan. Hasil dari peramalan lalu lintas dianalisis tingkat kedatangan kendaraan, intensitas lalu lintas, dan Analisis antrian FIFO. Regresi yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi linear, dimana kurva garis lurus yang dapat dinyatakan dalam perumusan:

$$y = ax + b \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

y = harga yang diramalkan (*dependent variable*)

x = waktu (*independent variable*)

a, b = konstanta

2.1.13 Faktor Pertumbuhan

Untuk menentukan seberapa besar faktor pertumbuhan kendaraan yang mencerminkan kondisi lalu lintas pada tahun yang direncanakan, perlu dilakukan perhitungan. Dengan demikian, desain yang direncanakan dapat dievaluasi untuk memastikan apakah masih mampu menampung volume kendaraan yang terus meningkat setiap tahunnya.

Bentuk umum dari persamaan perhitungan faktor pertumbuhan lalu lintas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$i = \frac{(y_2 - y_1)}{y_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

- i = kenaikan kendaraan dalam 1 tahun
- y₁ = jumlah kendaraan/tahun pertama
- y₂ = jumlah kendaraan/tahun kedua

2.1.14 Uji Keseragaman Data

Faktor keseragaman data dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$FK = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

- FK = Faktor Keseragaman
- S = Standar Deviasi
- \bar{x} = Nilai rata-rata

Tabel 2.3 Faktor Keseragaman

Faktor Keseragaman	Keterangan
<15%	Sangat Seragam
15-20%	Seragam
20-25%	Baik
25-30%	Cukup
30-40%	Jelek
>40%	Tidak Seragam

2.2 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
1	Michael David Aldamora Damanik	Evaluasi Kinerja Dan Pelayanan Gerbang Tol Belawan-Medan Tanjung Morawa (Studi Kasus Gerbang Tol Amplas dan Gerbang Tol Tanjung Mulia)	Hasil evaluasi gerbang ol diketahui tingkat kedatangan kendaraan pada gerbang tol Ampla arah masuk sebesar 542 kend/jam/gardu; gerbang tol Amplas arah keluar sebesar 313 kend/jam/gardu; gerbang tol Tanjung Mulia arah masuk sebesar 494 kend/jam/gardu; gerbang tol Tanjung Mulia arah keluar sebesar 358 kend/jam/gardu. Jumlah gardu yang dibutuhkan yaitu 5 gardu untuk gerbang tol Amplas arah masuk; 5 gardu untuk gerbang tol Amplas arah keluar; 5 gardu untuk gerbang tol Tanjung Mulia arah masuk; 5 gardu untuk gerbang tol Tanjung Mulia arah keluar. Dari hasil analisa peramalan pada tahun 2024 didapat jumlah gardu yang dibutuhkan untuk masing-masing gerbang yaitu 6 gardu tol untuk gerbang tol Amplas arah masuk ; 6 gardu tol untuk gerbang tol Amplas arah keluar;

No	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
			6 gardu tol untuk gerbang tol Tanjung Mulia arah masuk; 6 gardu tol untuk gerbang tol Tanjung Mulia arah keluar.
2	Karina Prihatina Alinda	Evaluasi Kinerja Pelayanan Gerbang Tol Bali Mandara Akibat Berlakunya E-toll	Dari hasil analisa tingkat kedatangan secara keseluruhan kapasitas gerbang tol Bali Mandara telah memenuhi SPM yaitu ≤ 450 kendaraan/jam per gardu. Berdasarkan hasil analisa intensitas lalu lintas sesudah berlakunya e-toll kinerja seluruh gerbang tol masih mencukupi dalam melayani volume yang terjadi. Berdasarkan analisa <i>forecasting</i> , seluruh gardu tol di semua gerbang tol yang tersedia masih mencukupi dengan syarat waktu pelayanan gardu tol mobil pada Gerbang Tol Nusa Dua < 6 detik/kendaraan sedangkan untuk sepeda motor < 7 detik/kendaraan, waktu pelayanan gardu tol mobil pada Gerbang Tol Benoa < 5 detik/kendaraan sedangkan untuk sepeda motor < 9 detik/kendaraan, waktu pelayanan gardu tol sepeda motor sedangkan Untuk sepeda motor

No	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
			<40 detik/kendaraan. pelayanan gardu tol mobil. pada Gerbang Tol Ngurah Rai <17 detik/kendaraan.
3	M.Fakhruriza Pradana, Dwi Esti Intari, dan Sketsa Gusnawan	Evaluasi Kinerja Dan Pelayanan Gerbang Tol Existing Pelabuhan Bakauheni Beserta Pengaruh Jalan Tol Trans Sumatra Terhadap Gerbang Tol Existing Bakaheuni	Berdasarkan hasil penelitian pada gerbang tol pelabuhan bakauheni dapat diketahui bahwa gerbang tol pelabuhan bakauheni yang melayani kendaraan motor, kendaraan ringan & kendaraan berat sudah jenuh. waktu pelayanan existing kendaraan motor 19,23 detik maka jumlah kendaraan yang mengantri sebanyak -6 kendaraan dengan lama waktu mengantri sebesar -24,96 detik. untuk waktu pelayanan existing kendaraan ringan 39,47 detik maka jumlah kendaraan yang mengantri sebanyak -5 kendaraan dengan lama waktu mengantri sebesar -147,07 detik. untuk waktu pelayanan existing kendaraan berat 50,85 detik maka jumlah kendaraan yang mengantri sebanyak -4 kendaraan dengan lama waktu Untuk meningkatkan kinerja

No	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
			<p>pelayanan, dilakukan alternatif penambahan gerbang tol pada kendaraan motor sebanyak 1 buah gerbang dengan pelayanan 4,42 detik, kendaraan ringan sebanyak 1 buah gerbang dengan pelayanan 28,9 detik, sedangkan untuk kendaraan berat sebanyak 1 buah gerbang dengan pelayanan 32,8 detik.</p>
4	Danu Pratama	<p>Evaluasi Kinerja Pintu Tol Terhadap Kapasitas dan Tingkat Pelayanan</p>	<p>Melihat fungsi gerbang tol adalah memberikan layanan berupa kelancaran arus kendaraan, tanpa hambatan yang menimbulkan kemacetan di gerbang tol Tebing Tinggi perlu di teliti lebih lanjut. Pertama adalah pengambilan data, kemudian pelaksanaan pengumpulan data, dan Pengolahan data. Bulan tertinggi kendaraan yang masuk dan keluar pintu gerbang tol Tebing Tinggi terjadi pada bulan mei 2019 mencapai 580.086 kendaraan. Dari data tahun 2019 tingkat kedatangan λ masuk = 290 kendaraan/jam diperoleh bahwa kondisi ideal</p>

No	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
			<p>waktu pelayanan (WP) pada gerbang tol Tebing Tinggi sebesar 24,8 detik. Tingkat keluar λ keluar = 738 kendaraan/jam diperoleh bahwa kondisi ideal waktu pelayanan (WP) pada gerbang tol Tebing Tinggi sebesar 27,5 detik. dengan jumlah gerbang tol pintu masuk 2 unit maka kondisi ideal dengan sisa waktu pelayanan pada gerbang tol Tebing Tinggi sebesar 6,26 detik. sedangkan data yang ditetapkan dan ditentukan gerbang tol Tebing Tinggi sebesar 5 detik sesuai waktu yang peraturan menteri PU pada tahun 2014, maka sisa waktu pelayanan pada gerbang tol sebesar 1,26 detik kendaraan/jam. Jumlah kendaraan datang dalam antrian (n) sebesar 0,00028 kendaraan dengan sisa waktu kendaraan sebesar 1,26 detik. maka hal ini menunjukan bahwa antrian kendaraan masih stabil dan tidak perlu penambahan gerbang</p>

No	Peneliti	Judul Peneliti	Hasil Peneliti
5	Andi Sumawijaya	Evaluasi Efektifitas Kinerja Pintu Tol Terhadap Tingkat Pelayanan (Studi Kasus Gerbang Tol Kuala Namu)	Hasil dari kinerja pintu tol kualanamu masih bisa menampung kendaraan yang cukup banyak, dari perhitungan tersebut menggunakan waktu pelayanan dari 20 detik yang di dapatkan dari hasil survei sedangkan hasil dari gerbang tol kuala namu 5 detik lebih kecil dari waktu yang di perhitungkan dengan jumlah kendaraan sekitar 359 kendaraan/jam, maka dari itu gerbang tol masih dapat menampung kendaraan yang cukup banyak dengan sisa detik dari per kendaraan tersebut.