

625 f
Dwi
0 er



**OPTIMALISASI KAPASITAS GERBANG TOL
PONDOK GEDE TIMUR DENGAN TEORI ANTRIAN**

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh
S. Satria Dwipajana
L4A098037

**PROGRAM PASCA SARJANA
MAGISTER TEKNIK SIPIL
KONSENTRASI TRANSPORTASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2002**

OPTIMALISASI KAPASITAS GERBANG TOL PONDOK GEDE TIMUR DENGAN TEORI ANTRIAN

Disusun oleh :

S. Satria Dwipajana

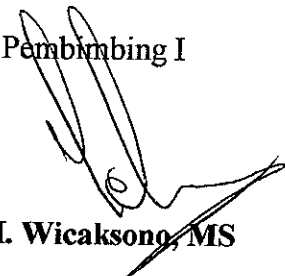
L4A098037

Dipertahankan di depan penguji pada tanggal :

23 Agustus 2002

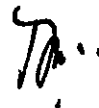
Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Pembimbing I



Ir. YI. Wicaksono, MS

Pembimbing II



Ir. Ismiyati, MS

Tim Penguji :

Semarang, September 2002

Universitas Diponegoro
Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil

1. **Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA**



Ketua

2. **Untung Sirinanto, ATD, M.Sc**



Dr. Ir. Suripin, M.Eng



3. **Bagus Hario Setiadji, ST, MT**

ABSTRAKSI

Gerbang Tol Pondok Gede Timur terletak di Kota Bekasi, Kecamatan Pondok Gede, Kelurahan Jati Bening. Gerbang Tol ini merupakan gerbang yang jumlah gardu pelayanannya paling banyak di Indonesia ini. Gerbang Tol tersebut dibagi menjadi dua bagian, yakni gerbang utama dan gerbang satelit.

Gerbang utama merupakan gerbang yang melayani kendaraan yang menggunakan jasa pelayanan Jalan Tol Jakarta-Cikampek. Fungsi gerbang utama dibagi menjadi dua, yakni yang pertama sebagai tempat pengambilan tiket tanda masuk (entrance) dan yang kedua sebagai tempat pembayaran atau penyerahan tiket (exit). Penelitian dilakukan untuk mengoptimalkan kapasitas gerbang pembayaran atau penyerahan tiket (exit).

Arus lalu lintas datang dari arah Cikampek yang tingkat kedatangan pada jam sibuk pagi di gerbang exit Pondok Gede Timur sebesar 4573 kend/jam. Pola kedatangan tersebut mengikuti pola Distribusi Poisson.

Sistem pelayanan (pembayaran atau penyerahan tiket) dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yakni pertama gerbang langganan atau uang pas dan kedua gerbang pembayaran dengan uang kembalian. Waktu pelayanan rata-rata pada jam sibuk pagi hari, untuk pembayaran dengan menggunakan tiket langganan atau uang pas adalah sebesar 8.937 detik/kendaraan dan untuk gerbang pembayaran uang kembalian adalah sebesar 13.757 detik/kendaraan. Jadi waktu rata-rata pelayanan setiap gerbang adalah 11,53273 detik/kend atau mempunyai kapasitas sebesar 312 kend/jam setiap gerbangnya

Untuk mengetahui permasalahan Gerbang Utama Pondok Gede Timur pada saat ini, dilakukan analisis dengan *Metoda Antrian Banyak Saluran-Satu Tahap (multie channel-single phase)*. Dari hasil analisis tersebut unjuk kerja gerbang tersebut ternyata gerbang tol Pondok Gede Timur melebihi kapasitas pelayanan. Terbukti dengan nilai $\rho = 1,127465$ atau $\rho > 1$. Selanjutnya dilakukan suatu pemecahan masalah dengan penambahan petugas aktif yang kemudian dihitung dengan mempergunakan *teori total cost*.

ABSTRACT

Pondok Gede Timur gateway is located at Jati Bening–Pondok Gede – Bekasi city has the most number of service gateways. This gateway consists of 2 kinds, which is main gateway and satellite gateway.

The main gateway serving vehicle from Jakarta to Cikampek and the opposite. This gateway has 2 purposes, which is as ticket entrance gate and payment gate. Research was done to optimize the capacity of main gateway as the payment gate.

In peak hour, traffic from Cikampek to Jakarta is 4573 vehicle/hour. This arrival method is using Poisson Distribution Method.

Gateway services are categorized into 2 classes, which is for daily user with subscribing ticket or no change money with average time service is 8.937 second/vehicle in peak hours and regular user with average time service is 13.757 second/vehicle. Total average time service it's 11,53273 second/vehicle or the capacity is 312 vehicle/hour.

To identify the problem at Pondok Gede Timur main gateway, we analyzed using *Queuing Theory with Multi Channel-Single Phase*. The result of analysis identified that Pondok Gede Timur gateway service capacity is overload. It is proved by the value of $\rho = 1,127465$ or $\rho > 1$.

To solve the above problem, we used some additional active service gateway officer. According to the total cost theory, the optimal number of active service gateway officer are fifteen people with total cost is Rp. 55.762/hour, but it's only temporarily solution. For long-term solution, it is suggested to build another highway as an alternative.

Kupersembahkan Tesis ini untuk istriku
“ VIRA RENITHA ” dan buah hatiku
“ SARVIRA AYUNING LESTARI ”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji syukur kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan karuniaNya jua, maka Tesis ini dapat diselesaikan. Tesis ini berjudul " **Optimalisasi Kapasitas Gerbang Tol Pondok Gede Timur Dengan Teori Antrian** " sebagai salah satu syarat untuk menempuh pendidikan program Pasca Sarjana Megister Teknik Sipil di program studi Konsentrasi Transportasi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Proposal penelitian ini juga merupakan persyaratan untuk menempuh Tesis, untuk itu tidak lupa ucapan terima kasih disampaikan kepada :

1. Ayahanda Sardjo, ibunda Sri Wiludjeng Andayani, Kakakku Eko Tjahyaning Sari dan Adikku S. Hendro Perwita yang selalu memberi dorongan dan doanya agar tugas ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Dr.Ir. Suripin,M.Eng selaku Ketua Program Pasca Sarjana Jurusan Konsentrasi Transportasi.
3. Bapak Ir.YI Wicaksono,MS selaku Dosen Pembimbing I yang banyak memberi masukan dalam penyelesaian Tesis ini.
4. Ibu Ir. Ismiyati, MS selaku dosen pembimbing II yang banyak memberi masukan dan tidak bosan-bosannya memberi bimbingan hingga akhirnya disidangkan.
5. Bapak Dr.Ir Bambang Riyanto,DEA selaku pembahas pada sidang Akhir.
6. Bapak Untung Sirinanto,ATD,M.Sc selaku pembahas pada sidang Akhir.
7. Bapak Bagus Hario Setiadji,ST,MT selaku pembahas pada sidang Akhir.
8. Terima kasih Buat mbak Imah yang banyak membantu dalam penyelesaian administrasi, mas Solikin dan mas Rohmat yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tesis ini.
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan, maka masukan berupa kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk penyempurnaan laporan berikutnya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat.

Semarang, 23 Agustus 2002

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABTRAKSI	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1
1.2 Pokok Permasalahan.....	2
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Jalan Bebas Hambatan.....	6
2.2 Sistem Pembayaran Yang Ada Di Gerbang Tol.....	7
2.3 Kapasitas Gerbang Tol.....	8
2.4 Pendekatan Distribusi Tingkat Kedatangan.....	9
2.5 Distribusi Frekwensi Tingkat Pelayanan.....	12
2.6 Pendekatan Uji Kecocokan (<i>test of goodness of fit</i>).....	16
2.7 Struktur Dasar Antrian.....	17
2.7.1 Saluran Tunggal - Satu Tahap (<i>single channel - single phase</i>)	18
2.7.2 Saluran Tunggal - Banyak Tahap (<i>single channel - multiphase</i>)	18

2.7.3 Banyak Saluran - Satu Tahap (<i>multi channel – single phase</i>).....	19
2.7.4 Banyak Saluran - Banyak Tahap (<i>multi channel - multi phase</i>).....	19
2.7.5 Proses Dasar Antrian.....	20
2.8 Model-Model Sistem Antrian.....	22
2.8.1 Bentuk Umum Antrian.....	22
2.8.2 Pengelompokan.....	23
2.8.3 Model Antrian (M/M/I) : (FIFO/∞/∞).....	25
2.8.4 Model Antrian (M/M/C) : (FIFO/∞/ ∞).....	28
2.8.5 Model Antrian (M/M/1) : (GD/N/∞).....	30
2.8.6 Model Antrian (M/M/C) : (GD/N/∞).....	32
2.8.7 Model Antrian Sistem Tandem.....	34
2.8.8 Simulasi.....	37
2.9 Model Ongkos Antrian.....	38
2.9.1 Nilai Pelayanan.....	39
2.9.2 Jumlah Pelayanan.....	40

BAB III METODOLOGI

3.1 Kerangka Pemikiran.....	41
3.2 Metode Pengumpulan Data.....	43
3.2.1 Data Sekunder.....	43
3.2.2 Data Primer.....	43
3.3 Penentuan Distribusi Frekwensi Tingkat Kedatangan.....	50
3.4 Penentuan Distribusi Frekwensi Tingkat Pelayanan.....	51
3.5 Metoda Uji Kecocokan.....	52
3.6 Identifikasi Masalah.....	53
3.7 Pemecahan Masalah.....	53
3.8 Evaluasi.....	54
3.9 Rekomendasi.....	54

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Hasil Pengamatan.....	55
4.1.1 Letak dan Gerbang Tol Pondok Gede Timur.....	55
4.1.2 Gerbang dan Gardu.....	57
4.1.3 Sistem Pelayanan.....	61
4.1.4 Asal dan Tujuan (dari/ke) Perjalanan Gerbang Tol Pondok Gede Timur.....	63
4.1.5 Tingkat Keberangkatan Selama 16 Jam.....	64
4.1.6 Tingkat Kedatangan Selama 16 Jam.....	74
4.1.7 Tingkat Kedatangan Jam Sibuk	74
4.1.8 Tingkat Pelayanan Jam Sibuk.....	77
4.2 Kedatangan Rata-Rata (λ).....	77
4.3 Pelayanan Rata-Rata (ν).....	80
4.4 Komponen Biaya Sistem Antrian.....	85
4.4.1 Biaya Fasilitas Pelayanan.....	85
4.4.2 Biaya Menunggu.....	87

BAB V ANALISIS DATA

5.1 Unjuk Kerja Pelayanan Tol Saat Ini.....	94
5.2 Optimalisasi Gardu Pembayaran Atau Penyerahan.....	95
5.2.1 Petugas Pasif Dan Aktif.....	95
5.2.2 Kapasitas Rata-rata Petugas Aktif.....	96
5.2.3 Optimalisasi Penambahan Petugas.....	96

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	96
6.2 Saran	97

DAFTAR PUSTAKA	98
-----------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
4.1	Gerbang Asal atau Tujuan Perjalanan.....	61
4.2	Data Volume Lalin Keluar (exit) Per Periode & Per Golongan Cabang Jakarta-Cikampek Bulan Agustus 2001.....	65
4.3	Volume Lalu Lintas Selama 16 Jam (kend/16 jam).....	67
4.4	Tingkat Kedatangan Selama 16 Jam.....	69
4.5	Tingkat Kedatangan Jam Sibuk Pagi.....	71
4.6	Kedatangan Kendaraan Sibuk Pagi Selama 4200 detik.....	74
4.7	Distribusi Frekwensi Kedatangan Kendaraan.....	75
4.8	Frekwensi Pelayanan Pada Gardu No.02.....	77
4.9	Distribusi Frekwensi Waktu Pelayanan Kendaraan Gardu No.02	78
4.10	Waktu Rata-Rata Pelayanan Tiap-Tiap Jenis Pelayanan.....	80
4.11	Nilai Waktu Tunggu.....	89
5.1	Perbandingan kedatangan dengan pelayanan	93
5.2	Optimalisasi Penambahan Pegawai (pelayan aktif).....	94

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
2.1	Struktur Antrian Saluran Tunggal-Satu tahap.....	18
2.2	Struktur Antrian Saluran Tunggal-Banyak tahapan.....	19
2.3	Struktur Antrian Banyak Saluran-Satu tahapan.....	19
2.4	Struktur Antrian Banyak saluran-Banyak tahapan.....	20
2.5	Contoh Model Antrian.....	24
2.6	Gerbang Tol Sistem Tandem.....	35
3.1	Kerangka Pemikiran.....	41
4.1	Denah Gerbang Tol Pondok Gede Timur.....	57
4.2	Gerbang dan Gardu Tol Pondok Gede Timur.....	58
4.3	Gerbang Asal Perjalanan Menuju Gerbang Tol Pondok Gede Timur.....	63

DAFTAR GRAFIK

No	Judul	Halaman
4.1	Grafik Volume Lalin Keluar (exit) Gerbang Pondok Gede Timur Bulan Agustus 2001.....	66
4.2	Tingkat Keberangkatan Gerbang Tol Pondok Gede Timur (Pembayaran).....	68
4.3	Tingkat Kedatangan Kendaraan Gerbang Pembayaran	70
4.4	Grafik Tingkat Kedatangan Kendaraan Gerbang Pembayaran Jam Sibuk.....	72
4.4	Grafik Eksponensial Tingkat Pelayanan gardu No.02.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Jalan Tol Jakarta - Cikampek merupakan prasarana lalu lintas yang sangat diandalkan untuk mengakomodasi potensi lalu lintas yang tinggi antara Kota DKI Jakarta dengan wilayah bagian timurnya seperti Bekasi, Cibitung, Cikarang, Karawang dan Cikampek. Disamping itu jalan tol ini juga melayani lalu lintas dari Jawa Barat bagian selatan, Jawa Tengah serta Jawa Timur.

Volume lalu lintas di jalan Tol Jakarta-Cikampek saat ini cukup besar dan volume lalu lintas tersebut sebagian besar dari Bekasi ke DKI Jakarta maupun sebaliknya. Pada saat ini telah terlihat antrian yang panjang pada pintu-pintu pelayanan penyerahan dan pengambilan tiket tol. Pada pagi hari terlihat antrian yang cukup panjang pada gerbang pelayanan yang menuju DKI Jakarta sedangkan pada sore hari terjadi antrian yang panjang pada pintu pelayanan yang menuju Kota Bekasi.

Disamping dibangunnya pintu pelayanan di Kota Bekasi, juga terdapat pintu pelayanan di dekat kawasan-kawasan industri. Pintu tol Cibitung untuk melayani bangkitan perjalanan pada kawasan industri MM 2100, pintu tol Cikarang untuk melayani kawasan industri Lippo Cikarang, Hyundai, Ejiep, Jababeka dan lain-lain. Masih banyak pintu tol lain yang berdekatan dengan daerah industri.

Mobilitas perjalanan yang ada pada kawasan tersebut sangat tergantung dengan jalan tol Cikampek-Jakarta. Arus lalu lintas yang berasal dari berbagai asal

tersebut yang akan menuju Jakarta menyerahkan tiket dan melakukan transaksi pada Gerbang Tol Pondok Gede Timur. Gerbang tersebut adalah gerbang tol yang terlebar di Indonesia yang pada saat ini mengalami kemacetan. Apabila kita lihat pada jam sibuk pada pagi hari terjadi antrian kendaraan sepanjang $\pm 2,250$ KM.

Untuk mengurangi antrian tersebut PT Jasa Marga tidak mungkin lagi untuk menambah gardu-gardu pelayanan mengingat lahan pengembangan tidak tersedia lagi.

1.2 Pokok Permasalahan

Unjuk kerja pelayanan Gerbang Tol Pondok Gede Timur saat ini sangat rendah mengingat antrian kendaraan yang sangat panjang. Pelayanan yang ada saat ini tidak optimal untuk melayani kedatangan arus lalu lintas yang sangat besar.

Dari gambaran tersebut maka perlu dilakukan kajian pelayanan yang optimal untuk mengurangi antrian di Gerbang Tol Pondok Gede Timur. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk mengoptimalkan kapasitas pelayanan khususnya pada gerbang keluar (exit), yakni :

- Tingkat kedatangan kendaraan;
- Tingkat pelayanan tiap-tiap gardu pembayaran;
- Jumlah gardu pelayanan;
- Dan lain-lain.

1.3 Ruang Lingkup Pembahasan

Mengingat keterbatasan biaya, waktu, dan tenaga maka fokus kegiatan penelitian ini dibatasi hanya pada satu lokasi pintu keluar tol (pembayaran atau penyerahan tiket) yaitu pada Gerbang Tol Pondok Gede Timur. Pertimbangan bahwa banyaknya jumlah kendaraan yang antri di gerbang tol dimaksud terjadi akibat pelayanan yang tidak optimal.

Untuk lokasi yang lain seperti gerbang tol Bekasi-Barat, Bekasi Timur, Cibitung dan lain-lain bahwa banyaknya jumlah kendaraan antrian bukan disebabkan semata-mata dikarenakan pelayanan yang tidak optimal, namun disebabkan oleh kemacetan lalu lintas di luar jaringan jalan tol tersebut.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu mengoptimalkan kapasitas pelayanan Gerbang Tol Pondok Gede Timur. Optimalisasi ini perlu dilakukan mengingat penambahan gardu pelayanan tidak memungkinkan lagi karena lahan sangat terbatas.

Penelitian ini sangat diperlukan untuk mengurangi waktu antrian. Pengurangan waktu antrian ini akan memberikan keuntungan yang sangat besar baik terhadap nilai waktu maupun biaya operasi kendaraan.

1.5 Sistematika Penulisan Tesis

Sistematika penulisan tesis ini adalah :

Bab I : Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan tentang latar belakang permasalahan di Gerbang Tol Pondok Gede Timur, pokok permasalahan, ruang lingkup pembahasan dan, tujuan penelitian.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini menjelaskan dasar-dasar teori yang diterapkan dalam penelitian ini. Tinjauan pustaka yang telah disusun pada bab II tersebut diperoleh dari buku-buku yang tersedia, baik di perpustakaan, catatan kuliah maupun laporan hasil penelitian.

Bab III : Metodologi

Pada bab ini akan diuraikan metode-metode yang dilakukan dalam penelitian. Uraian pada bab ini menjelaskan mulai dari teknik pengumpulan data sampai teknik analisis penelitian.

Bab IV : Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada bab ini disajikan hasil pengumpulan data, baik data sekunder maupun primer. Penyajian data tersebut berupa tabel, gambar dan grafik dan disertai dengan penjelasan.

Bab V : Analisis Data

Setelah dilakukan penyajian data pada bab sebelumnya, maka pada bab ini juga dilakukan analisis data dengan teori-teori yang telah diuraikan pada bab II sebelumnya.

Bab VI : Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan bab yang paling terakhir dalam tesis ini. Pada bab ini disimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Saran dari hasil penelitian juga disampaikan pada bab ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan Bebas Hambatan

Pengertian jalan bebas hambatan dan jalan tol menurut Undang-Undang Republik Indonesia No: 13 Tahun 1980 adalah suatu lintas jalan yang mempunyai persyaratan teknis sebagai berikut :

- Tidak mempunyai persimpangan yang sebidang dengan jalan lain sehingga kendaraan dapat melaju dengan bebas sesuai persyaratan batas kecepatan yang ditentukan.
- Kendaraan-kendaraan hanya dapat memasuki jalan-jalan tersebut dengan melewati kedua ujungnya atau melewati suatu jembatan silang layang.
- Untuk mengamankan agar orang, hewan ternak, dan lain-lainnya tidak melintas jalan disepanjang jalan tol dipasang pagar penghalang.

Jalan tol adalah :

- Suatu lintasan jalan yang merupakan alternatif dari pada lintas jalan yang ada.
- Mempunyai spesifikasi jalan bebas hambatan.
- Jalan tol hanya diperuntukan bagi kendaran bermotor beroda empat atau lebih yang membayar tol.

Karena yang memiliki dan menyelenggarakan jalan tol adalah pemerintah, maka jenis kendaraan dan besarnya tol ditetapkan oleh Keputusan Presiden, sedang wewenangnya diberikan kepada PT. Jasa Marga untuk perawatan jalan selanjutnya.

Syarat-syarat Jalan Tol :

- a. Jalan Tol harus mempunyai spesifikasi yang lebih tinggi daripada lintas jalan umum yang ada.
- b. Jalan tol harus memberikan kendala yang lebih tinggi kepada pemakainya daripada lintas jalan umum yang ada.

Pelaksanaan ketentuan yang dimaksud diatas lebih lanjut diatur di dalam peraturan pemerintah.

Desain jalan tol harus memberikan waktu tempuh sesingkat mungkin. Jarak tempuh tersingkat didapat apabila dua zona dihubungkan dengan satu garis lurus, suatu hal yang hampir tidak mungkin dilaksanakan dikota besar. Pembuatan jalan tol ditujukan agar dapat memberikan pelayanan terhadap arus lalu lintas antar dua zona kegiatan, misalnya antara kawasan pemukiman dan pusat perniagaan. Dengan mempersingkat waktu tempuh diharapkan dapat mendorong kelancaran komunikasi perekonomian, serta mengurangi kepadatan lalu lintas.

2.2 Sistem Pembayaran Yang Ada di Gerbang Tol

Sistem yang ada dan telah dipakai pada gerbang-gerbang tol di Indonesia adalah dengan cara konvensional, yaitu dengan menentukan penempatan gerbang-gerbang tol. Akan tetapi sistem ini diterapkan berdasarkan suatu survei Asal Tujuan (Origin-Destination) lalu lintas yang bisa didapat banyaknya kendaraan yang akan lewat pada ruas lintas yang bisa didapat banyaknya kendaraan yang akan lewat pada ruas jalan tol tersebut, dimana penentuan jumlah gardu tol masih terbatas pada sistem *trial and error*. Dari data yang didapat biasanya untuk tahun-tahun

sebelumnya, jumlah tersebut diperkirakan tidak lagi dapat melayani pemakaian jalan yang ada. Hal ini dapat menimbulkan suatu masalah pada jalan tol maupun jalan bukan tol, karena adanya penambahan pengguna jasa tol.

Untuk melayani pengguna jasa tol ada 2 (dua) sistem pelayanan yang dilakukan yakni;

- **Sistem Tertutup**, dimana proses pengambilan tanda bukti pembayaran dilakukan pada gerbang tol tersendiri, misalnya pada jalan tol Jakarta-Cikampek. Pada saat memasuki gerbang tol dengan tujuan dari Jakarta ke Cikampek, maka di gerbang awal kita mengambil kartu tanda masuk dan pada gerbang tol arah keluar ke Cikampek kita menyerahkan tanda masuk tadi dan melakukan pembayaran tol, sesuai dengan tarif yang tercantum.
- **Sistem Terbuka**, dimana pada Gerbang tol masuk kita sudah melakukan pembayaran dan mengambil tanda bukti pembayaran sekaligus. Biasanya sistem ini diterapkan di jalan tol Kota.

2.3 Kapasitas Gerbang Tol

Kapasitas dari suatu Gerbang Tol adalah banyaknya kendaraan yang dapat melewati gerbang tol tersebut setiap jam. Besarnya kapasitas pada setiap gerbang berbeda-beda tergantung dari tingkat pelayanan dan waktu pelayanan.

Kapasitas dari suatu fasilitas lalu lintas adalah suatu ukuran atau patokan dari kemampuan untuk menampung jumlah kendaraan-kendaraan yang bergerak, dan merupakan nilai daripada jumlah yang tidak sebanding terhadap kapasitas dari suatu ruang tertutup (*Highway Capacity Manual, Highway Research Board, 1965*). Artinya

suatu ruang tertutup hanya dapat menampung dengan terbatas misalnya : lift, hanya dapat menampung maksimal 15 orang. Lain halnya dengan kapasitas dari fasilitas-fasilitas lalu lintas dalam hal ini Jalan, yang ditampung adalah kendaraan yang bergerak. Nilai maksimum pelayanan dari suatu fasilitas dapat dipengaruhi beberapa faktor antara lain : jalan itu sendiri, bentuk karakteristik kendaraan (ringan atau berat), kontrol operasional dan faktor lingkungan.

Kapasitas dari suatu gerbang tol dapat berpengaruh terhadap kelakuan para pengemudi, tindakan para penjaga tol, pembayaran tol (membutuhkan kembalian atau tidak), fasilitas dari gerbang tol itu sendiri dan beberapa faktor lingkungan. Jadi kapasitas dari Gerbang Tol dapat didefinisikan sebagai nilai maksimum dari banyaknya kendaraan yang melewati suatu gerbang tol dan dalam periode waktu tertentu (*Wohl & Martin, 1967*).

Banyaknya kendaraan yang melewati pintu-pintu di tiap gerbang tol setiap harinya akan menunjukkan kapasitas pada setiap gerbang berbeda-beda tergantung dari tingkat pelayanan. Tingkat pelayanan yang maksimum akan mempersingkat waktu pelayanan.

Waktu pelayanan di pintu Gerbang Tol juga dipengaruhi oleh sikap pemakai jalan tol yang sebaiknya sudah mempersiapkan dahulu biaya tol yang akan dibayarkan.

2.4 Pendekatan Distribusi Tingkat Kedatangan

Distribusi tingkat kedatangan adalah jumlah kendaraan sampai pada gardu gerbang tol pada periode waktu tertentu, dimana kendaraan mulai bergabung dengan

kendaraan lain yang antri pada gerbang tol yang dihitung jumlah tingkat kedatangan kendaraan selama waktu survai. Secara matematis volume lalu lintas atau jumlah kedatangan pada periode waktu tertentu adalah :

$$q = \frac{n}{t}$$

Keterangan :

q = volume lalu lintas atau jumlah kedatangan pada periode waktu tertentu

n = jumlah kendaraan atau frekuensi

t = waktu

Jika kendaraan-kendaraan yang datang pada fasilitas pelayanan mempengaruhi kemungkinan random atau acak, maka pada n kedatangan kendaraan yang memberikan suatu waktu interval t . Untuk jumlah kelas n ditentukan oleh periode waktu yang direncanakan dengan pertimbangan arus lalu lintas pada jam sibuk. Ada beberapa pendekatan distribusi tingkat kedatangan secara teoritis yang lazim digunakan, yakni :

- **Distribusi Poisson**

Model matematis yang telah dirumuskan untuk distribusi ini adalah :

$$p(n) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

Keterangan :

λ = nilai tengah dari kedatangan (kendaraan/ menit)

- $n = 0, 1, 2, \dots, n$
 $t =$ interval waktu kedatangan
 $e =$ bilangan napier
 $P(n) =$ probabilitas n kendaraan

- **Distribusi Binomial**

Model matematis yang telah dirumuskan untuk distribusi ini adalah :

$$P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x}$$

Keterangan :

- $P(x) =$ Probabilitas x kejadian di n pengamatan
 $n =$ jumlah pengamatan
 $x =$ jumlah kejadian dalam n pengamatan
 $p =$ probabilitas suatu kejadian pada suatu pengamatan yang diberikan sama dengan kemungkinan kendaraan dalam interval waktu tertentu.
 $q = 1 - p$

- **Distribusi *Generalized Poisson***

$$P(x) = \sum_{j=xk} \frac{(x+1)^{k-1} e^{-\lambda t} \lambda^j}{j!}$$

Keterangan :

$P(x)$ = probabilitas x kendaraan yang tiba dalam hitungan interval waktu tertentu

λ = rata-rata tingkat kedatangan

t = interval waktu

2.5 Distribusi Frekuensi Tingkat Pelayanan

Distribusi frekuensi tingkat pelayanan merupakan frekuensi lama pelayanan terhadap kendaraan pada proses pembayaran atau penyerahan tiket. Lama pelayanan ini diketahui dari selisih waktu keberangkatan kendaraan yang satu dengan keberangkatan kendaraan yang sebelumnya dari gardu pembayaran. Waktu keberangkatan yang dimaksud merupakan waktu akhir dilayani oleh petugas gardu atau waktu awal untuk keluar dari gardu pembayaran. Waktu pelayanan ini terdiri dari waktu tempuh dari titik tunggu ke titik transaksi dan waktu transaksi penyerahan tiket atau pembayaran. Titik tunggu dalam hal ini adalah suatu titik berhenti kendaraan, dimana titik tersebut merupakan titik kendaraan yang akan melakukan transaksi setelah kendaraan di depannya selesai melakukan transaksi di titik transaksi. Secara eksplisit adalah sebagai berikut :

$$t = t_i - t_{i+1}$$

Keterangan :

t = lama atau waktu pelayanan

t_i = waktu akhir kendaraan i ($1, 2, 3 \dots dst$) dilayani

t_{i+1} = waktu akhir kendaraan $i + 1$ ($1 + 1, 2 + 1, 3 + 1 \dots$ dst)
dilayani.

atau

$$t = t_h + t_t$$

Keterangan :

t_h = waktu atau lama tempuh dari titik tunggu ke titik transaksi

t_t = waktu atau lama transaksi pembayaran atau penyerahan tiket

Lama pelayanan akan berbeda pada tiap-tiap kendaraan, atau lama pelayanan sama dengan selisih kendaraan yang satu dengan yang lain. Untuk itu pada tabel distribusi frekuensi tingkat pelayanan adalah jumlah kendaraan yang dilayani dalam interval waktu tertentu.

Pendekatan-pendekatan untuk menyusun tabel distribusi tingkat pelayanan yang dimaksud adalah sebagai berikut ini :

- **Penentuan Jumlah Kelas**

Telah diketahui bahwa jumlah kelas tidak boleh terlampau banyak dan juga tidak boleh terlampau sedikit atau sedang-sedang saja. Sebagai pedoman untuk menentukan jumlah kelas yang sebaiknya dipergunakan untuk pengelompokan data, Sturges memberikan suatu kaidah empiris,

$$k = 1 + 3,3 \log n$$

Keterangan : k = jumlah kelas

n = jumlah keseluruhan pengamatan yang terdapat dalam data.

- **Penentuan Rentang**

Rentang kelas adalah data yang bernilai terbesar dikurangi dengan data yang bernilai terkecil atau secara kaidah empiris adalah sebagai berikut ini :

$$r = N_{\max} - N_{\min}$$

keterangan :

$$r = \text{rentang}$$

$$N_{\max} = \text{nilai terbesar dari data yang ada}$$

$$N_{\min} = \text{nilai terkecil dari data yang ada}$$

- **Penentuan Panjang Kelas**

Panjang kelas ditentukan dengan aturan sebagai berikut ini :

$$p = \frac{r}{k}$$

keterangan :

$$p = \text{panjang kelas}$$

Harga p diambil sesuai dengan ketelitian satuan data yang digunakan. Jika data berbentuk satuan, ambil harga p teliti sampai satuan.

Data yang telah terkumpul selanjutnya dilakukan rekapitulasi pada tabel distribusi frekuensi tingkat kedatangan, dan dengan demikian jumlah kendaraan yang dilayani dalam interval waktu tertentu akan diketahui.

Ada beberapa distribusi frekuensi tingkat pelayanan yang secara teoritis sudah lazim digunakan untuk analisis, yakni :

- **Distribusi Eksponensial**

Distribusi *Eksponensial* merupakan teoritis yang menggambarkan jumlah kendaraan yang dilayani dalam interval waktu tertentu.

Secara matematis kemungkinan kendaraan yang dilayani dalam waktu t tertentu adalah :

$$f(t) = \frac{\Delta t}{t_s} \exp(-t/t_s)$$

keterangan :

$f(t)$ = fungsi waktu pelayanan pada waktu t dan juga $f(t)$ ini digunakan sebagai probabilitas

Δt = interval waktu pelayanan

t_s = rata-rata waktu pelayanan

- **Distribusi Erlang**

Distribusi *Erlang* merupakan teoritis yang menggambarkan jumlah kendaraan yang dilayani dalam interval waktu tertentu. Yang secara matematis adalah sebagai berikut ini :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}$$

keterangan :

$f(t)$ = fungsi waktu pelayanan dengan waktu tertentu t yang sekaligus juga merupakan probabilitas

$$\lambda = k/t_s$$

$$k = 1, 2, 3 \dots \text{dst}$$

2.6 Pendekatan Uji Kecocokan (*test of goodness of fit*)

Pada uraian sebelumnya bahwa diketahui ada dua distribusi frekuensi, yakni distribusi frekuensi hasil pengamatan dan distribusi hasil model-model, yang secara teoritis dapat diterima. Kedua distribusi frekuensi tersebut tentu saja berbeda antara yang satu dengan yang lain. Akan tetapi perbedaan tersebut hendaknya tidak menunjukkan hasil yang berarti. Untuk mengetahui besarnya perbedaan tersebut perlu suatu uji, apakah perbedaan tersebut masih dapat diterima atau ditolak pada taraf tingkat keyakinan tertentu. Uji sebagaimana yang dimaksud sering disebut uji kecocokan (*test of goodness of fit*).

Untuk mengetahui cocok tidaknya antara distribusi frekuensi hasil pengamatan dengan hasil model-model yang telah dikembangkan, *K. Pearson* memprakirakan kecocokan tersebut dengan pendekatan *Chi-Kuadrat*. Model *Chi-Kuadrat* yang telah dikembangkan tersebut adalah sebagai berikut ini:

$$\text{Chi-Kuadrat } (\chi_i^2) = \frac{(f_i - f_1)^2}{f_1}$$

keterangan :

f_i = frekuensi hasil pengamatan

f_1 = frekuensi teoritis

i = 1, 2, 3 ... n

n = jumlah kelas

Sedangkan jumlah *Chi-Kuadrat* (χ^2) adalah :

$$\text{Jml Chi-Kuadrat } (\chi^2) = \sum_{i=1}^{i=n} (X_i^2)$$

Selanjutnya jumlah *Chi-Kuadrat* digunakan untuk mengetahui apakah distribusi frekuensi hasil pengamatan dan distribusi frekuensi teoritis tersebut cocok atau tidak. Untuk itu perlu asumsi awal yakni sebagai berikut :

Ho : Distribusi Frekuensi hasil pengamatan *sama dengan* Distribusi Frekuensi Teoritis

H1 : Distribusi Frekuensi hasil pengamatan *tidak sama dengan* Distribusi Frekuensi Teoritis

Sedangkan daerah penolakan adalah $\alpha = 5\%$

Pernyataan Ho diterima jika $\chi^2 \geq \chi^2_{(1-\alpha, dk)}$

keterangan :

$\chi^2_{(1-\alpha, dk)}$ = Jumlah Chi-Kuadrat hasil tabel.

dk = derajat kebebasan sama dengan $k - 2$

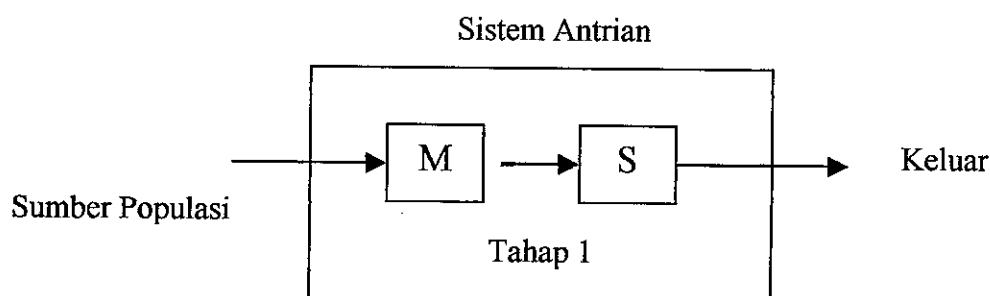
k = banyak kelas

2.7 Struktur Dasar Antrian

Ada 4 (empat) model struktur antrian dasar yang umum terjadi dalam seluruh sistem antrian.

2.7.1 Saluran Tunggal-Satu Tahap (*single channel – single phase*)

Seperti yang ditunjukkan gambar 2.1, sistem ini adalah yang paling sederhana. Saluran Tunggal berarti bahwa hanya ada satu jalur untuk memasuki sistem pelayanan atau ada satu fasilitas pelayanan. Satu tahap menunjukkan bahwa hanya ada satu stasiun pelayanan atau sekumpulan tunggal operasi yang dilaksanakan. Setelah menerima pelayanan, individu-individu keluar dari sistem. Contoh untuk model struktur ini adalah seorang tukang cukur, pembelian tiket kereta api antar kota kecil yang dilayani oleh satu loket, seorang pelayan toko dan sebagainya.

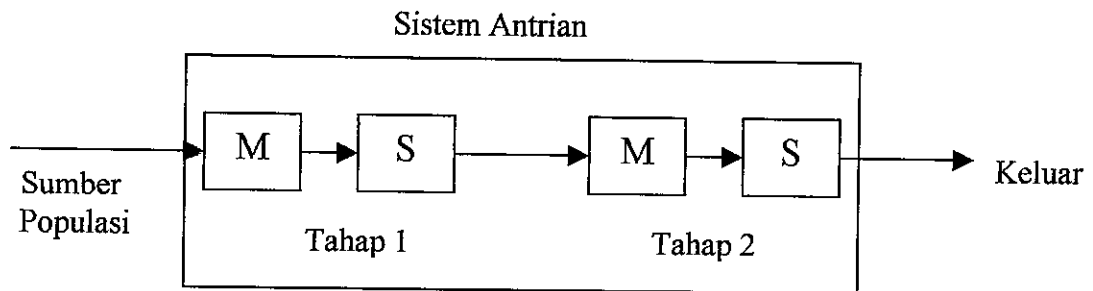


Gambar 2.1: Struktur Antrian Saluran Tunggal-Satu Tahap

- M : Antrian
S : Stasiun Pelayanan (*server*)

2.7.2 Saluran Tunggal- Banyak Tahap (*single channel – multiphase*)

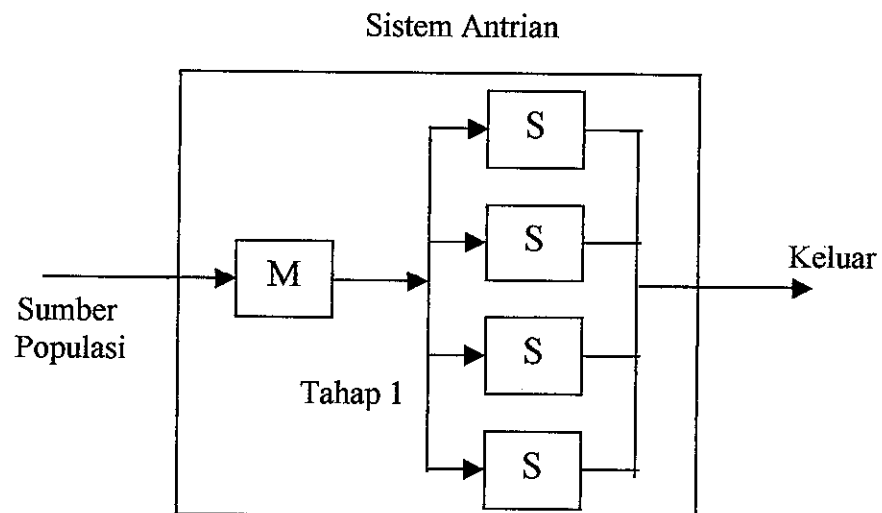
Model ini ditunjukkan oleh gambar 2.2, istilah banyak tahap menunjukkan ada dua atau lebih pelayanan yang dilaksanakan secara berurutan (dalam tahap-tahap). Sebagai contoh, lini produksi massa, pengujian kendaraan bermotor.



Gambar 2.2 : Struktur Antrian Saluran Tunggal- Banyak Tahapan

2.7.3 Banyak Saluran – Satu Tahap (*multichannel - single phase*)

Sistem Banyak Saluran – Satu Tahap terjadi (ada) kapan saja dimana dua atau lebih fasilitas pelayanan dialiri oleh antrian tunggal, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3.

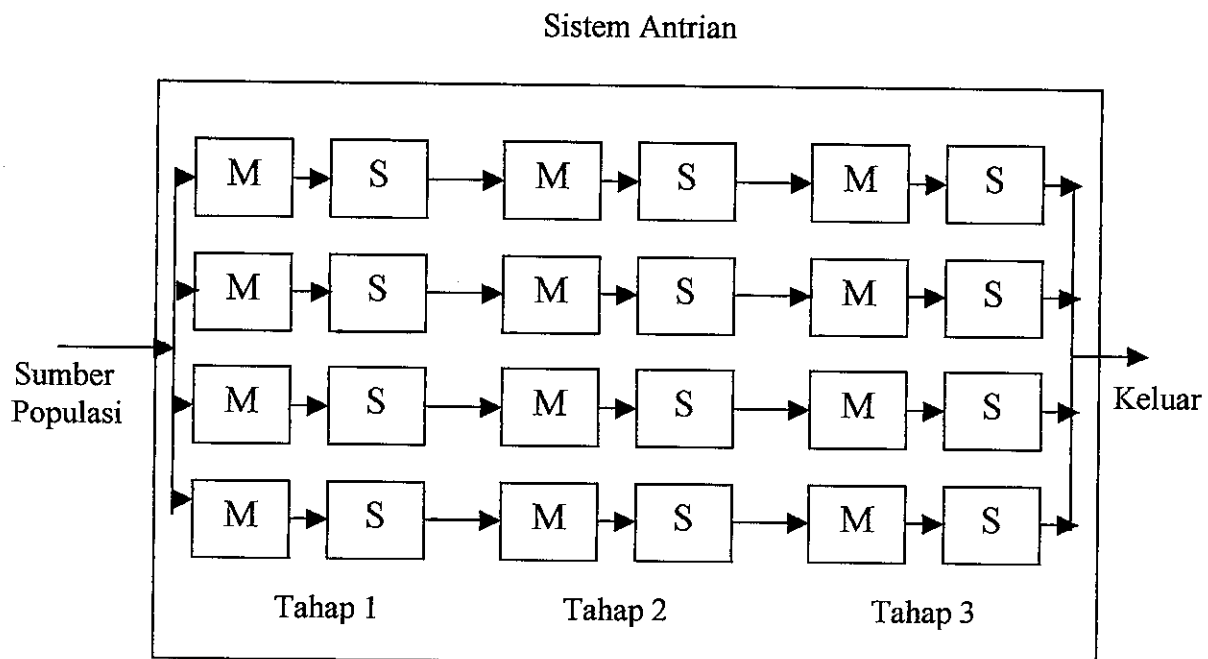


Gambar 2.3 : Struktur Antrian Banyak Saluran-Satu Tahap

2.7.4 Banyak Saluran – Banyak Tahap (*multichannel-multiphase*)

Sistem Banyak Saluran – Banyak Tahap ditunjukkan dalam gambar 2.4 sebagai contoh, registrasi para mahasiswa di universitas, pelayanan kepada pasien di rumah sakit dari pendaftaran, diagnosa, penyembuhan sampai pembayaran.

Setiap sistem – sistem ini mempunyai beberapa fasilitas pelayanan setiap tahap, sehingga lebih dari satu individu dapat dilayani pada suatu waktu. Pada umumnya, jaringan antrian ini terlalu kompleks untuk dianalisa dengan teori antrian, mungkin simulasi lebih sering digunakan untuk menganalisa sistem ini.



Selain empat model struktur antrian diatas sering terjadi struktur campuran (*mixed arrangements*) yang merupakan campuran dari dua atau lebih struktur antrian diatas. Misal, toko-toko dengan beberapa pelayan (banyak saluran), namun pembayarannya hanya pada seorang kasir (saluran tunggal).

2.7.5 Proses Dasar Antrian

Proses dasar antrian yang diasumsikan oleh kebanyakan model-model antrian adalah satuan-satuan yang memerlukan pelayanan berasal dari sebuah sumber, dimana satuan-satuan ini memasuki sistem antrian dan kemudian memasuki antrian.

Pada suatu saat dan pada kedudukan tertentu anggota antrian dilayani dengan suatu aturan tertentu pula yang biasanya disebut dengan disiplin pelayanan. Terdapat empat karakteristik atau variabel-variabel dari antrian yang ditentukan untuk mengevaluasi yaitu :

- Distribusi *headway* dari kedatangan kendaraan sumber input tersebut bisa terbatas dan bisa tak terhingga.
- Distribusi dari waktu pelayanan yaitu proses pembentukan suatu bentuk antrian akibat adanya antara satuan-satuan kendaraan. Secara teori waktu kedatangan antara satuan-satuan kendaraan dengan satuan-satuan kendaraan berikutnya dianggap acak dan bebas. Bentuk umum dari proses ini sering digunakan dalam model antrian yaitu yang dikenal proses *Eksponensial*.
- Pada saluran untuk pelayanan yang mekanisme pelayanan terdiri dari satu atau beberapa saluran/fasilitas pelayanan waktu yang diperlukan sampai selesainya pelayanan disebut waktu pelayanan. Pada setiap model antrian harus dispesifikasikan distribusi waktu pelayanan untuk masing-masing saluran pelayanan. Ada beberapa distribusi waktu pelayanan yang banyak digunakan yaitu distribusi *Eksponensial*, distribusi *Erlang* dan distribusi *degenerate* (pelayanan konstan). Apabila kedatangan kendaraan kedalam suatu antrian berdistribusi *Poisson*, maka dapat dinyatakan bahwa distribusi dua kedatangan yang berurutan adalah *Eksponensial*.
- Disiplin antrian yang menentukan urutan satuan kendaraan yang tiba yang akan dilayani.
- Ada beberapa bentuk disiplin pelayanan yang biasa dipergunakan dalam persoalan antrian yaitu : (*"Taha, Hamdy H-395"*)

- *First –Come, First Served (FCFS) atau First -In, First Out (FIFO)* yaitu yang lebih dulu datang lebih dulu dilayani.
- *Last – Come, First-Served (LCFS) atau Last –In, First Out (LIFO)*, yaitu yang datang terakhir yang lebih dahulu dilayani.
- *Service In Random Order (SIRO)* yaitu panggilan didasarkan pada peluang secara random, tidak mempersoalkan siapa yang lebih dulu datang.
- *General Service Discipline (GD)*, merupakan disiplin pelayanan secara umum yang mencakup ketiga disiplin pelayanan sebelumnya.

2.8 Model-Model Sistem Antrian

2.8.1 Bentuk Umum Antrian

Beberapa model antrian yang diklasifikasikan berdasarkan format berikut adalah : *(P Siagian 1986 H 408)*

Format umum $(a / b / c) ; (d / e / f)$

- a ; Bentuk distribusi kedatangan, yaitu jumlah kedatangan per satuan waktu.
- b ; Bentuk distribusi waktu pelayanan. pemberangkatan yaitu selang waktu antar satuan-satuan yang dilayani berangkat.
- c ; Jumlah saluran paralel dalam sistem
- d ; Disiplin pelayanan
- e ; Jumlah maksimum yang diperkenankan berada dalam sistem
- f ; Besarnya populasi

Untuk huruf a dan b, kita gunakan kode-kode sebagai berikut pengganti :

M : Distribusi kedatangan *Poisson* atau distribusi pelayanan *Eksponensial*, juga sama dengan distribusi waktu antara kedatangan *Eksponensial* atau satuan yang dilayani *Poisson*

D : Antar kedatangan atau waktu pelayanan tetap

G : Distribusi umum pemberangkatan atau waktu pelayanan

Untuk huruf d disepakati kode-kode pengganti sebagai berikut :

FIFO atau FCFS = First –In, First –Out atau First Come, First Served

LIFO atau LCFS = Last –In, First Out atau Last Come, First Served

SIRO = Service in Random Order

GD = General service Discipline

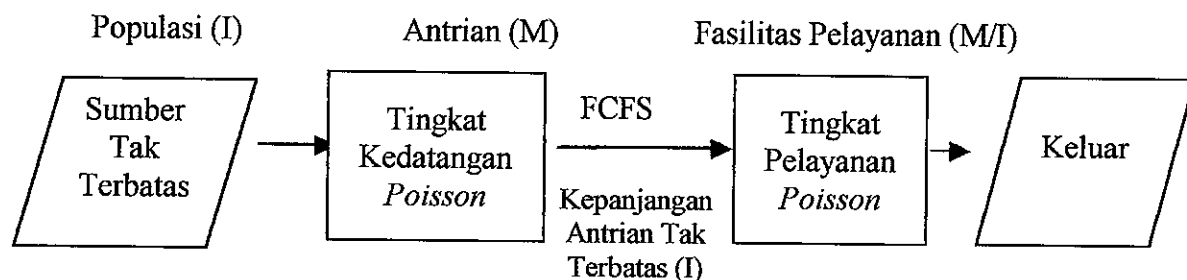
Untuk huruf c, digunakan bilangan bulat positif yang menyatakan jumlah pelayanan paralel. Untuk huruf e dan f, dipergunakan kode N atau menyatakan jumlah terbatas atau tak terhingga satuan-satuan dalam sistem antrian dan populasi masukkan.

Kombinasi dari unsur-unsur tersebut diatas dan formulasi antriannya adalah sebagai berikut :

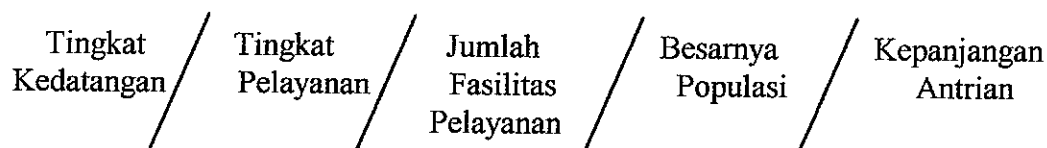
2.8.2 Pengelompokan

Dalam mengelompokkan model-model antrian yang berbeda-beda akan digunakan suatu notasi yang disebut *Kendall's Notation*. Notasi ini sering dipergunakan karena beberapa alasan. Pertama, karena notasi tersebut merupakan alat yang efisien untuk mengidentifikasi tidak hanya model-model antrian, tetapi juga asumsi-asumsi yang harus dipenuhi. Kedua, hampir semua buku (*literature*)

yang membahas teori antrian menggunakan notasi ini. Gambar 2.5 berikut ini akan memperjelas penggunaan notasi tersebut, dan model disajikan adalah model $(M/M/1) : (GD/I/I)$.



Gambar 2.5 : Contoh Model Antrian



Model khusus di atas : $(M/M/1) : (GD/I/I)$

keterangan :

- M : Tingkat kedatangan dan Pelayanan *Poisson*
- D : Tingkat Kedatangan atau pelayanan *deterministik* (diketahui konstan)
- K : Distribusi *Erlang* waktu antar kedatangan atau pelayanan
- S : Jumlah fasilitas pelayanan
- I : Sumber populasi atau kepanjangan antrian tak terbatas (*infinite*)
- F : Sumber populasi atau kepanjangan antrian terbatas (*finite*)

Tanda pertama notasi selalu menunjukkan distribusi tingkat kedatangan. Dalam hal ini, M menunjukkan tingkat kedatangan mengikuti suatu probabilitas *Poisson*. Tanda kedua menunjukkan distribusi tingkat pelayanan. Sedangkan M menunjukkan bahwa tingkat pelayanan mengikuti probabilitas *Poisson*.

Ketiga merupakan disiplin pelayanan secara umum yang mencakup ketiga disiplin pelayanan sebelumnya. Tanda keempat menunjukkan jumlah fasilitas pelayanan (*channel*) dalam sistem. Model di atas adalah model yang mempunyai fasilitas tunggal.

Tanda kelima dan keenam menunjukkan apakah sumber populasi dan kepanjangan antrian adalah tak terbatas (I) atau terbatas (F).

2.8.3 Model Antrian (M/M/1) : (FIFO/∞/∞)

Model antrian ini menyatakan kedatangan yang didistribusikan secara *Eksponensial*, stasiun pelayanan tunggal, disiplin antrian adalah FIFO dan antrian tidak terhingga serta sumber populasinya tidak terhingga pula.

Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut :

Distribusi peluang dari langganan dalam sistem.

Intensitas lalu lintas $\rho = \lambda/\mu$.

Bila ρ merupakan peluang bahwa sistem antrian adalah sibuk, maka $(1 - \rho)$ merupakan peluang bahwa sistem tidak dalam keadaan sibuk pada sembarang waktu, artinya $(1 - \rho)$ merupakan peluang bahwa sistem antrian tidak mempunyai antrian.

Misalkan $P(n)$ merupakan peluang adanya n langganan dalam antrian, maka untuk $n = 0$:

$$P_0 = 1 - \rho$$

karena : $P_0 = \rho^n, P_0$

$$P_n = \rho^n \cdot (1 - \rho)$$

Jumlah rata-rata konsumen dalam sistem adalah :

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

Bila $\rho = 1$ atau jumlah laju kedatangan mendekati jumlah laju pelayanan μ , maka jumlah rata-rata dalam sistem berkembang menjadi lebih besar. bila $\lambda = \mu$, atau $\rho = 1$, maka $E(n_t) = \infty$, jumlah rata-rata dalam sistem antrian menjadi besar tidak terhingga. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut ini :

Jumlah rata-rata konsumen dalam antrian adalah :

$$E(n_t) = n = \frac{\lambda}{\mu} = \left(\frac{\lambda}{\mu - \lambda} \right) = \rho \left(\frac{\lambda}{\mu - \lambda} \right) \dots\dots\dots (2)$$

ini diperoleh karena panjang antrian = jumlah dalam sistem dikurangi satu untuk $n >$

0 Oleh karena itu :

$$\begin{aligned} E(n_w) &= 0 \cdot P_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) P_n \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} n P_n - \sum_{n=1}^{\infty} P_n \\ &= E(n_w) - (1 - P_0) = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \frac{\lambda}{\mu} \end{aligned}$$

sehingga jumlah kendaraan dalam antrian adalah :

$$E(n_w) = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

atau

$$E(n_w) = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \dots\dots\dots(3)$$

Jumlah rata-rata yang menerima layanan adalah :

$$E(n_t) = E(n_t) - E(n_w)$$

$$E(n_t) = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho \dots\dots\dots(4)$$

Waktu rata-rata dalam sistem adalah :

Apabila $E(T_t)$ merupakan waktu rata-rata yang dihabiskan dalam sistem, maka :

$$E(T_t) = \frac{E(n_t)}{\lambda}$$

karena :

$$E(n_w) = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad \text{maka,}$$

$$E(T_t) = \frac{\lambda / \mu - \lambda}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda} \dots\dots\dots(5)$$

Waktu rata-rata dalam antrian adalah :

Apabila $E(T_w)$ merupakan panjang rata-rata dari waktu yang dihabiskan oleh seorang langganan dalam antrian, maka :

$$E(T_w) = E(T_1) - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Waktu pelayanan rata-rata adalah :

Apabila $E(T_1)$ merupakan panjang rata-rata dari waktu yang diperlukan langganan untuk menerima pelayanan yang benar-benar, maka :

$$E(T_1) = \frac{E(n_t)}{\lambda} = \frac{\lambda / \mu}{\lambda} = \frac{1}{\mu} \quad \dots\dots\dots(7)$$

Rumus ini dapat diperoleh dari ketentuan bahwa

$$E(T_t) = E(T_1) - E(T_w)$$

2.8.4 Model antrian (M/M/C) ; (FIFO/∞/∞)

Model antrian ini disebut sistem saluran ganda dengan masukan *Poisson*, waktu pelayanan *Eksponensial*, jumlah antrian dalam sistem dan sumber masukan tidak terhingga, disiplin pelayanan adalah FIFO, formulasi matematisnya adalah sebagai berikut :

Distribusi peluang waktu tunggu.

Apabila waktu menunggu dari kedatangan sampai dimulainya pelayanan adalah t , jumlah saluran pelayanan c , dan a adalah suatu harga variabel tertentu maka :

$$P(t > 0) = \frac{\rho \cdot P_0}{c! (1 - \lambda / c\mu)}$$

$$P(t > 0) = e^{-c\mu a (1 - \lambda / c\mu)} \cdot P(t > 0) \dots\dots\dots(8)$$

Waktu tunggu dari suatu kedatangan sampai dengan pelayanan selesai (T), adalah :

$$P(t > a) = e^{-\mu a} \left[1 + \frac{\rho \cdot P_0}{c! (1 - \lambda / c\mu)} \frac{1 - e^{-\mu a (c - 1 - \rho)}}{c - 1 - \rho} \right] \dots\dots\dots(9)$$

Jumlah rata-rata dalam sistem adalah

$$E(n_t) = f(b) \frac{\lambda}{c\mu - \lambda} + \frac{\lambda}{\mu} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

- $f(b)$ = peluang masa sibuk
- λ/μ = jumlah rata-rata dalam mekanisme pelayanan

Jumlah rata-rata dalam antrian adalah

$$E(n_t) = f(b) \frac{\lambda}{c\mu - \lambda} \dots\dots\dots(11)$$

Waktu rata-rata dalam sistem adalah :

$$E(T_1) = f(b) \frac{\lambda}{c\mu - \lambda} + \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots(12)$$

Waktu tunggu rata-rata

$$E(T_w) = f(b) \frac{1}{c\mu - \lambda} \dots\dots\dots(13)$$

2.8.5 Model antrian (M/M/1) : (GD/N/ ∞)

Model antrian ini mempunyai karakter sebagai berikut :

- Fasilitas pelayanan tunggal, distribusi kedatangan poisson, waktu pelayanan eksponensial, jumlah antrian didalam sistem terbatas serta besar populasi masukan tak terhingga.
- Pada sistem ini panjang antrian tidak boleh melebihi jumlah tertentu (yang dinyatakan dalam N) pada waktu yang ditetapkan, yaitu apabila dalam sistem sudah terdapat N-1 langganan dalam antrian, sehingga setiap langganan yang datang pada saat antrian sudah penuh harus meninggalkan sistem tanpa mendapat pelayanan. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{l}
 P_0 \\
 \left. \begin{array}{l}
 = \frac{1}{N-1} \quad , \lambda = \mu \\
 \\
 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}} \quad , \lambda \neq \mu
 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(14)
 \end{array}$$

Demikian juga :

$$P_n \begin{cases} \rho^n P_0, \lambda \neq \mu, n = 0, 1, 2, \dots, N \\ P_0, \lambda = \mu \end{cases} \dots\dots\dots(15)$$

Jumlah rata-rata antrian dalam sistem dapat ditentukan sebagai berikut :

$$E(n_t) = \frac{\rho}{1 - \rho} \frac{1 - (N+1)\rho^N + N\rho^{N+1}}{1 - \rho^{N+1}}$$

$$= \frac{\rho}{1 - \rho} \frac{(N+1)\rho^{N+1}}{1 - \rho^{N+1}} \dots\dots\dots(16)$$

$$E(n_t) = \frac{N}{2}, \text{ untuk } \lambda = \mu \dots\dots\dots(17)$$

Karena kapasitas garis tunggu adalah terbatas, maka laju kedatangan, λ akan menjadi nol jika tunggu sudah penuh. Oleh karena itu laju kedatangan yang dihitung adalah laju kedatangan yang efektif saja, yang ditulis λ_{eff} , yaitu λ .

Karena :

$$E(n_w) = E(n_t) - \frac{\lambda}{\mu}$$

Maka

$$\lambda = \lambda_{eff} = \mu (E(n_t) - E(n_w))$$

Dan juga diketahui bahwa :

$$E(n_w) = E(n_t) - (1 - P_0)$$

Maka bersama-sama dengan rumus (14) diperoleh :

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_{\text{eff}} = \mu \{ E(n_t) - (E(n_t) - (1 - P_0)) \} \\ &= \mu (1 - P_0) \end{aligned} \dots\dots\dots(18)$$

Kemudian juga terdapat :

$$E(T_t) = \frac{E(n_t)}{\lambda_{\text{eff}}}$$

dan :

$$E(w) = \frac{E(n)}{E_{\text{eff}}} \dots\dots\dots(19)$$

2.8.6 Model antrian (M/M/C) ; (GD/N /∞)

Model antrian ini mempunyai karakter sebagai fasilitas pelayanan ganda, distribusi kedatangan *Poisson*, waktu pelayanan *Eksponensial*, disiplin pelayanan bersifat umum serta jumlah antrian dalam sistem terbatas sedangkan besarnya populasi sumber tak berhingga.

Apabila : c = Jumlah pelayanan.

N = Jumlah kendaraan dalam sistem

Maka formulasi matematisnya adalah sebagai berikut :

Pada model ini terdapat sifat-sifat, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Laju kedatangan, } \lambda &= \begin{cases} \lambda, \text{ bila } n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ 0, \text{ bila } n = N, N+1, \dots \end{cases} \\ \text{Laju kedatangan, } \lambda &= \begin{cases} n\mu, \text{ bila } n = 0, 1, 2, \dots, c \\ c\mu, \text{ bila } n = c+1, c+2, \dots \end{cases} \end{aligned}$$

Kalau $1 < c < N$, maka diperoleh :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} (\rho)^n + \frac{1}{c!} (\rho)^n \frac{c\mu}{c\mu - \lambda}} \dots\dots\dots(20)$$

Dan juga

$$P(n) = \begin{cases} \frac{1}{n!} (\rho)^n P_0 & , \text{ bila } n \leq c \\ \frac{1}{c! c^{n-c}} & , \text{ bila } c \leq n < N \\ 0 & , \text{ bila } n > N \end{cases}$$

Karena itu dapat ditentukan bahwa :

$$E(n_w) = \frac{\rho^2 (\rho / c) P_0}{c! (1 - \rho/c)^2} \{1 - (\rho/c)^{N-c} - (N-c) (\rho/c)^{N-c} (1-\rho/c)\} \dots\dots\dots(21)$$

$$E(n_t) = E(n_w) + c - \sum_{N=0}^{c-1} (c-n) P_n \dots\dots\dots(22)$$

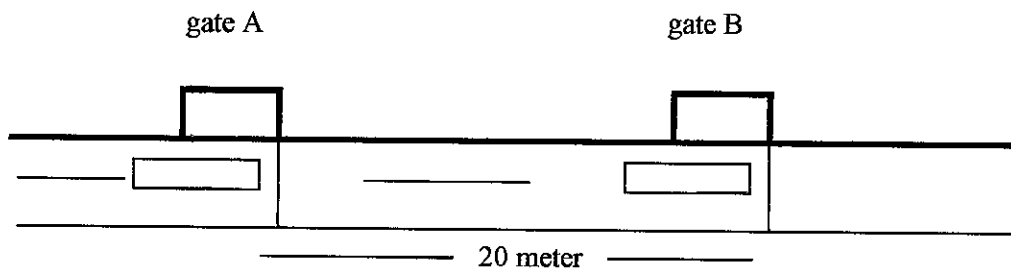
$$\lambda_{teff} = \mu \{ c - \sum_{N=0}^{c-1} (c-n) P_n \} \dots\dots\dots(23)$$

$$E(T_w) = \frac{E(n_w)}{\lambda_{teff}} \dots\dots\dots(24)$$

$$E(T_t) = \frac{E(n_t)}{\lambda_{teff}} \dots\dots\dots(25)$$

2.8.7 Model Antrian Sistem *Tandem*

Bentuk dasar dari sistem *Tandem* adalah dua kendaraan bergerak pada dua gerbang tol yang berurutan secara seri depan belakang, dan setiap pengumpul tol akan melakukan transaksi tol masing-masing satu kendaraan pada waktu masuk kendaraan yang sama.



Gambar 2.6 : Gerbang Tol Sistem *Tandem*

Yang perlu diperhatikan pada sistem ini, jika transaksi pada gerbang tol B lebih lama daripada di gerbang tol A, maka pertambahan waktu menunggu dalam antrian untuk gerbang tol A bertambah lebih lama, apalagi jika ada sebuah trailer yang melakukan transaksi pada gerbang B akan menghalangi kendaraan lain yang akan melakukan transaksi pada gerbang A. Untuk mengatasi hal ini maka sebaiknya diberi suatu daerah penghalang dengan jarak sekita 20 meter dari gerbang yang satu ke gerbang yang lain.

Dengan adanya daerah penghalang dengan jarak 20, jika ada kelambatan waktu pelayanan pada gerbang B, maka sementara itu di gerbang A dapat dilayani dua kendaraan, kemudian tiga kendaraan tadi bisa keluar dari gerbang secara bersamaan. Juga memecahkan masalah jika ada trailer yang melakukan di gerbang B, karena jarak 20 meter tetap akan memberikan ruang untuk kendaraan lain antri dibelakangnya untuk melakukan transaksi. Prosedur pada sistem *Tandem* hampir sama dengan waktu pelayanan sistem single, hanya bedanya kendaraan datang, menunggu dalam antrian tetapi pada saat membayar langsung dapat dilayani dua sampai tiga kendaraan sekaligus, baru kemudian meneruskan perjalanan.

Rumus-rumus untuk penambahan kapasitas pada gerbang tol sistem *Tandem* ini dikemukakan oleh *Lewis D. Rubinstein* untuk gerbang tol di *Golden Gate Bridge San Francisco* adalah sebagai berikut :

- ***Tandem* tanpa daerah penghalang**

$$1 \text{ cap} = \frac{100 * 2T_c}{T_c + T_m + 0,4 S_d(T_c)} = 1$$

- ***Tandem* dengan daerah penghalang**

$$1 \text{ cap} = \frac{100 * 2T_c}{T_c + T_m} = 1$$

keterangan :

1 cap = penambahan kapasitas dalam persen

c = waktu keseluruhan atau waktu pelayanan per satuan kendaraan pada gerbang single

m = waktu kendaraan mendekat

s = waktu pelayanan dengan $c = m + s$

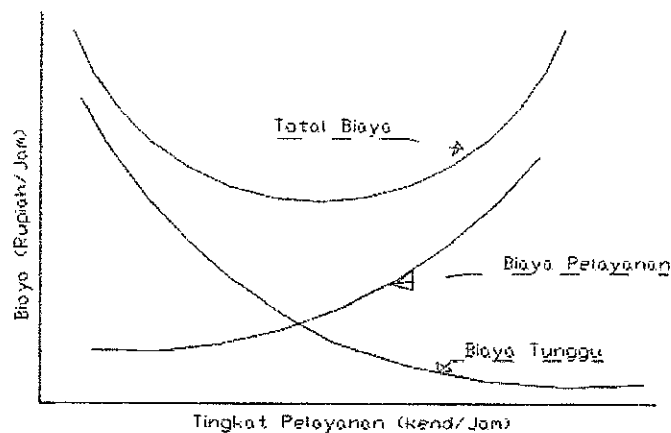
Sd(c) = standard deviasi dari c

Sistem *Tandem* dengan mempergunakan daerah penghalang belum lazim digunakan di Indonesia tetapi untuk memecahkan kemacetan lalu lintas pada jalan non tol akibat panjang antrian pada gerbang tol mungkin dapat dilaksanakan sistem *Tandem* tanpa daerah penghalang, ini pasti akan menambah kapasitas gerbang untuk dapat melayani jumlah kendaraan untuk masuk ke jalan tol

2.9 Model Ongkos Dari Antrian

Model ongkos dari antrian ini digunakan untuk mendapatkan tingkat pelayanan dengan hasil yang optimal, yang ditinjau baik dari nilai pelayanan maupun jumlah pelayanan yang ada dalam suatu sistem. Hal ini dapat dicapai menyeimbangkan antara ongkos pelayanan dengan ongkos tunggu tiap pelanggan persatuan waktu (*P. Siagian 1997 H-438*).

Ongkos pelayanan ini tergabung dalam pengoperasian fasilitas, sedangkan ongkos tunggu menyatakan ongkos menunggu bagi pelanggan sampai dengan pelayanan selesai. Menambah atau meningkatkan pelayanan berarti mengurangi waktu tunggu atau menambah pelayanan dan sebaliknya. Keadaan tersebut digambarkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 : Model Biaya Antrian

Tingkat pelayanan yang optimum dicapai pada ongkos gabungan yang paling rendah, ongkos gabungan ini berupa ongkos tunggu persatuan waktu dengan ongkos pengoperasian fasilitas pelayanan persatuan waktu.

Seperti telah disebutkan dimuka bahwa ada dua kriteria yang dapat dioptimalkan yaitu:

2.9.1 Nilai Pelayanan

Untuk menaikkan nilai pelayanan ini jumlah pelayanan tetap, sedangkan keadaan optimum dapat dicapai dengan merubah-rubah nilai pelayanan.

Apabila :

C_1 = Ongkos pelayanan tiap pelanggan per satuan waktu

C_2 = Ongkos tunggu tiap pelanggan per satuan waktu

$T\{C(\mu)\}$ = Ongkos total dengan laju pelayanan μ .

$C_2E(\mu)$ = Ongkos tunggu per satuan waktu.

Maka :

$$T\{C(\mu)\} = C_1\mu + C_2E(\mu) \quad \dots\dots\dots (26)$$

2.9.2 Jumlah Pelayanan

Pengoptimalkan tingkat pelayanan ini dengan merubah-rubah jumlah pelayanan dengan menganggap kedatangan dan pelayanan tetap.

Apabila :

c = Jumlah optimal pelayanan

C_1 = Ongkos tiap pelayanan tambahan per satuan waktu

C_2 = Ongkos tunggu tiap pelanggan per satuan waktu

$T\{C(c)\}$ = Ongkos total dengan jumlah pelayanan c .

Maka :

$$T\{C(c)\} = C_1.c + C_2 E_c(n) \dots\dots\dots(27)$$

$E_c(n)$ berlaku untuk sistem dengan pelayanan ganda.

BAB III

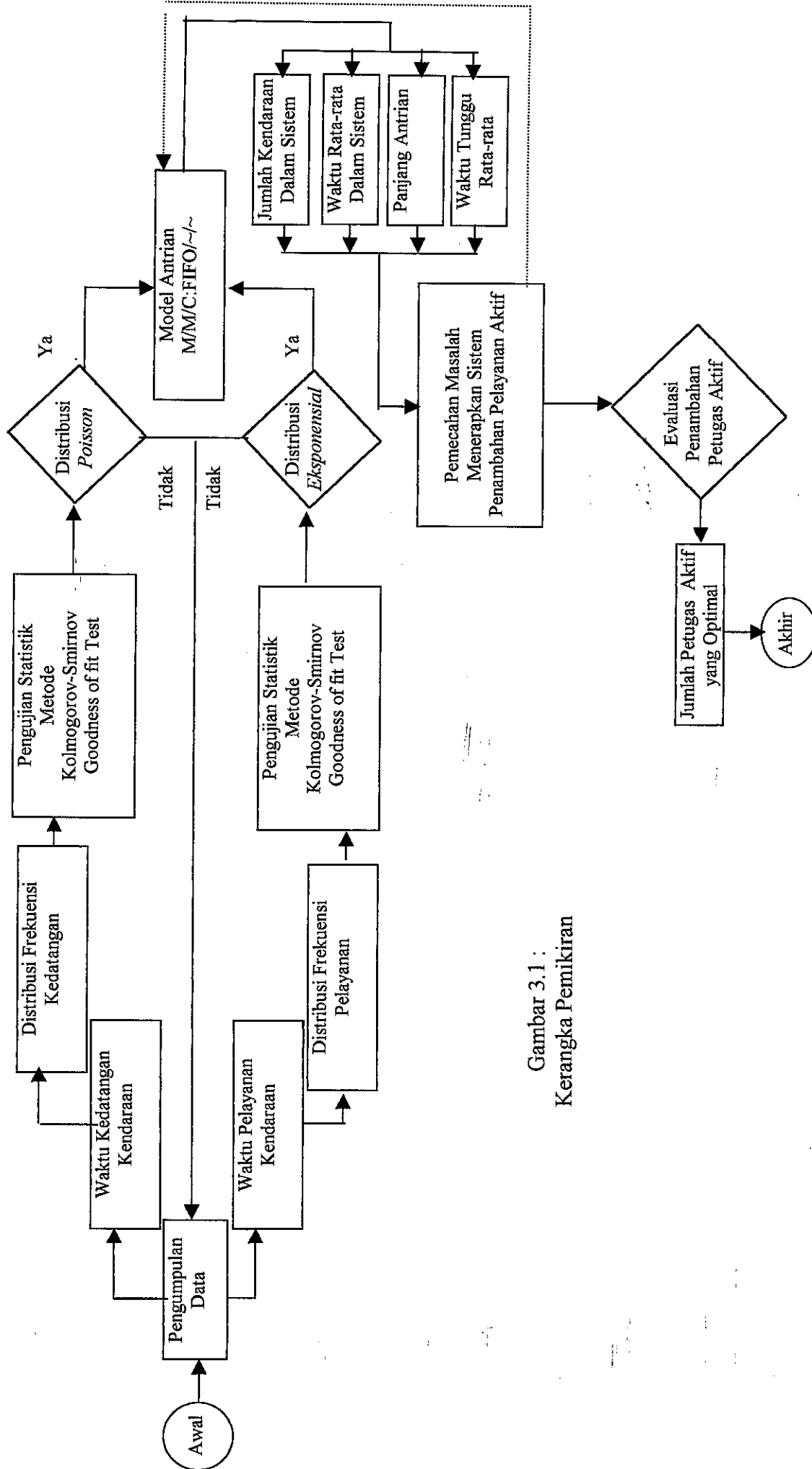
METODOLOGI

3.1 Kerangka Pemikiran

Untuk melakukan suatu penelitian ilmiah, kerangka pemikiran merupakan suatu hal yang sangat penting. Konsep penelitian yang akan dilakukan tentunya harus terlihat jelas dalam kerangka pemikiran. Setiap pembaca yang ingin mengetahui lebih jelas dan ringkas tentang apa yang dilakukan oleh peneliti tergambar di kerangka pemikiran.

Hal-hal yang telah dilakukan dan diperhatikan oleh peneliti dalam menyusun kerangka pemikiran ini adalah, jenis data yang akan diperoleh baik primer maupun sekunder. Data yang akan dikumpulkan nantinya, baik survei lapangan maupun yang dieproleh dari instansi yang terkait selanjutnya diproses secara ilmiah. Pada proses ini data tersebut, dilakukan suatu analisis-analisis dengan metoda-metoda yang dapat diterima secara ilmiah.

Hasil analisis-analisis data yang akan dilakukan, peneliti diharapkan dapat mengidentifikasi permasalahan Kapasitas Gerbang Tol Pondok Gede Timur untuk Jalan Tol Jakarta-Cikampek. Permasalahan Kapasitas Gerbang Tol yang telah teridentifikasi masalahnya selanjutnya peneliti akan membuat alternatif-alternatif pemecahan masalah. Sebelum pemecahan masalah diterapkan lapangan, tentunya alternatif pemecahan masalah tersebut dievaluasi terlebih dahulu. Evaluasi alternatif pemecahan masalah sangat penting untuk memperoleh pemecahan masalah yang terbaik dan yang dapat diterima oleh semua pihak (lihat Gambar 3.1).



Gambar 3.1 : Kerangka Pemikiran

3.2 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ilmiah, pengumpulan data merupakan awal dari suatu penelitian yang harus dilakukan oleh peneliti. Data yang dikumpulkan terdiri dari dua katagori, yakni data primer dan sekunder.

3.2.1 Data Sekunder

Untuk mendukung penelitian ini, maka selanjutnya data sekunder dikumpulkan seperti tingkat keberangkatan selama 16 (enam belas) jam atau 2 (dua) shift dan denah Gerbang Tol Pondok Gede Timur khususnya gerbang yang melayani kendaraan yang masuk/keluar Jalan Tol Jakarta-Cikampek. Data ini dikumpulkan dari instansi yang pengelola, dimana peneliti langsung ke Kantor PT. Jasa Marga (Persero) Cabang Jakarta-Cikampek.

Tingkat keberangkatan hari sibuk diasumsikan pada hari senin s/d rabu, oleh karenanya peneliti mengumpulkan data tingkat keberangkatan untuk hari tersebut.

3.2.2 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari lapangan dengan melakukan survei atau pengamatan. Sehubungan dengan topik dan ruang lingkup penelitian ini, maka peneliti akan mengumpulkan data primer, yaitu Inventarisasi Gerbang Tol Pondok Gede Timur, Jangka Waktu Kedatangan dan Waktu Pelayanan Gardu.

Namun sebelum melakukan survei tersebut terlebih dahulu peneliti melakukan survei pendahuluan untuk mengetahui situasi lapangan secara umum.

a. Survei Inventarisasi Gerbang Tol Pondok Gede Timur

Tujuan :

Survei inventarisasi bertujuan untuk :

- mengidentifikasi gerbang utama dan satelit;
- mengidentifikasi gerbang yang melayani kendaraan yang menggunakan Jalan Tol Jakarta-Cikampek;
- mengetahui jumlah gardu untuk setiap gerbang;
- mengidentifikasi gardu yang melayani pengemudi untuk penyerahan tiket/ pembayaran (*exit*) dan untuk pengambilan tiket tanda masuk (*entrance*);
- mengetahui gardu tetap dan tidak tetap;
- mengidentifikasi gardu yang melayani tiket langganan dan pembayaran uang pas dan gardu yang melayani dengan uang tidak pas.

Persiapan :

Sebelum melakukan survei ini, terlebih dahulu peneliti mempersiapkan peralatan yang diperlukan, yakni :

- sepeda motor
- kertas
- alas tulis (*clip board*)
- alat tulis atau pulpen

Teknik Survei :

Setelah peralatan telah dipersiapkan, selanjutnya peneliti melakukan pengumpulan data lapangan. Data yang dikumpulkan di lapangan untuk mendukung

penelitian adalah sebagai berikut ini :

- sistem sirkulasi arus lalu lintas di gerbang tol;
- mencacah jumlah gardu untuk setiap gerbang;
- mencatat kode nomor tiap-tiap gardu;
- membedakan gardu tetap dan tidak tetap;
- titik lokasi yang tepat untuk melakukan survei tingkat kedatangan dan keberangkatan;
- mencacah gardu langganan atau uang pas tingkat dan gardu bukan langganan.

b. Survei Volume Lalu Lintas Selama 16 jam

Tujuan :

Survei ini bertujuan untuk :

- mengetahui fluktuasi arus lalu lintas selama 16 jam dengan periode waktu 1 (satu) jam, yakni jam 05.00 s/d 21.00;
- memperoleh volume lalu lintas jam sibuk;
- mempersiapkan pengumpulan data tingkat kedatangan dan pelayanan.

Persiapan :

Sebelum melakukan pengumpulan data, terlebih dahulu melakukan persiapan seperti *surveyor* dan peralatan. Peneliti melakukan pelatihan survei terhadap *surveyor* yang akan membantu pengumpulan data volume lalu lintas. Sedangkan peralatan yang akan dipersiapkan adalah :

- Alat Pencacah (*counter*)
- Alas Tulis (*clip board*)

- formulir yang telah didesain sedemikian rupa, sehingga dari formulir yang akan diisi oleh oleh *surveyor*, akan diketahui jumlah lalu lintas untuk tiap-tiap golongan tiap jam selama 16 (enam belas) jam;
- pulpen;
- jam tangan atau *stop watch* ;
- dan lain-lain.

Teknik Survei

Dengan pertimbangan data sekunder, peneliti menentukan hari survei berdasarkan volume lalu lintas pada hari tersibuk pada hari senin s/d rabu. Apabila diantara hari tersebut tidak terjadi perbedaan arus yang sangat berarti, maka peneliti memilih salah satu hari tersebut tanpa mempertimbangkan hari tersibuk.

Mengingat ruang lingkup penelitian, bahwa penelitian dilakukan pada Gerbang Pembayaran Pondok Gede Timur (tol Jakarta-Cikampek), maka survei volume lalu lintas hanya dilakukan terhadap arus lalu lintas yang menuju gerbang tersebut.

Jumlah *surveyor* yang akan melakukan pencacahan lalu lintas adalah sebanyak 4 (empat) orang. Tiap-tiap dua orang melakukan pencacahan lalu lintas selama 1 (satu) shift, yakni 2 (dua) orang pertama bekerja dari jam 05.00 s/d 13.00 dan orang kedua bekerja dari jam 13.00 s/d 21.00. Sehubungan arus lalu lintas sedemikian besar dan untuk meningkatkan ketelitian data, maka tiap-tiap *surveyor* selama 1 (satu) shift dibebankan tugas berdasarkan golongan kendaraan, yakni 1 (satu) orang mencacah kendaraan golongan I dan 1 (satu) orang lagi mencacah kendaraan golongan IIA dan IIB.

Posisi *surveyor* untuk melakukan pencacahan ditempatkan sedemikian rupa sehingga dapat memantau kendaraan yang melewati titik tersebut. Titik tersebut tidak begitu jauh dan juga tidak begitu dekat dari gerbang tol. Adapun posisi tersebut adalah, dimana kendaraan diasumsikan belum melakukan antri atau kendaraan masih berjalan. Berdasarkan pengamatan sehari-hari bahwa kendaraan antri sejauh ± 2 km dari gerbang, oleh karenanya pengamat juga akan ditempatkan sekitar lokasi tersebut. Pekerjaan yang dilakukan oleh pengamat shift II merupakan kesinambungan dari pekerjaan Shift I.

c. Survei Tingkat Kedatangan Jam Sibuk

Tujuan :

Survei ini bertujuan untuk mengumpulkan data tingkat kedatangan pada jam sibuk.

Persiapan :

Persiapan pengumpulan data tingkat kedatangan jam sibuk ini adalah sebagaimana persiapan pengumpulan data volume lalu lintas selama 16 (enam belas) jam. Peneliti melakukan pelatihan survei terhadap *surveyor* yang akan membantu pengumpulan data volume lalu lintas. Sedangkan peralatan yang akan dipersiapkan adalah :

- Alat Pencacah (*counter*)
- Alas Tulis (*clip board*)
- formulir yang telah didesain sedemikian rupa, sehingga dari formulir yang akan diisi oleh *surveyor*, akan diketahui jumlah lalu lintas untuk tiap-tiap golongan tiap 5 (lima) menit selama 2 (dua) jam puncak;

- pulpen;
- jam tangan atau *stop watch* ;
- dan lain-lain.

Teknik Survei :

Dengan pertimbangan data volume lalu lintas 16 (enam belas) jam, peneliti menentukan jam survei berdasarkan volume lalu lintas pada 2 (dua) jam sibuk diantara jam 05.00- 21.00.

Jumlah *surveyor* yang akan melakukan pencacahan lalu lintas adalah sebanyak 3 (tiga) orang. Untuk meningkatkan ketelitian data, maka dua orang melakukan pencacahan lalu lintas, yakni satu orang bertugas untuk mencacah kendaraan golongan I dan satu orang melakukan pencacahan terhadap kendaraan golongan IIA dan IIB yang melewati titik yang telah direncanakan. Satu orang lagi, adalah bertugas untuk memperhatikan waktu dan sekaligus memberikan aba-aba pergantian periode waktu. Pergantian aba-aba dan pengisian formulir dilakukan setiap 5 (lima) menit sekali selama dua jam sibuk. Posisi *surveyor* untuk melakukan pencacahan adalah sama dengan posisi pencacahan lalu lintas selama 16 (enam belas) jam.

c. Survei Tingkat Pelayanan Jam Sibuk

Tujuan :

Survei ini bertujuan mengetahui kemampuan gerbang untuk melayani kendaraan atau lama kendaraan dilayani pada jam sibuk

Persiapan :

Persiapan pengumpulan data tingkat pelayanan jam sibuk ini adalah persiapan *surveyor* dan peralatan. Peneliti melakukan pelatihan survei terhadap *surveyor* yang akan membantu pengumpulan data tingkat pelayanan jam sibuk.

Peralatan yang harus disediakan pada survei ini adalah :

- *stop watch*
- alas tulis (*clip board*)
- pulpen;
- formulir yang telah didesain sedemikian rupa, sehingga dari formulir yang akan diisi oleh *surveyor* akan diketahui urutan kendaraan yang diamati (No. Observasi) berikut waktu keberangkatannya;
- dan lain-lain.

Teknik Survei :

Dengan pertimbangan data volume lalu lintas 16 (enam belas) jam, peneliti menentukan jam survei juga berdasarkan volume lalu lintas pada 2 (dua) jam sibuk diantara jam 05.00- 21.00.

Jumlah gardu pada gerbang penyerahan tiket adalah sebanyak 13 (tiga belas) gardu. Setiap gardu diamati oleh 2 (dua) *surveyor*, oleh karena itu *surveyor* yang akan melakukan pengamatan sebanyak 26 (dua puluh) enam *surveyor*. Tugas pengamat setiap gardu adalah, 1 (satu) orang mengamati waktu berangkat atau keluar gardu untuk setiap kendaraan. 1 (satu) orang lagi mencatat waktu keberangkatan atau keluar gardu setiap kendaraan yang disampaikan oleh pengamat pertama.

Posisi *surveyor* ditempatkan sedemikian rupa sehingga mampu memantau semua kendaraan yang diamati. Pandangan *surveyor* tertuju pada titik atau garis yang telah ditetapkan, dimana titik tersebut berada lajur lalu lintas dekat petugas. Titik atau garis tersebut juga merupakan suatu pemat dimana pengemudi telah selesai melakukan transaksi dengan petugas dan siap untuk berangkat.

Setiap data yang telah terkumpul, selanjutnya dimasukkan kedalam amplop yang telah disediakan, dimana setiap amplop berisikan data satu gardu selama jam sibuk. Hal ini sangat penting untuk mempermudah pemasukan data ke dalam komputer.

3.3 Penentuan Distribusi Frekuensi Tingkat Kedatangan

Terhadap data kedatangan yang dikumpulkan dari hasil pengamatan, dilakukan penyajian statistik sedemikian rupa. Data yang terkumpul tersebut perlu disederhanakan kedalam bentuk yang mudah dimengerti serta berguna bagi tujuan penelitian. Penyederhanaan data dapat dilakukan dengan membuat daftar distribusi frekuensi. Penentuan Jumlah Kelas.

Jumlah kelas ditentukan dengan pertimbangan waktu, dimana jumlah kelas tingkat kedatangan selama jam sibuk adalah 24 kelas. Karena setiap kedatangan kendaraan dihitung selama 5 (lima) menit selama 2 (dua) jam sibuk. Jumlah kedatangan selama 5 (lima) menit merupakan frekuensi kedatangan.

Terhadap data yang telah disajikan dalam bentuk tabel, selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik sehingga dapat ditarik kesimpulan apakah pola kedatangan menyerupai distribusi Normal, *Poisson*, *Binomial*, *Generalized Poisson* dll.

3.4 Penentuan Distribusi Frekuensi Waktu Pelayanan

Terhadap data kedatangan yang disajikan bentuk tabel distribui, maka terhadap data tingkat pelayanan juga dilakukan hal yang sama. Akan tetapi langkah menentukan ffrekuensinya berbeda antara yang satu dengan yang lain. Untuk menentukan distribusi frekwnsi tingkat pelayanan adalah sebagai berikut ini :

- Penentuan Jumlah Kelas

Jumlah kelas tidak terlalu banyak dan tetapi juga tidak terlalu sedikit. Penentuan jumlah kelas pada tingkat pelayanan ini dilakukan dengan metoda yang telah diuraikan pada Bab II sebelumnya. Kelas ini merupakan kelas yang menyatakan waktu pelayanan yang dilakukan di gerbang pembayaran atau penyerahan tiket.

- Penentuan Interval Kelas dan Batas Kelas

Penentuan interval kelas dan batas kelas bertalian erat dengan jumlah kelas. Disamping itu nilai terkecil dan terbesar waktu merupakan faktor-faktor yang sangat menentukan untuk mengetahui interval kelas. Umumnya batas kelas tidak jauh pada nilai maksimum dan maksimum waktu pelayanan. Untuk mengetahui secara pasti telah diuraikan pada Bab II sebelumnya.

- Penentuan Titik Tengah

Dalam pengukuran yang bersifat deskriptif, titik tengah dianggap sebagai nilai yang representatif bagi semua nilai yang didistribusikan sepanjang interval kelas tertentu. Menentukan nilai tengah ini dapat dilakukan dengan meratakan nilai kedua batas kedau kelas.

Setelah diketahuinya jumlah kelas, interval kelas dan batas kelas selanjutnya dilakukan rekapitulasi data pada lampiran B1. Hasil rekapitulasi terlihat pada tabel,

yang mana pada tabel tersebut dapat diketahui frekuensi tingkat pelayanan tiap-tiap kelas dalam suatu interval waktu tertentu.

3.5 Metoda Uji Kecocokan

Uji kecocokan ini bertujuan untuk membandingkan frekuensi sebenarnya hasil pengamatan dengan hasil yang diharapkan berdasarkan model atau teoritis. Pendekatan prakiraan K. Pearson, yakni dengan metoda *Chi-Kuadrat* digunakan untuk mengetahui diterima atau tidaknya suatu distribusi data.

Pada umumnya pola tingkat kedatangan menyerupai grafik *Poisson*, *Binomial*, *Generalized Poisson* dan lain-lain. Sedangkan pola tingkat pelayanan umumnya menyerupai grafik *eksponensial*, Distribusi *Erlang* dan lain-lain. Terhadap data yang telah terkumpul baik kedatangan maupun pelayanan dilakukan penyajian data dalam bentuk grafik agar diketahui kecenderungan dari salah satu grafik teoritis disteibusi yang ada.

Uji kecocokan distribusi dengan *Chi-Kuadrat* perlu diketahui bahwa derajat kebebasan yang digunakan adalah $dk = k-2$, dimana k adalah jumlah kelas.

Secara spsesifik manfaat dari uji *Chi-Kuadrat* ini adalah sebagai berikut ini :

- Menguji proporsi untuk data *multinom*
- Menguji kesamaan rata-rata distribusi *Poisson*
- Menguji *independen* antara dua faktor di dalam daftar kontingensi $B \times K$
- Menguji kesesuaian antara data hasil pengamatan dengan model distribusi dari mana data itu diduga diambil, dan
- Menguji model distribusi berdasarkan data hasil pengamatan.

Apabila data yang telah diuji dinyatakan diterima, maka data tersebut selanjutnya dianalisa guna mengetahui nilai rata-rata baik terhadap kedatangan maupun pelayanan. Dan nilai rata-rata ini akan digunakan selanjutnya untuk analisis terhadap permasalahan-permasalahan pelayanan Gerbang Tol Pondok Gede Timur.

3.6 Identifikasi Masalah

Baik buruknya suatu unjuk kerja harus dinilai pelayanan yang ada saat di gardu pembayaran atau penyerahan tiket di Gerbang Tol Pondok Gede Timur. Permasalahan yang dinilai di gerbang tol Pondok Gede Timur terfokus pada antrian. Sebagai indikasi untuk menilai permasalahan adalah :

- jumlah kendaraan dalam sistem
- panjang antrian
- waktu rata-rata dalam sistem
- waktu tunggu rata-rata dalam antrian

Untuk mengetahui parameter-paramter yang digunakan untuk mengetahui indikasi-indikasi yang telah uraikan tersebut adalah dapat dilihat pada Bab II sebelumnya.

3.7 Pemecahan Masalah

Untuk melakukan pemecahan masalah tidak mungkin lagi menambah gerbang tol, hal ini terlihat pada penggunaan lahan sekitarnya. Untuk mengoptimumkan gerbang tol tersebut hanya mungkin dilakukan dengan

meningkatkan sistem pelayanan. Untuk itu dalam pemecahan masalah diterapkan sistem penambahan pelayanan aktif.

3.8 Evaluasi

Tahap ini merupakan tahap evaluasi terhadap jumlah penambahan petugas aktif, dimana setiap penambahan petugas aktif dilihat dari aspek pendekatan model antrian, biaya setiap sistem maupun keuntungan yang diperoleh oleh pengguna jasa jalan tol. Hasil evaluasi ini merupakan informasi untuk dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan.

3.9 Rekomendasi

Rekomendasi merupakan tahap akhir dari penelitian ini, dimana didalamnya terdapat pertimbangan-pertimbang yang logis untuk memperoleh jumlah petugas aktif yang paling optimal. Dari hasil-hasil pengamatan, analisis dan evaluasi merupakan bahan utama yang digunakan untuk melakukan pertimbangan-pertimbangan untuk memperoleh jumlah penambahan petugas aktif yang optimal. Rekomendasi ini juga merupakan dasar yang digunakan untuk akan direalisasikan di lapangan.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Hasil Pengamatan

4.1.1 Letak dan Gerbang Tol Pondok Gede Timur

Salah satu jalan yang menghubungkan arus lalu lintas dari Jakarta ke Cikampek atau sebaliknya adalah jalan tol, yang sehari-hari disebut Jalan Tol Cikampek. Salah satu wilayah yang dibelah jalan tol tersebut adalah Kotamadya Bekasi. Kendaraan yang menggunakan jalan tol dikenakan biaya yang telah ditetapkan, oleh karena itu pada jalan tol diadakan tempat-tempat transaksi baik pembayaran maupun pengambilan tiket masuk. Untuk sehari-harinya, tempat transaksi tersebut disebut Gerbang Tol.

Untuk masuk dan keluar Jalan Tol Cikampek terdapat beberapa tempat transaksi atau gerbang tol. Penulis melakukan pengamatan terhadap salah satu gerbang tol tersebut, yakni Gerbang Tol Pondok Gede Timur yang letaknya di :

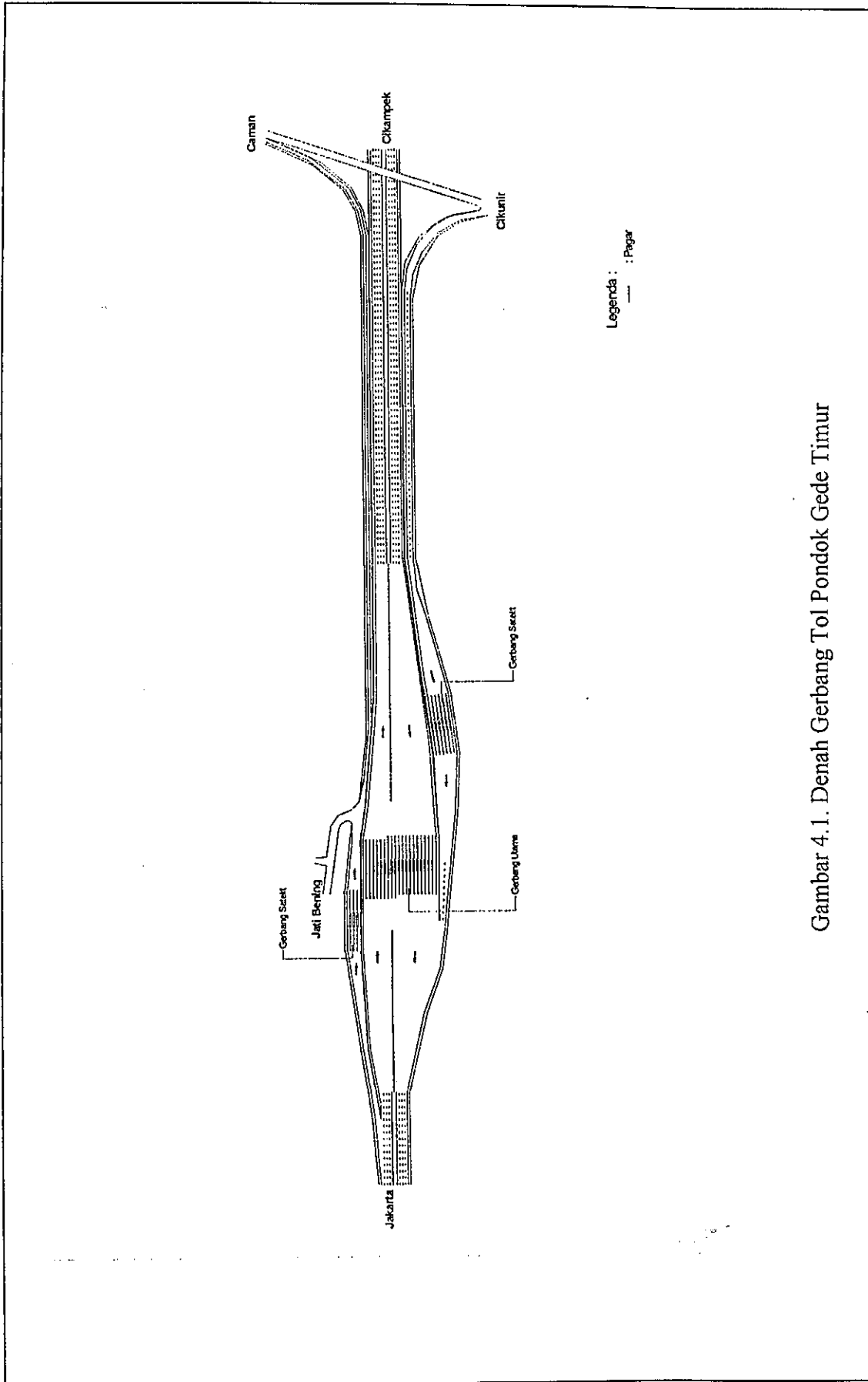
- Kotamadya Bekasi,
- Kecamatan Pondok Gede,
- Kelurahan Jati Bening.

Untuk lebih jelasnya letak Gerbang Tol Pondok Gede Timur tersebut dapat dilihat pada gambar : 4.1. Di sekitar Gerbang Tol atau sebelah utara terdapat pemukiman Jatiwaringin Permai, Curug Indah, Permata Timur dan lain-lain, sedangkan sebelah selatan terdapat Universitas Islam As. Syafilyah, Pd. Pesantren Putri As. Syafilyah, Universitas Kristen dan lain-lain.

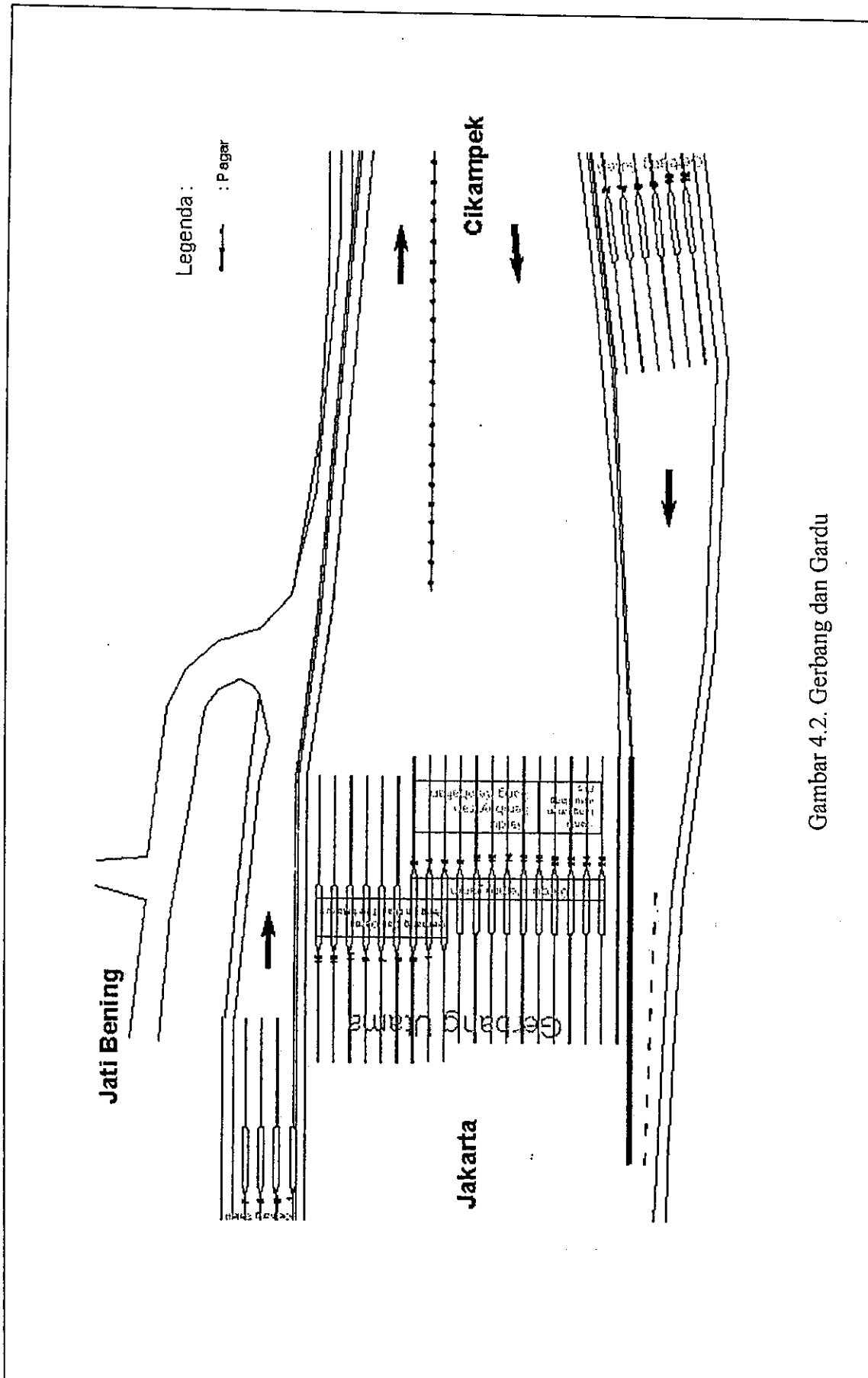
4.1.2 Gerbang dan Gardu

Gerbang Tol Pondok Gede Timur terdiri dari 3 (tiga) gerbang, yakni 1 (satu) gerbang utama dan 2 (dua) gerbang satelit. Sejauh \pm 200 meter ke arah timur dan \pm 50 meter ke arah barat gerbang utama merupakan letak gerbang satelit. Gerbang satelit merupakan bagian dari sistem Jalan Tol Kota sedangkan gerbang utama bagian dari sistem Jalan Tol Jakarta Cikampek. Gerbang utama berfungsi untuk tempat melakukan transaksi pengambilan tiket masuk dan penyerahan tiket (pembayaran). (lihat gambar 4.2)

Untuk mempermudah pengelolaan jasa jalan tol, maka setiap gardu ditandai dengan suatu kode nomor. Untuk gardu yang bernomor genap (gardu *exit*) berfungsi sebagai transaksi penyerahan tiket (pembayaran). Gardu yang bernomor ganjil (gardu *entrance*) berfungsi sebagai pengambilan tiket. Sistem penomoran gardu pada gerbang utama adalah sebagai berikut : angka paling besar berada di paling pinggir dari jalan sedangkan di tengah adalah angka paling rendah. Untuk gardu keluar, bila diurut dari selatan adalah angka 26, 24, 22 s/d 02, sedangkan untuk gardu masuk, bila diurut dari utara adalah 15, 13, 11, 09, 07 s/d 01 (lihat gambar 4.3). Melihat gerbang utama berjumlah 19 (sembilan belas), maka lajur arus lalu lintas yang dilayani pada gerbang tersebut adalah sebesar 19 (sembilan belas) pula. Pengemudi kendaraan yang akan memperoleh tiket masuk disediakan 6 (enam) gardu tetap dan untuk menyerahkan tiket (pembayaran) disediakan 11 (sebelas) gardu tetap. 2 (dua) gardu tidak tetap, yakni gardu 01,02 dan 03,04 berubah fungsi tempat penyerahan tiket (pembayaran) atau pengambilan tiket masuk, dimana fungsi sangat tergantung dengan kondisi lalu lintas.



Gambar 4.1. Denah Gerbang Tol Pondok Gede Timur



Gambar 4.2. Gerbang dan Gardu

4.1.3 Sistem Pelayanan

Sebagaimana yang telah diuraikan pada Bab 2 sebelumnya, bahwa sistem pembayaran jasa jalan tol adalah sistem tertutup dan sistem terbuka. Pada Gerbang Tol Pondok Gede Timur diterapkan sistem tertutup, dimana pengemudi kendaraan yang arah arus lalu lintasnya menuju DKI Jakarta, sebelum keluar dari Jalan Tol Jakarta-Cikampek terlebih dahulu menyerahkan tiket sekaligus menyerahkan uang dengan jumlah tertentu kepada petugas gardu keluar (*exit*). Sedangkan untuk pengemudi yang arah arus lalu lintasnya menuju timur, seperti Kota Bekasi, Cibitung, Karawang, Cikampek dll, sebelum masuk jalan tol terlebih dahulu memperoleh tiket tanda masuk dari petugas gardu masuk (*entrance*).

Telah diuraikan sebelumnya bahwa setiap lajur lalu lintas pada Gerbang Tol Pondok Gede Timur dilayani satu gardu. Petugas yang bekerja melayani di gerbang pembayaran adalah satu orang untuk satu gardu, dengan demikian petugas yang melakukan transaksi pembayaran adalah sebanyak 13 (tiga belas) orang untuk *shift* I, 13 (tiga belas) orang juga untuk *shift* II, sedangkan untuk *shift* III tidak semua gardu dibuka untuk melayani pengemudi kendaraan. Dengan demikian petugas yang bekerja pada *shift* III kurang dari 13 (tiga belas) orang, hal ini cukup beralasan mengingat lalu lintas cukup sepi atau tidak padat.

Kita telah ketahui bahwa, untuk gardu pengambilan tiket tanda masuk adalah 5 (lima) unit, namun setiap lajur lalu lintas tidak dilayani oleh seorang petugas sebagaimana pada gardu keluar (*exit*). Jumlah petugas yang menyerahkan tiket tanda masuk sangat tergantung dari kondisi lalu lintas. Pada saat kondisi lalu lintas sibuk, baik pagi maupun sore hari jumlah petugas lebih dari jumlah gardu masuk. Dimana petugas tambahan ditempatkan di dekat gardu yang sejajar dengan batas lajur lalu

lintas yang akan masuk dalam sistem jalan tol. Petugas tambahan tersebut mendekati pengemudi untuk meyerahkan tiket tanda masuk. Petugas bekerja selama satu *shift* per orang untuk melayani pengguna jasa tol, dimana satu *shift* adalah 8 (delapan) jam. Jadwal petugas tersebut diatur sedemikian rupa, yakni shift I bekerja dari jam 05.00 s/d 13.00 WIB, *shift* II bekerja bekerja dari jam 13.00 s/d 21.00 WIB dan *shift* III bekerja dari jam 21.00 s/d 05.00 WIB.

Pengemudi kendaraan yang akan keluar dari jalan tol memungkinkan untuk memilih salah satu dari dua jenis gardu keluar (*exit*), yakni gardu pertama adalah melayani pengemudi kendaraan Langganan dan Pembayaran Uang Pas, dan yang kedua adalah melayani pengemudi kendaraan Pembayaran Tanpa Uang Pas atau memberikan sejumlah uang kepada petugas gardu dengan memperoleh kembalian uang tersebut.

Kendaraan yang melalui gardu Langganan dan Pembayaran Uang Pas biasanya dilakukan bagi kendaraan yang secara rutinitas sehari-hari memiliki rute tetap. Sebagai contoh pemilik/pengemudi mobil yang melalui gardu Langganan dan Pembayaran Uang Pas tersebut adalah, seseorang yang bermukim di Kota Bekasi dan bekerja di Jakarta yang setiap hari untuk melakukan perjalanan menggunakan jasa jalan tol. Contoh lain adalah, pengemudi kendaraan angkutan umum seperti Po. Mayasari Bakti yang memiliki trayek tetap seperti Bekasi-Blok M.

Pengemudi/pemilik kendaraan yang melalui gardu Langganan dan Pembayaran Uang Pas menyerahkan kepada petugas gardu sejumlah uang pas dari harga jasa tol yang telah ditetapkan, atau tiket tanda bukti sebagai langganan. Tiket bukti langganan tersebut dijual di tempat yang telah disediakan oleh PT. Jasa Marga.

Salah satu tempat pembelian tiket langganan adalah di dekat Gerbang Tol Bekasi Timur.

Gardu Pembayaran Tanpa Uang Pas berada paling tengah dari gerbang tol yang berjumlah 7 (tujuh) gardu yang kode nomornya adalah 02 s/d 14, sedangkan gardu Langganan dan Pembayaran Uang Pas berjumlah 6 (enam) gardu, yakni nomor 16 s/d 26 (lihat gambar 4.3).

4.1.4 Asal atau Tujuan (dari/ke) Perjalanan Gerbang Tol Pondok Gede Timur

Telah diketahui bahwa Gerbang Tol Pondok Gede Timur menerapkan sistem pelayanan tertutup dan gerbang tersebut melakukan dua jenis kegiatan. Dua jenis kegiatan tersebut adalah pengambilan tiket tanda masuk di gardu masuk jalan tol (*entrance*) dan penyerahan tiket (pembayaran) di gardu keluar jalan tol (*exit*).

Pengambilan tiket tanda masuk di Gerbang Tol Pondok Gede merupakan transaksi awal dan transaksi akhir akan terjadi di tempat gerbang tol lain seperti Gerbang Tol Bekasi Barat, Gerbang Tol Cikampek dan lain-lain. Pada transaksi akhir ini merupakan proses penyerahan tiket (pembayaran) dan selanjutnya akan keluar dari jalan tol.

Untuk penyerahan tiket (pembayaran) di Gerbang Tol Pondok Gede Timur merupakan transaksi akhir dan transaksi awal telah dilakukan sebelumnya di gerbang tol lain seperti Gerbang Tol Bekasi Barat, Gerbang Tol Cikampek dan lain-lain. Pada transaksi awal ini merupakan proses pengambilan tiket tanda masuk dan selanjutnya masuk untuk menggunakan jalan tol.

Gerbang asal atau tujuan perjalanan Gerbang Tol Pondok Gede Timur adalah sebanyak 11 (sebelas) gerbang. Gerbang-gerbang tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 atau gambar 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.1 : Gerbang Asal atau Tujuan Perjalanan

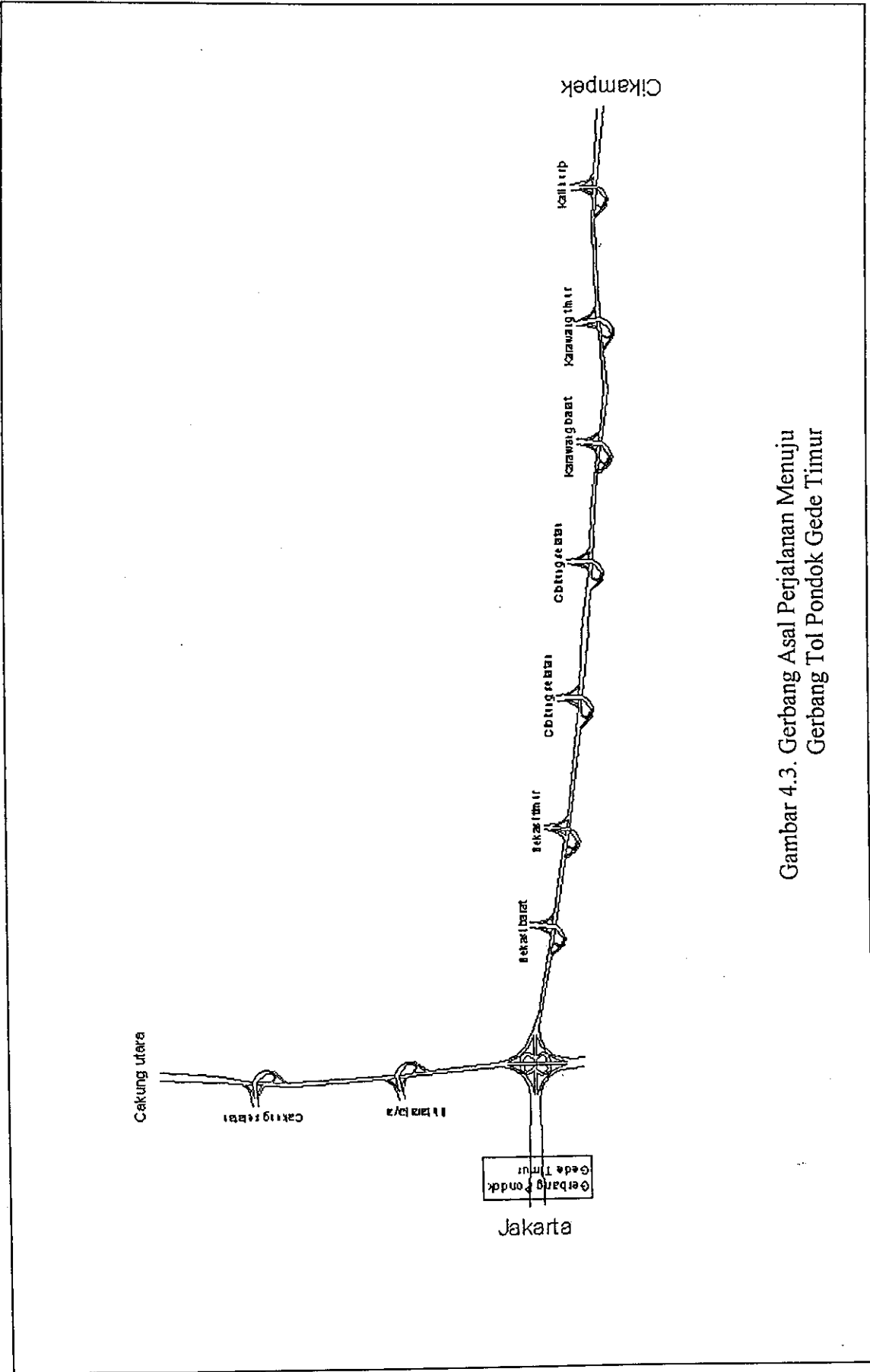
NO	GERBANG ASAL ATAU TUJUAN PERJALANAN
1	BINTARA
2	CAKUNG SELATAN
3	CAKUNG UTARA
4	BEKASI BARAT
5	BEKASI TIMUR
6	CIBITUNG (SELATAN)
7	CIKARANG
8	KARAWANG BARAT
9	KARAWANG TIMUR (SELATAN)
10	KALIHURIP
11	CIKAMPEK

Sumber: Hasil Rekapitulasi Data, September 2001

4.1.5 Tingkat Keberangkatan Selama 16 Jam

Tingkat keberangkatan dalam kasus Gerbang Tol Pondok Gede Timur ini adalah besarnya volume arus lalu lintas yang meninggalkan sistem antrian. Bagi kendaraan yang akan keluar jalan, yakni melalui gardu keluar (*exit*), bahwa kendaraan tersebut terakhir sekali dalam sistem antrian adalah pada saat pengemudi kendaraan tersebut melakukan transaksi pembayaran atau penyerahan tiket.

Pada tabel 4.2 merupakan tingkat keberangkatan pada gerbang pembayaran atau penyerhana tiket selama bulan Agustus 2001. Jika dilihat grafik 4.1, fluktuasi arus lalu lintas dari Senin s/d Jumat tidak menunjukkan perbedaan yang berarti atau hampir mendatar. Pada hari Sabtu dan Minggu arus lalu lintas mengalami penurunan yang sangat berarti. Arus lalu lintas untuk Minggu-1 dengan Minggu selanjutnya pada hari yang sama juga tidak menunjukkan perbedaan yang berarti pula.



Gambar 4.3. Gerbang Asal Perjalanan Menuju Gerbang Tol Pondok Gede Timur

Apabila dilihat kembali tabel 4.2 bahwa arus lalu lintas menunjukkan perbedaan yang nyata pada *shift* I,II dengan *shift* III.

Telah diketahui bahwa tujuan utama penelitian ini adalah mengurangi antrian, dan antrian paling banyak terjadi pada saat arus lalu lintas sibuk. Dengan pertimbangan data bulan Agustus 2001 tersebut, maka selanjutnya disajikan data *shift* I dan *shift* II untuk bulan September 2001 dalam satu Minggu. Dari hasil pengumpulan data sekunder dari instansi PT. Jasa Marga (Persero) Cabang Jakarta-Cikampek, besarnya volume lalu lintas dari tiap-tiap gerbang asal dapat dilihat pada tabel 4.2. Volume lalu lintas yang ada pada lampiran tersebut adalah volume lalu lintas dari jam 05.00 s/d 21.00. Data sekunder yang telah dikumpulkan adalah mulai dari hari Senin s/d Minggu.

Untuk mempermudah proses penelitian antrian di Gerbang Tol Pondok Gede Timur, terhadap data yang ada pada lampiran tersebut dilakukan rekapitulasi. Hasil rekapitulasi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 dan grafik 4.2. Diketahui bahwa dari hasil rekapitulasi data yang ada, bahwa tidak terdapat perbedaan volume lalu lintas yang sangat besar untuk masing-masing hari.

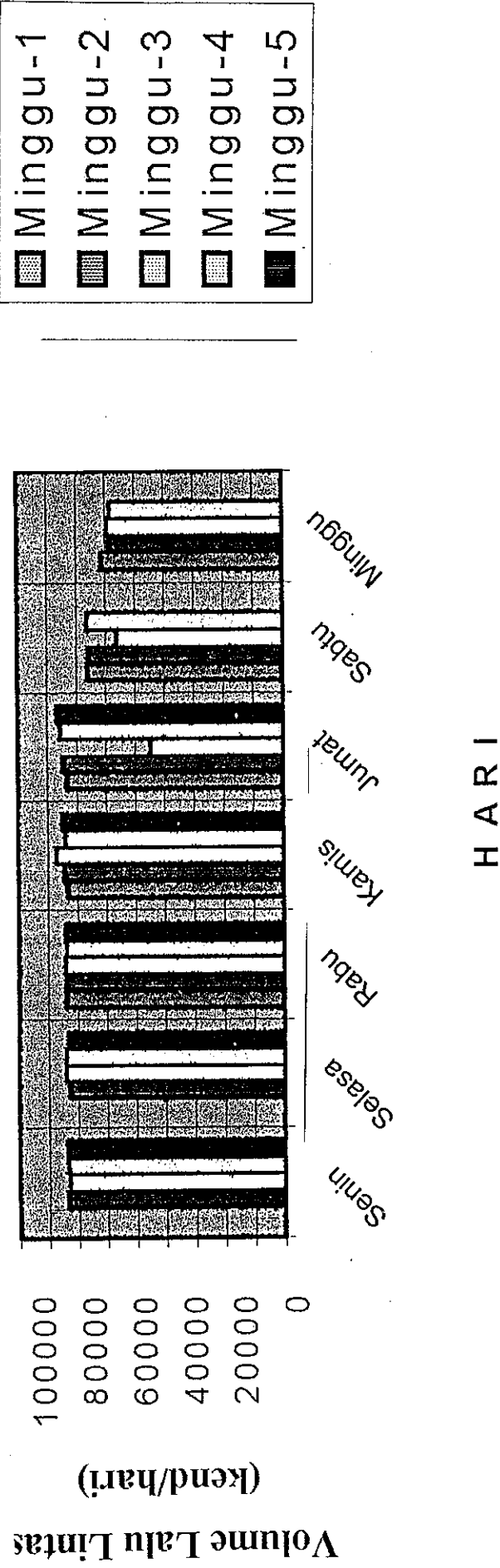
Volume lalu lintas yang paling besar selama 16 (enam belas) jam terjadi pada hari Rabu, yakni sebesar 62.184 kend. Volume lalu lintas yang paling rendah selama 16 (enam belas) jam terjadi pada hari Minggu, yakni sebesar 46.539 kend. Tetapi apabila dilihat dari volume lalu lintas untuk setiap *shift*, bahwa paling besar terjadi hari Senin pada *shift* I, yakni sebesar 33.877 kend/8 jam sedangkan volume lalu lintas paling rendah juga terjadi pada hari Minggu pada *shift* I, yakni sebesar 22.141 kend/8 jam. Data ini dijadikan dasar untuk menentukan pengumpulan data yang lebih rinci untuk kepentingan pembahasan.

Tabel 4.2 : Data Volume Lalin Keluar (*exit*) Per Periode & Per Golongan
Cabang Jakarta-Cikampek
Bulan Agustus 2001

HARI	TGL	PERI ODE	VOLUME LALIN				JUMLAH	HARI	TGL	PERI ODE	VOLUME LALIN				JUMLAH
			GOL I	GOL IIA	GOL IIB	GOL O					GOL I	GOL IIA	GOL IIB	GOL O	
Rabu	1	I	29842	2395	1069	117	33423	Kamis	16	I	30583	2451	1259	116	34409
		II	25520	2056	787	73	28436			II	26909	2166	924	80	30079
		III	9715	1366	781	44	11906			III	10976	1207	436	38	12657
Kamis	2	I	29148	2310	1164	116	32738	Jumat	17	I	16155	1600	232	112	18099
		II	25955	2053	863	67	28938			II	15712	1158	182	60	17112
		III	9320	1253	745	37	11355			III	7930	1148	433	28	9539
Jumat	3	I	28679	2411	1254	122	32466	Sabtu	18	I	21102	2018	641	70	23831
		II	26270	2006	862	71	29209			II	20216	1617	485	54	22372
		III	9594	1289	737	31	11651			III	8577	977	279	35	9868
Sabtu	4	I	25441	2201	966	80	28688	Minggu	19	I	17781	1568	358	56	19763
		II	24378	1726	599	59	26762			II	22756	1426	242	52	24476
		III	9477	962	310	37	10786			III	12745	1395	786	32	14958
Minggu	5	I	20311	1664	362	71	22408	Senin	20	I	29680	2394	1009	125	33208
		II	23749	1417	236	52	25454			II	25227	2167	863	81	28338
		III	11351	1418	826	36	13631			III	9598	1377	758	42	11775
Senin	6	I	30026	2409	1114	112	33661	Selasa	7	I	29078	2324	1096	98	32596
		II	24969	2148	933	87	28137			II	26123	2016	978	82	29199
		III	9678	1323	784	35	11820			III	9894	1401	698	41	12034
Selasa	7	I	29076	2240	1125	104	32545	Rabu	8	I	29652	2401	1146	120	33319
		II	25234	2116	880	81	28311			II	25520	2073	882	81	28556
		III	9794	1394	769	36	11993			III	9456	1341	803	42	11642
Rabu	8	I	29837	2411	1145	119	33512	Kamis	23	I	30468	2416	1232	118	34234
		II	25604	2074	881	80	28639			II	25132	1969	903	81	28085
		III	9480	1342	802	40	11664			III	9461	1283	844	33	11621
Kamis	9	I	30279	2378	1265	122	34044	Jumat	24	I	29419	2415	1263	115	33212
		II	25473	2024	894	90	28481			II	26832	2083	878	82	29875
		III	9710	1305	767	37	11819			III	10046	1298	734	39	12117
Jumat	10	I	29468	2452	1263	113	33296	Sabtu	25	I	25237	2169	944	97	28447
		II	26446	2053	902	83	29484			II	24100	1738	656	72	26566
		III	9895	1252	656	44	11847			III	9880	1023	321	27	11251
Sabtu	11	I	25594	2277	905	84	28860	Minggu	26	I	19383	1600	347	55	21385
		II	23928	1702	606	68	26304			II	22215	1394	312	47	23968
		III	9391	1000	349	45	10785			III	10656	1371	760	35	12822
Minggu	12	I	19606	1701	341	50	21698	Senin	27	I	30592	2335	1161	116	34204
		II	22541	1527	262	70	24400			II	24817	2067	950	85	27919
		III	10472	1345	784	32	12633			III	9363	1270	778	41	11452
Senin	13	I	30571	2371	1108	116	34166	Selasa	28	I	30184	2422	1165	120	33891
		II	24459	2071	844	82	27456			II	24976	2102	950	75	28103
		III	9320	1326	682	36	11364			III	9004	1245	751	43	11043
Selasa	14	I	29903	2246	1171	116	33436	Rabu	29	I	30329	2487	1213	125	34154
		II	25118	2053	831	82	28084			II	25540	2078	973	69	28660
		III	9881	1517	887	43	12328			III	9252	1241	783	34	11310
Rabu	15	I	29607	2385	1198	113	33303	Kamis	30	I	30871	2494	1377	124	34866
		II	25680	2151	919	92	28842			II	25722	2102	1074	75	28973
		III	9736	1426	788	44	11994			III	9282	1193	703	33	11211
							Jumat	31	I	30334	2456	1250	133	34173	
						II			26846	2078	1047	76	30047		
						III			10270	1246	694	40	12250		

Sumber : PT. Jasa Marga (Persero) Cabang Jakarta-Cikampek

**GRAFIK 4.1 : Volume Lalin Keluar (Exit)
Gerbang Pondok Gede Timur
Agustus 2001**



Tabel 4.3 : Volume Lalu Lintas Selama 16 Jam (kend/16 jam)

Hari/Tanggal	Shift/ Gardu	Volume LL (kend/8 jam)												Total	
		02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24		26
Senin, 9/17/2001	I	1970	2206	1881	2007	1961	1978	2052	2595	3598	3610	3422	3529	3068	33877
	II	1800	1851	1894	1649	2007	1890	1896	1900	2368	2678	2838	2664	2101	27536
	JUMLAH	3770	4057	3775	3656	3968	3868	3948	4495	5966	6288	6260	6193	5169	61413
Selasa, 9/18/2001	I	2212	2106	1879	1850	1976	2000	2324	1968	3577	3437	3350	3387	3212	33278
	II	1837	1902	1913	1966	1974	1968	2090	2040	2319	2630	2681	2426	2400	28146
	JUMLAH	4049	4008	3792	3816	3950	3968	4414	4008	5896	6067	6031	5813	5612	61424
Rabu, 9/19/2001	I	2146	2110	1935	1962	1835	2060	2088	1961	3284	3643	3540	3357	3152	33073
	II	2115	2056	1945	1886	2088	2124	2097	2100	2506	2615	2654	2538	2387	29111
	JUMLAH	4261	4166	3880	3848	3923	4184	4185	4061	5790	6258	6194	5895	5539	62184
Kamis, 9/20/2001	I	2139	2104	1928	1957	1828	2053	2081	1954	3277	3636	3533	3350	3145	32985
	II	2100	2041	1930	1871	2073	2109	2082	2085	2491	2600	2639	2523	2372	28916
	JUMLAH	4239	4145	3858	3828	3901	4162	4163	4039	5768	6236	6172	5873	5517	61901
Jumat, 9/21/2001	I	2189	2084	1857	1828	1954	1977	2302	1945	3555	3415	3328	3365	3190	32989
	II	1894	1959	1970	2023	2031	2025	2147	2097	2376	2687	2738	2483	2455	28885
	JUMLAH	4083	4043	3827	3851	3985	4002	4449	4042	5931	6102	6066	5848	5645	61874
Sabtu, 9/22/2001	I	2105	2046	1935	1876	2078	2114	2087	2089	2495	2604	2643	2527	2376	28975
	II	1681	1732	1775	1530	1888	1771	1777	1783	2249	2559	2719	2545	1982	25991
	JUMLAH	3786	3778	3710	3406	3966	3885	3864	3872	4744	5163	5362	5072	4358	54966
Minggu, 9/23/2001	I	1579	1520	1409	1350	1552	1588	1561	1564	1970	2078	2117	2002	1851	22141
	II	1558	1609	1652	1407	1765	1648	1654	1658	2128	2441	2597	2422	1859	24398
	JUMLAH	3137	3129	3061	2757	3317	3236	3215	3222	4098	4519	4714	4424	3710	46539

Sumber : Hasil Rekapitulasi, Nopember 2001

4.1.6 Tingkat Kedatangan Selama 16 Jam

Data sekunder tingkat keberangkatan di atas dijadikan dasar untuk pengumpulan data primer, yakni tingkat keberangkatan selama 16 (enam belas) jam. Selain itu juga peneliti melakukan wawancara terhadap salah seorang staf pengelola Gerbang Tol Pondok Gede Timur. Hasil wawancara yang dilakukan oleh peneliti adalah Lalu Lintas Harian Sibuk yang terjadi pada gardu pembayaran adalah pada hari Senin s/d Jumat.

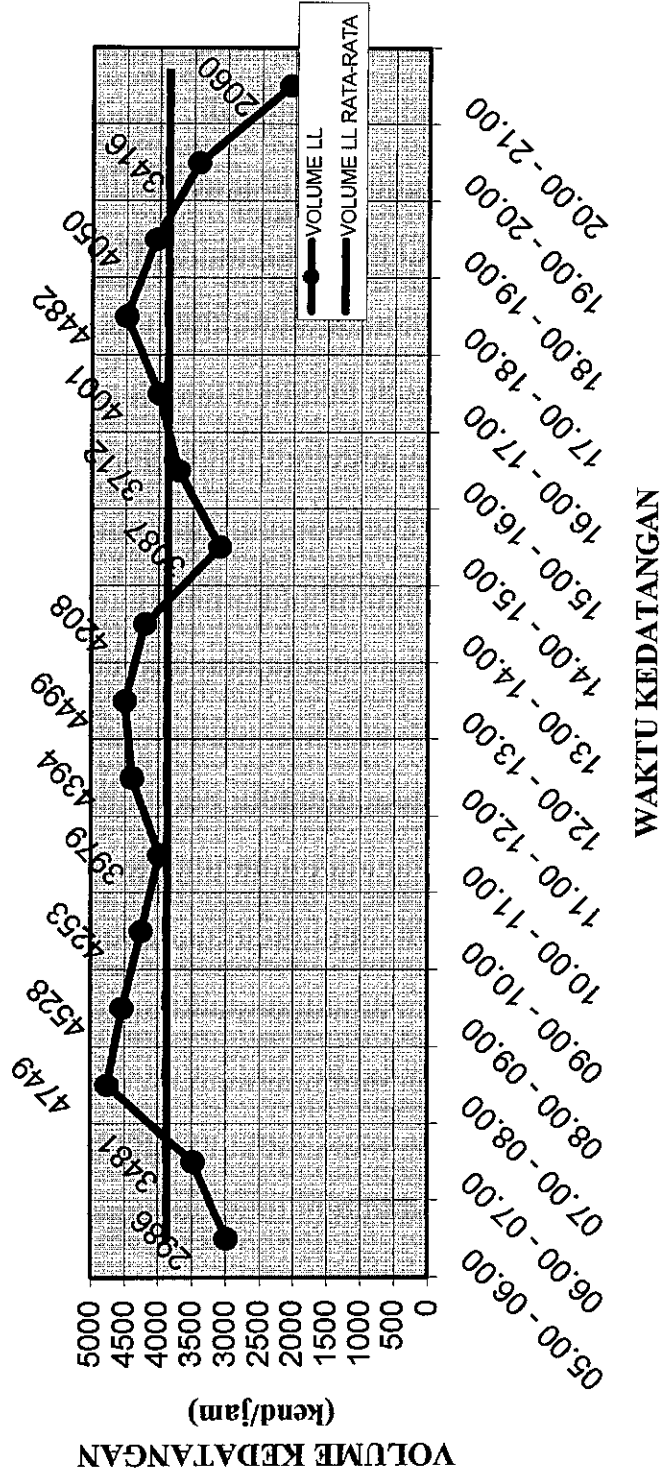
Telah diketahui bahwa perbedaan kesibukan lalu lintas harian antara hari yang satu dengan yang lain diantara hari Senin s/d Jumat adalah relatif kecil sekali. Oleh karena itu, dalam menentukan hari pengumpulan data primer yakni data kedatangan, peneliti memilih salah satu hari tanpa memperhatikan perbedaan kesibukan lalu lintas harian tersebut. Hari yang dipilih untuk melakukan pengumpulan data kedatangan kendaraan adalah hari Senin, 5 Nopember 2001. Dari hasil survei yang telah dilakukan bahwa tingkat kedatangan dapat dilihat pada tabel 4.4 atau grafik 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.4 : Tingkat Kedatangan Selama 16 Jam

NO	WAKTU	TINGKAT KEDATANGAN KENDARAAN			
		GOL I	GOL IIA	GOL IIB	JUMLAH
		(kend/jam)	(kend/jam)	(kend/jam)	(kend/jam)
1	05.00 - 06.00	2675	214	97	2986
2	06.00 - 07.00	3117	248	116	3481
3	07.00 - 08.00	4265	330	154	4749
4	08.00 - 09.00	4058	321	149	4528
5	09.00 - 10.00	3810	302	141	4253
6	10.00 - 11.00	3575	275	129	3979
7	11.00 - 12.00	3942	312	140	4394
8	12.00 - 13.00	4025	329	145	4499
9	13.00 - 14.00	3770	302	136	4208
10	14.00 - 15.00	2774	214	99	3087
11	15.00 - 16.00	3328	264	120	3712
12	16.00 - 17.00	3587	285	129	4001
13	17.00 - 18.00	4021	319	142	4482
14	18.00 - 19.00	3630	289	131	4050
15	19.00 - 20.00	3064	245	107	3416
16	20.00 - 21.00	1846	144	70	2060
Jumlah		55487	4393	2005	61885

Sumber : Hasil Survei, Nopember 2001

**GRAFIK 4.3 : TINGKAT KEDATANGAN KENDARAAN
GERBANG PEMBAYARAN**



4.1.7 Tingkat Kedatangan Jam Sibuk

Data tingkat kedatangan selama 16 (enam belas) menunjukkan adanya fluktuasi arus lalu lintas. Arus puncak terjadi tiga kali waktu, yakni puncak pagi jam 07.00 – 08.00, puncak siang pada jam 12.00 – 13.00 dan puncak sore pada jam 17.00 – 18.00. Arus paling puncak terjadi pada jam 07.00 – 08.00, dan kenaikan tingkat kedatangan mulai terjadi pada jam 06.00 dan penurunan terjadi pada 08.00.

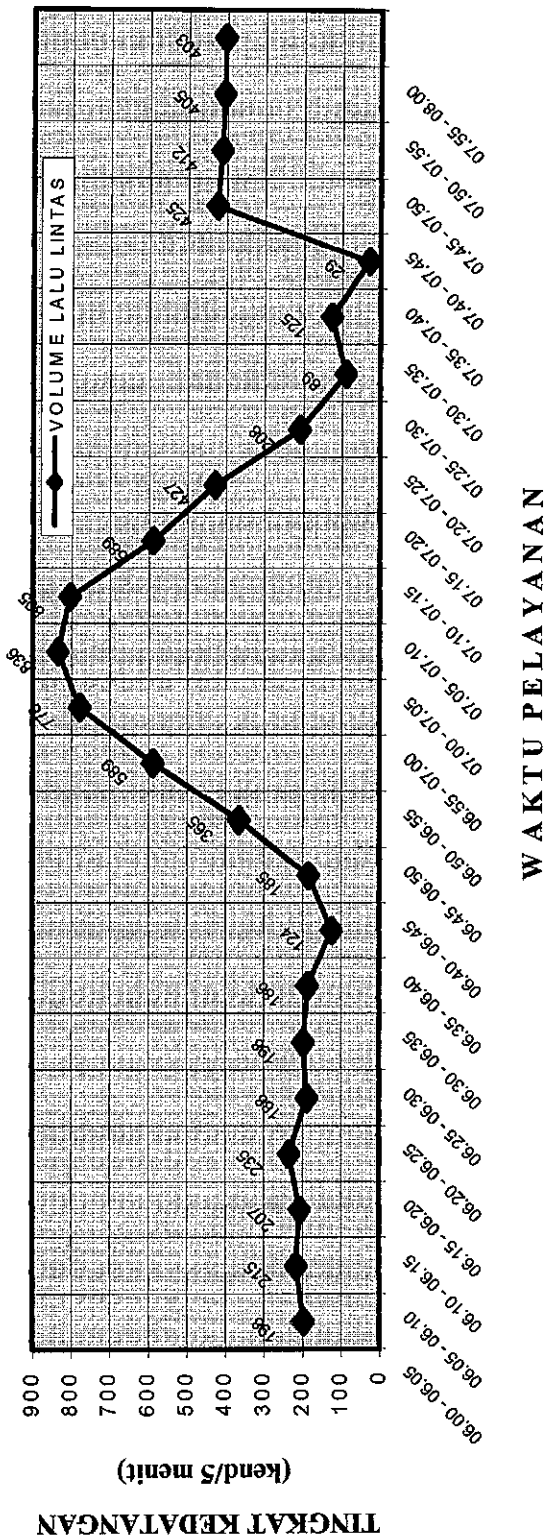
Sehubungan dengan hal tersebut, selanjutnya dilakukan survei lebih rinci mengenai tingkat kedatangan jam sibuk. Survei kedatangan yang dilakukan selama jam sibuk pagi, yakni pada hari Rabu, 7 Nopember 2001 Jam 06.00 – 08.00 Wib dengan periode pencacahan 5 (lima) menit. Dari hasil survei ini diperoleh hasilnya seperti tabel 4.5 atau grafik 4.4.

Tabel 4.5 : Tingkat Kedatangan Jam Sibuk Pagi

WAKTU	TINGKAT KEDATANGAN (kend/jam)	WAKTU	TINGKAT KEDATANGAN (kend/jam)
06.00 - 06.05	198	07.00 - 07.05	836
06.05 - 06.10	215	07.05 - 07.10	805
06.10 - 06.15	207	07.10 - 07.15	589
06.15 - 06.20	235	07.15 - 07.20	427
06.20 - 06.25	188	07.20 - 07.25	208
06.25 - 06.30	198	07.25 - 07.30	89
06.30 - 06.35	186	07.30 - 07.35	125
06.35 - 06.40	124	07.35 - 07.40	29
06.40 - 06.45	185	07.40 - 07.45	425
06.45 - 06.50	365	07.45 - 07.50	412
06.50 - 06.55	589	07.50 - 07.55	405
06.55 - 07.00	778	07.55 - 08.00	403
Jumlah	3468	Jumlah	4753

Sumber : Hasil Survei, Nopember 2001

GRAFIK 4.4 : Tingkat Kedatangan Kendaraan Pada Jam Sibuk



WAKTU PELAYANAN

VOLUME LALU LINTAS

TINGKAT KEDATANGAN (kend/5 menit)

4.1.8 Tingkat Kedatangan Jam Sibuk

Telah diketahui sebelumnya, bahwa pengumpulan data tingkat kedatangan jam puncak pagi dilakukan pada jam 06.00 – 08.00. Pada waktu yang bersamaan juga dilakukan pengumpulan data tingkat pelayanan. Terhadap data yang diperoleh dari hasil pengamatan selama 2 (dua) jam puncak pagi dilakukan rekapitulasi. Rekapitulasi dilakukan dengan pertimbangan tingkat kedatangan jam paling puncak dengan periode waktu 5 (lima) menit.

Rekapitulasi yang telah dilakukan yakni tingkat pelayanan dari jam 06.30 – 07.40 dan sebagai hasilnya dapat dilihat pada lampiran B1 s/d 13. Tingkat pelayanan yang ada pada lampiran tersebut merupakan tingkat pelayanan selama jam puncak untuk tiap-tiap gardu pembayaran.

4.2 Kedatangan Rata-Rata ($\bar{\lambda}$)

Kedatangan Kendaraan periode Waktu 5 (lima) detik

Pada grafik 4.4, bahwa pola kedatangan pada jam 06.30 – 07.40 mendekati grafik distribusi *Poisson*. Walaupun pola kedatangan tersebut mendekati pola kedatangan distribusi *Poisson*, namun grafik pada bagian paling kiri dan kanan tidak mendekati sumbu x. Bila mengamati grafik distribusi *Poisson* bahwa pada bagian paling kiri dan kanan dari grafik seharusnya mendekati sumbu x.

Periode tingkat kedatangan pada grafik 4.4 tersebut adalah 5 (lima) menit dan agar tingkat kedatangan tersebut mengikuti grafik distribusi *poisson* dilakukan pengurangan jarak antara grafik dengan sumbu x mendatar. Dilakukan pembagian terhadap periode waktu 5 (lima) menit menjadi periode waktu 5 (lima) detik.

Pembagian tersebut dengan angka 60 (enampuluh), dengan demikian diperoleh kedatangan rata-rata setiap 5 (lima) detik.

Tidak semua hasil pengamatan yang dilakukan selama 2 (dua) jam diharapkan semua mengikuti grafik distribusi *Poisson*, namun yang mengikuti pola grafik tersebut hanya dari jam 06.30 – 07.40 atau selama 4200 detik. Tingkat kedatangan selama selama 4200 detik tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 : Kedatangan Kendaraan Sibuk Pagi
Selama 4200 detik.

WAKTU	KEDATANGAN	
	(kend/5 menit)	(kend/5 detik)
06.30 - 06.35	186	3
06.35 - 06.40	124	2
06.40 - 06.45	185	3
06.45 - 06.50	365	6
06.50 - 06.55	589	10
06.55 - 07.00	778	13
07.00 - 07.05	836	14
07.05 - 07.10	805	13
07.10 - 07.15	589	10
07.15 - 07.20	427	7
07.20 - 07.25	208	3
07.25 - 07.30	89	1
07.30 - 07.35	125	2
07.35 - 07.40	29	0
Jumlah	5335	87

Sumber : Hasil Survei dan Analisis, Nopember 2001

Uji Kecocokan (*test of goodness of fit*) Distribusi *Poisson*

Tujuan uji kecocokan ini adalah untuk membandingkan frekuensi hasil sebenarnya diamati dengan frekuensi yang diharapkan. Frekuensi yang diharapkan ini sering juga disebut frekuensi teoritis. Diasumsikan bahwa distribusi kedatangan kendaraan sama dengan distribusi *Poisson* atau :

H_0 : Distribusi kedatangan kendaraan cocok dengan distribusi *Poisson*;

H1 : Distribusi kedatangan kendaraan tidak cocok dengan distribusi *Poisson*.

Untuk mengetahui dugaan tersebut ditolak atau diterima digunakan prakiraan K.Pearson, yakni distribusi *Chi-kuadrat* secara dwi-arah.

Taraf nyata (α) = 0,05 dan

Derajat kebebasan (dk) = $n - 2$.

n = jumlah pengamatan

Ho ditolak jika : $X^2 \leq X^2_{(1-\frac{1}{2}\alpha)(dk)}$ atau $X^2 \geq X^2_{(\frac{1}{2}\alpha)(dk)}$

Hasil analisis yang telah dilakukan terhadap kedatangan kendaraan dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini.

Jumlah data (n) = 14

Jumlah kelas (k) = $1 + 3,3\log(14)$ = 4,78

atau ≈ 5

Ked terkecil = 29 kend/5 menit

Ked Terbesar = 836 kend/5 menit

Rentang (r) = $836 - 29 = 807$

Panjang Kelas = $807/5 = 162$

Tabel 4.7 : Uji Kecocokan Distribusi *Poisson*

Jumlah Kedatangan (kend/5 menit)	Jlh Kdt itrvl 5 menit (n)	Frekuensi Observasi (fo)	(fon)	p(n)	Frekwensi Teoritis (p(n)Efo)	Chi-squared
0 -161,9	0	4	0	0.14536	2.03498	1.89746
162 - 321.9	1	3	3	0.28033	3.92461	0.21783
322 - 482,9	2	2	4	0.27032	3.78444	0.84140
483 - 643,9	3	2	6	0.17378	2.43285	0.07701
644 - 804,9	4	1	4	0.08378	1.17298	0.02551
>805	5	2	10	0.03232	0.45244	5.29348
	Jumlah	14	27	1	14	8

Sumber : Hasil Analisis, 2002

Apabila dilihat tabel distribusi *Chi-kuadrat* $X^2 \leq X^2_{(1-0,025)(4)} = 0,484$ dan $X^2 \geq X^2_{(0,025)(4)} = 11,14$, dengan demikian bahwa pernyataan Ho dapat diterima atau distribusi kedatangan cocok dengan distribusi *Poisson*.

Kedatangan Rata-Rata (λ)

Sebelumnya telah diketahuinya pola kedatangan kendaraan telah cocok dengan grafik distribusi *Poisson*, maka selanjutnya perlu diketahui kedatangan rata-rata.

$$\text{Kedatangan rata-rata} = (4200/5335) \times 3600$$

$$\text{Kedatangan kendaraan rata-rata } (\lambda) = 4572,857 \approx 4573 \text{ kend/jam}$$

4.3 Pelayanan Rata-Rata (v)

Frekuensi Waktu Pelayanan (*headway*)

Data waktu pelayanan yang ada pada lampiran B1 s/d 13 perlu dilakukan rekapitulasi guna memperoleh frekuensi. Agar frekuensi data pada lampiran tersebut terlebih dahulu ditentukan interval waktu pelayanan.

Contoh Gardu No.2:

$$\text{Jumlah data (n)} = 319$$

$$\text{Jumlah kelas (k)} = 1 + 3,3\log(319) = 9,26$$

$$\text{atau} \approx 10$$

$$\text{Waktu pelayanan terkecil} = 1 \text{ detik}$$

$$\text{Waktu pelayanan terbesar} = 88 \text{ detik}$$

$$\text{Rentang (r)} = 88 - 1$$

$$= 87 \text{ detik}$$

$$\text{Panjang kelas (p)} = 87/10 = 8,7$$

$$\text{atau} \approx 9$$

Dari analisis yang telah dilakukan maka frekuensi tingkat pelayanan dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 : Frekuensi Pelayanan
Pada Gardu No.02

No	Waktu Pelayanan	Nilai Tengah x_i	Frekuensi Pengamatan $f_i(p)$
	(detik)	(detik)	
1	0 - 8,99	4,5	161
2	9 - 17,99	13,5	79
3	18 - 26,99	22,5	40
4	27 - 35,99	31,5	22
5	36 - 44,99	40,5	9
6	45 - 53,99	49,5	5
7	54 - 62,99	58,5	2
8	63 - 71,99	67,5	0
9	72 - 80,99	76,5	0
10	81 - 89,99	85,5	1
11	> 90	94,5	0
Jumlah			319

Sumber : Hasil Rekapitulasi

Uji Kecocokan (*test of goodness of fit*) Distribusi Eksponensial

Sebagaimana uji kecocokan yang telah dilakukan pada kedatangan kendaraan, maka terhadap waktu pelayanan juga dilakukukan uji kecocokan. Diasumsikan bahwa distribusi waktu pelayanan kendaraan sama dengan distribusi *eksponensial* atau :

H_0 : Distribusi waktu pelayanan kendaraan cocok dengan distribusi *eksponensial*;

H_1 : Distribusi waktu pelayanan kendaraan tidak cocok dengan distribusi *eksponensial*.

Untuk mengetahui dugaan tersebut ditolak atau diterima digunakan prakiraan K.Pearson, yakni distribusi *Chi-kuadrat* secara dwi-arah.

Taraf nyata (α) = 0,05 dan

Derajat kebebasan (dk) = $n - 2$.

n = jumlah pengamatan

Ho ditolak jika : $X^2 \leq X^2_{(1-\frac{1}{2}\alpha)(dk)}$ atau $X^2 \geq X^2_{(\frac{1}{2}\alpha)(dk)}$

Hasil analisis yang telah dilakukan terhadap kedatangan kendaraan dapat dilihat pada tabel 4.9 atau gambar 4.10 dibawah ini.

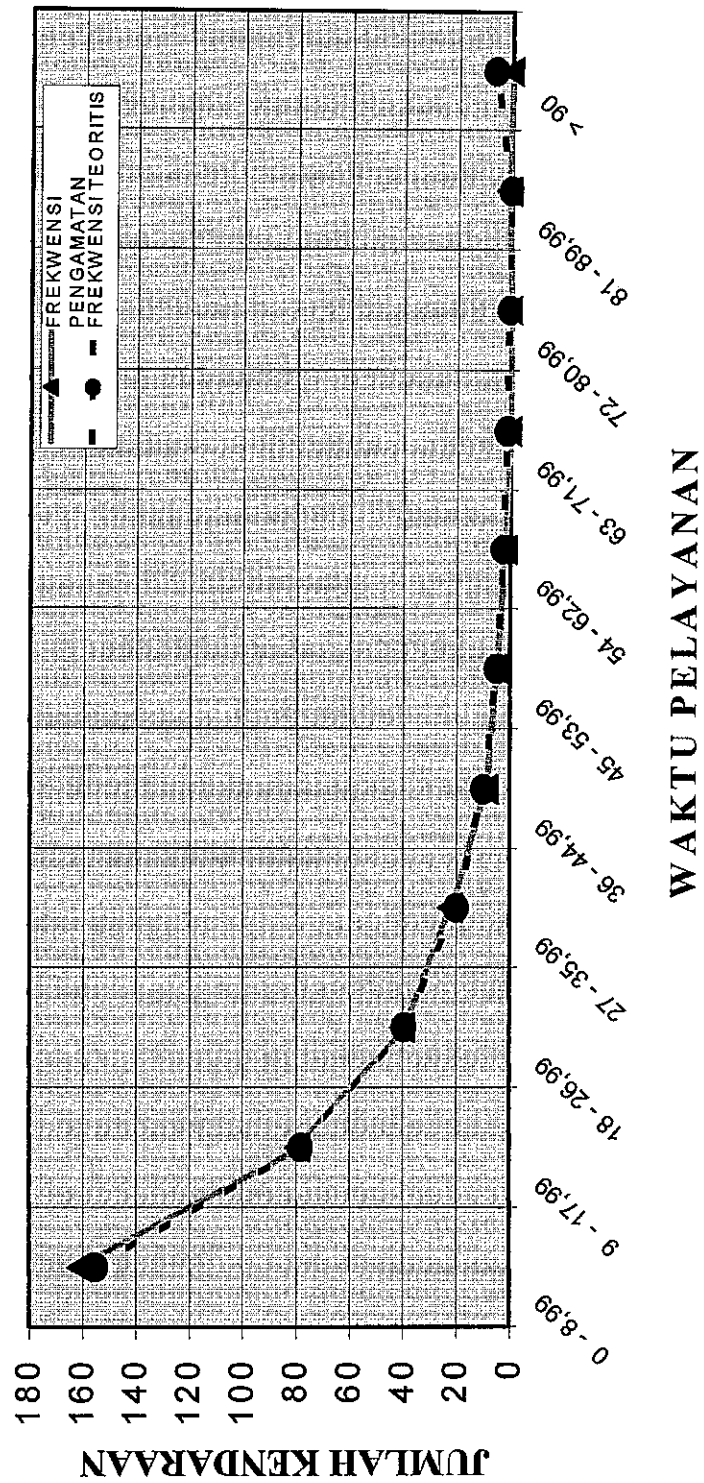
Tabel 4.9 : Distribusi Frekuensi Waktu Pelayanan Kendaraan Gardu No.02

No	Waktu Pelayanan (detik)	Nilai Tengah x_i (detik)	Frekuensi Pengamatan $f_i(p)$	$x_i f_i$	$P(n)$	Frekuensi Teoritis $f_i(t)$	Chi-Squared x^2
1	0 - 8,99	4,5	161	724,5	0,48599	155,0314	0,22979
2	9 - 17,99	13,5	79	1066,5	0,24546	78,30157	0,00623
3	18 - 26,99	22,5	40	900	0,12397	39,5477	0,00517
4	27 - 35,99	31,5	22	693	0,06262	19,97432	0,20543
5	36 - 44,99	40,5	9	364,5	0,03163	10,08841	0,11743
6	45 - 53,99	49,5	5	247,5	0,01597	5,095344	0,00178
7	54 - 62,99	58,5	2	117	0,00807	2,573501	
8	63 - 71,99	67,5	0	0	0,00407	1,299796	
9	72 - 80,99	76,5	0	0	0,00206	0,656486	5,78233
10	81 - 89,99	85,5	1	85,5	0,00104	0,331571	
11	> 90	94,5	0	0	0,01912	6,099903	
Jumlah			319	4198,5	1,00000	319	6,34816

Sumber : Hasil Analisis

Apabila dilihat tabel distribusi *Chi-kuadrat* $X^2 \leq X^2_{(1-0,025)(5)} = 0,831$ dan $X^2 \geq X^2_{(0,025)(5)} = 12,83$, dengan demikian bahwa pernyataan Ho dapat diterima atau distribusi kedatangan cocok dengan distribusi *eksponensial*. Untuk mengetahui uji kecocokan untuk gardu yang lain dapat dilihat pada lampiran C1 s/d C13 dan D1 s/d D13.

**Grafik 4.5 : GRAFIK EKSPONENSIAL
TINGKAT PELAYANAN GARDU 02**



Pelayanan Rata-Rata (v)

Waktu pelayanan rata-rata gardu dijadikan 2 (dua) jenis, yakni yang pertama waktu pelayanan rata-rata gardu bukan langganan atau uang pas sedangkan yang kedua adalah gardu langganan atau uang pas. Rata-rata waktu pelayanan kedua jenis langganan ini dapat dilihat pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 : Waktu Rata-Rata Pelayanan Tiap-Tiap Jenis Pelayanan

No Gardu	Waktu Pelayanan Gardu Uang Kembalian (detik/kend)	No Gardu	Waktu Pelayanan Gardu Langganan atau Uang Pas (detik/kend)
02	13.16144201	16	12.7887538
04	12.97222222	18	7.977272727
06	14.62891986	20	7.804469274
08	14.32935154	22	8.086705202
10	14.46206897	24	8.117988395
12	13.85526316	26	8.848421053
14	12.89263804		
Jumlah	96.30190579		53.62361045
Rata-Rata	13.75741511		8.937268408

Gardu pembayaran merupakan bagian-bagian dari Gerbang Pembayaran.

Untuk itu waktu pelayanan rata-rata gardu adalah :

$$\begin{aligned} \text{Headway Rata-rata Gardu} &= \frac{(13,757 \times 7) + (8,937 \times 6)}{13} \\ &= 11,53273 \text{ detik/kend} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Keberangkatan Rata-Rata} &= 1/ 11,53273 \\ &= 0,08671 \text{ kend/detik} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Pelayanan Rata-Rata Gardu} &= 3600/11,53273 \\ &= 312,164 \text{ end/jam} \\ &\approx 312 \text{ kend/jam} \end{aligned}$$

4.4. Komponen Biaya Sistem Antrian

Untuk menentukan biaya dalam sistem antrian pada Gerbang Tol Pondok Gede Timur, ada beberapa komponen yang perlu dijadikan pertimbangan yakni;

- *Biaya Fasilitas Pelayanan*, adalah biaya yang dikeluarkan untuk mengadakan fasilitas pelayanan.
- *Biaya Tunggu*, adalah biaya yang harus dikeluarkan pada saat menunggu pelayanan di Gerbang Keluar Tol Pondok Gede Timur, yang terdiri dari :
 1. *Biaya Operasi Kendaraan* pada saat menunggu pelayanan;
 2. *Biaya Penumpang Kendaraan* pada saat menunggu kendaraan yang ditumpangnya.

4.4.1 Biaya Fasilitas Pelayanan

Biaya fasilitas pelayanan terdiri dari :

- Biaya Tetap
- Biaya Penambahan Petugas

Biaya Tetap terdiri dari :

- Pengembalian Modal
- Biaya Penyusutan
- Biaya Pemeliharaan Gedung
- Biaya Pegawai (petugas yang melayani penyerahan tiket atau penerimaan uang pas)

Untuk mengoptimalkan pelayanan tidak perlu penambahan investasi fasilitas. Karena pemecahan masalah adalah menambah jumlah pelayan aktif. Besarnya komponen-komponen biaya tersebut dapat dilihat sebagaimana analisis dibawah ini.

1. Biaya Tetap

Untuk meningkatkan pelayanan gerbang tol Pondok Gede Timur (*exit*) adalah menambah petugas atau pelayan aktif. Terhadap pelayan aktif tersebut tidak ada pengadaan fasilitas pelayanan (gardu), dikarenakan mereka melayani pengemudi secara katif mengambil tiket (mondar-madir). Untuk itu biaya investasi terhadap fasilitas pelayanan adalah Rp.0 /jam atau diabaikan. Dengan demikian biaya tetap adalah nihil.

2. Biaya Penambahan Petugas

Biaya tidak tetap adalah biaya yang besarnya sangat tergantung dengan besarnya kapasitas pelayanan gerbang yang akan direncanakan. Dalam kasus ini, variabel untuk menentukan biaya tidak tetap adalah jumlah pegawai yang akan ditambah untuk melayani penyerahan tiket langganan atau pembayaran uang pas oleh pengemudi kendaraan. Besarnya biaya tidak tetap tersebut adalah sebagai berikut ini.

Gaji Pegawai Tambahan :

- Rata-rata gaji pegawai bekerja = Rp. 900.000,-/orang/bulan
- Gaji Pegawai Cadangan = 1/6 dari gaji pegawai bekerja
= 1/6 x Rp. 900.000,-
= Rp. 150.000,-/orang/bulan

Biaya gaji pegawai tambahan tiap orang = Rp. 900.000,- + Rp. 150.000,-

$$= \text{Rp. } 1.050.000,- / \text{orang/bulan}$$

$$= \text{Rp. } 4.375,-/\text{jam}$$

$$\text{Rata-rata kedatangan kendaraan} = 4055,172 \text{ kend/jam atau}$$

$$\text{Headway} = 1/4055,172$$

$$= 0,000246599 \text{ jam/kend}$$

$$\text{Rasio Tertimbang (koefisien)} = \text{Rp. } 4.375,-/\text{jam} \times 0,000246599 \text{ jam/kend}$$

$$= \text{Rp. } 1,078869158,- / \text{kend}$$

$$\text{Biaya Penambahan Petugas} = (1,078869158 \text{ rupiah/kend}) \times (v)$$

3. *Biaya Total Fasilitas Pelayanan*

Biaya total merupakan penjumlahan biaya tetap dan biaya penambahan petugas yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$BTFS = \text{Rp.}0,-/\text{jam} + (1,078869158 \text{ rupiah/kend}) \times (v)$$

keterangan :

BTFS : Biaya Total Fasilitas Pelayanan (rupiah/jam)

4.4.2 **Biaya Menunggu**

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya bahwa biaya menunggu terdiri dari :

- *Biaya Operasi Kendaraan* pada saat menunggu pelayanan;
- *Biaya Penumpang Kendaraan* pada saat menunggu kendaraan yang ditumpangnya.

Besarnya biaya-biaya tersebut adalah sebagaimana pada analisis berikut ini.

Biaya Operasi Kendaraan

Biaya operasi kendaraan terdiri dari :

- Biaya Tetap
- Biaya Tidak Tetap

1. Biaya Tetap

Biaya tetap yang harus dikeluarkan pada biaya operasi kendaraan terdiri dari :

- Biaya Penyusutan
- Biaya Asuransi
- Biaya Izin

Perhitungan biaya tersebut adalah sebagai berikut ini.

1) Biaya Penyusutan

- Rata-rata harga kendaraan (B) = Rp. 80.000.000,- /kend
- Tingkat Penyusutan Harga Kendaraan (i) = 0,21/tahun/kend
- Masa Penyusutan (n) = 20 tahun
- Nilai Sisa Kendaraan 5% dari harga awal (C) = 5% x 80.000.000,-
= Rp. 4.000.000,-/kend
- Faktor angsuran modal (capital recovery factor) (D) adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \left\{ \frac{i(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1} \right\} \\
 &= \left\{ \frac{0,21(1+0,21)^{20}}{0,21(1+0,21)^{20} - 1} \right\} \\
 &= 0,21474477/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Biaya penyusutan kendaraan adalah =

$$\begin{aligned}
 E &= (B - C) D + 0,2C \\
 &= \{(80.000.000 - 4.000.000) \times 0,21474477\} + (0,2 \times 4.000.000) \\
 &= \text{Rp.17.120.602,54/tahun/kend}
 \end{aligned}$$

2) *Biaya Asuransi*

Biaya asuransi kendaraan adalah Rp.4.500.000,-/tahun

3) *Biaya Surat Izin*

Biaya surat izin adalah Rp.1.200.000,-/tahun

4) *Nilai Biaya Tetap*

Besarnya nilai biaya tetap adalah :

a. Biaya Penyusutan Kendaraan	= Rp.17.120.602,54,-/tahun/kend
b. Biaya Asuransi Kendaraan	= Rp. 4.000.000,00,-/tahun/kend
c. Biaya Surat Izin	= <u>Rp. 1.200.000,00,-/tahun/kend</u>
Jumlah	= Rp.22.820.602,54,-/tahun/kend

Kendaraan yang beroperasi sehari-hari baik didalam maupun diluar Jalan Tol memiliki kecepatan rata-rata 25 km/jam. Apabila dilihat jam operasi kendaraan dalam setahun berdasarkan grafik (Ek.Teknik Seri Transportasi oleh Waldiyono, *Lampiran III*) adalah 450 jam/tahun. Untuk itu biaya tetap adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Rp.22.820.602,54 /tahun/kend}}{450 \text{ jam/tahun}} \\
 &= \text{Rp. 50.712,45,-/jam}
 \end{aligned}$$

2. Biaya Tidak Tetap

Biaya tidak tetap terdiri dari :

- Biaya Bahan Bakar
- Biaya Pelumas
- Biaya Pemeliharaan

Untuk mengetahui besarnya biaya tersebut dapat dilihat pada analisis berikut ini.

1) Biaya Bahan Bakar

Proses untuk menentukan biaya bahan bakar adalah sebagai berikut ini:

- Pemakaian Bahan Bakar Khas (“Specific Fuel Consumption”=SFC) :

$$\text{- Bensin} = 0,3 \text{ ltr/Tk/Jam}$$

$$\text{- Solar} = 0,2 \text{ ltr/Tk/Jam}$$

- Faktor Operasi (OF) = 80%
- Prosentasi Kapasitas Mesin = 80% Tk
- Rata-rata bahan bakar

$$\text{- Bensin} = 0,3 \text{ ltr/Tk/Jam} \times 80\%$$

$$= 0,24 \text{ ltr/Tk/Jam}$$

$$\text{- Solar} = 0,2 \text{ ltr/Tk/Jam} \times 80\%$$

$$= 0,16 \text{ ltr/Tk/Jam}$$

- Tingkat Kendaraan di Gerbang Pondok Gede Timur

$$\text{- Bensin} = 90\%$$

$$\text{- Solar} = 10\%$$

- Harga Bahan Bakar

- Bensin = Rp.1.550,-/ltr

- Solar = Rp.1.100,-/ltr

Biaya bahan bakar = $\{(90\% \times 1.550 \times 0,24) + (10\% \times 1.100 \times 0,16)\} \times 80\% \text{ Tk}$
 = Rp. 28.192,-/jam

2) Biaya Pelumas

Biaya pelumas dapat ditentukan sebagai berikut ini:

- Rata rata kecepatan kendaraan sehari-hari adalah = 25 km/jam

Berdasarkan (Ek. Teknik Seri Transportasi oleh Waldiyono) maka penggunaan pelumas untuk kecepatan tersebut :

$$\frac{1,3 \times 25}{1000} = 0,0325 \text{ ltr/jam}$$

- Rata-rata Harga Pelumas = Rp. 45.000,-/ltr

Biaya Pelumas = $0,0325 \times 45.000$

= Rp. 1462,5/jam

3) Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan adalah 5% dari jumlah biaya tetap, yakni :

$5\% \times 50.712,45 = \text{Rp.}2535,62/\text{jam}$

Jumlah biaya-biaya yang telah diuraikan di atas adalah :

a. Biaya Bahan Bakar = Rp.28.192,00,-/jam

b. Biaya Pelumas = Rp. 1.462,50,-/jam

c. Biaya Pemeliharaan = Rp. 2.535,62,-/jam

Jumlah = Rp.32.190,12,-/jam

$$\begin{aligned} \text{Tingkat kedatangan kendaraan} &= 4573 \text{ kend/jam} \\ \text{Rasio Tertimbang (koefisien)} &= 4573 \times 32.190,12 \\ &= 147.205.148,76 \text{ (rupiah/jam)(kend/jam)} \end{aligned}$$

Nilai Waktu Tunggu Penumpang

Nilai waktu penumpang dalam hal ini adalah nilai waktu yang ada pada kendaraan yang terlibat dalam sistem antrian. Kemungkinan penumpang tersebut adalah, penumpang bus, penumpang kendaraan pribadi dan bahkan juga pemilik kendaraan pribadi.

Dalam menentukan nilai waktu tunggu, peneliti menggunakan pedoman hasil penelitian Farhan Ifan Tanjung (FPS Transportasi, ITB 1988). Besarnya nilai dolar terhadap rupiah pada tahun 1988 tersebut adalah Rp.2.300,-/\$US. Untuk itu hasil penelitian oleh beliau perlu disesuaikan dengan nilai dolar sekarang yakni diasumsikan Rp.9.000,-/\$US. Hasil penyesuaian tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11 di bawah ini.

- Rata-rata penumpang bukan angkutan umum = 2,2 pnp/kend
- Rata-rata penumpang angkutan umum = 40 pnp/kend
- Prosentasi bukan angkutan umum = 90%
- Prosentasi angkutan umum = 10%
- Rata-rata jumlah penumpang adalah :
 $(2,2 \times 90\%) + (40 \times 10\%) = 5,98 \text{ pnp/kend}$
- Biaya Waktu Tunggu penumpang tiap kendaraan adalah :
 $(5,98 \times 16.209,97) = \text{Rp. } 96.935,64,-/\text{jam}$

Tabel 4.11 : Nilai Waktu Tunggu

Kel.Pendapatan (rupiah/bulan)	Nilai Waktu Tunggu Rata-rata (rupiah/jam)
1.173.913,04 - 1.565.213,48	10.111,23
1.565.217,39 - 1.956.517,83	10.627,55
1.956.521,74 - 2.347.822,17	14.292,90
2.347.826,09 - 2.739.126,52	15.243,85
2.739.130,43 - 3.130.430,87	17.217,35
3.130.434,78 - 3.521.735,22	19.494,04
3.521.739,13 - 3.913.039,57	20.225,50
3.913.043,48 - 4.304.343,91	22.467,37
Jumlah	129.679,79
Rata-rata	16.209,97

Simber : Penyesuaian Hasil Penelitian Farhan Ifan Tanjung

- Tingkat kedatangan kendaraan = 4573 kend/jam
- Rasio Tertimbang (koefesien) adalah :

$$(4573 \times 96.935,64) = 443.286.681,72 \text{ (rupiah/jam)(kend/jam)}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya tidak tetap waktu menunggu} &= (147.205.418,76 + 443.286.681,72) \overline{x w} \\ &= \{590.492.100,48 \text{ (rupiah/jam)(kend/jam)}\} \overline{x w} \end{aligned}$$

3. Biaya Total Waktu Menunggu

Telah diuraikan sebelumnya bahwa Biaya Total merupakan hasil penjumlahan biaya tetap dan tidak tetap/ Dalam hal ini, secara matematis dituliskan sebagai berikut ini:

$$BTWM = \text{Rp. } 50.712,45, \text{-/jam} + \{590.492.100,48 \text{ (rupiah/jam)(kend/jam)}\} \overline{x w}$$

keterangan :

BTWM : Biaya Total Waktu Menunggu (rupiah/jam)

BAB V

ANALISIS DATA

5.1 Unjuk Kerja Pelayanan Gerbang Tol Saat Ini

Sebagaimana yang telah diuraikan pada bab III bahwa Indikasi yang digunakan untuk menilai suatu sistem pelayanan Gerbang Tol Pondok Gede Timur pada penelitian ini, khususnya untuk gerbang pembayaran atau penyerahan tiket adalah:

- Jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem (\bar{n})
- Panjang antrian rata-rata (\bar{q})
- Waktu rata-rata digunakan dalam sistem (\bar{d})
- Waktu menunggu rata-rata dalam antrian (\bar{w})

Pendekatan yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja tersebut adalah teori antrian Banyak Saluran Pelayanan – Satu Tahap Pelayanan (*multichannel-single phase*) dengan bentuk **(M/M/C) ; (FIFO/ ∞/∞)**.

$$\lambda = 4573 \text{ kend/jam}$$

$$\nu = 312 \text{ kend/jam}$$

$$k = 13 \text{ gardu}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{k \nu}$$

$$= 1,127465$$

Untuk mendapatkan jumlah kendaraan dalam sistem, jumlah kendaraan yang antri, waktu kendaraan dalam sistem serta waktu menunggu dalam antrian tidak dapat diketahui mengingat nilai $\rho > 1$. Untuk itu Gerbang Tol Pondok Gede Timur yang melayani kendaraan yang keluar telah melebihi tingkat kejenuhan pelayanan.

5.2 Optimalisasi Gardu Pembayaran atau Penyerahan

5.2.1 Petugas Pasif Dan Aktif

Teknik optimalisasi pelayanan ini adalah menerapkan penambahan petugas aktif sebagaimana yang telah diterapkan di gardu pengambilan tiket tanda masuk. Telah diuraikan sebelumnya bahwa gardu pengambilan tiket tanda masuk jalan tol Jakarta-Cikampek adalah gardu yang bernomor 03, 05, 07, 09, 11, 13 dan 15. Pada saat kondisi arus lalu lintas normal pada shift I dan II, ada 7 (tujuh) petugas yang melayani kendaraan yang akan mengambil tiket tanda masuk jalan tol dimana tiap-tiap lajur lalu lintas dilayani oleh seorang petugas. Sedangkan arus lalu lintas pada jam sibuk sore (Jam 15.00 s/d 17.00 WIB), kendaraan yang akan mengambil tiket tanda masuk dilayani oleh 14 (empat belas) petugas, dimana tiap-tiap lajur lalu lintas dilayani oleh 2 (dua) orang petugas. Terhadap petugas melayani kendaraan yang mengambil tiket pada jam sibuk terdiri dari dua kelompok yakni : pertama kelompok pasif dan kedua kelompok aktif.

Kelompok pasif adalah bagi mereka yang melayani pengemudi yang akan mengambil tiket tanda masuk bertugas secara pasif. Petugas ini menunggu kendaraan yang mengambil tiket tanda masuk pada lokasi yang tetap atau statis yakni di gardu pelayanan. Dalam hal ini pengemudi lebih aktif untuk mendapatkan pelayanan atau pengemudi mendekati gardu pelayanan.

Kelompok aktif adalah petugas secara aktif memberikan tiket kepada pengemudi dengan cara mendekati pengemudi kendaraan yang akan mengambil tiket tanda masuk. Sedangkan pengemudi sambil menjalankan kendaraan menunggu tiket diberikan oleh petugas. Oleh karena petugas lebih aktif, maka petugas ini berada pada satu lajur lalu lintas yang telah ditetapkan, namun tidak memiliki titik lokasi yang tetap atau petugas ini mondar-mandir pada suatu garis lajur lalu lintas.

5.2.2 Kapasitas Rata-Rata Petugas Aktif

Kapasitas rata-rata per petugas aktif diasumsikan sama dengan kapasitas rata-rata pelayanan gerbang pembayaran yaitu 312 kendaraan/jam.

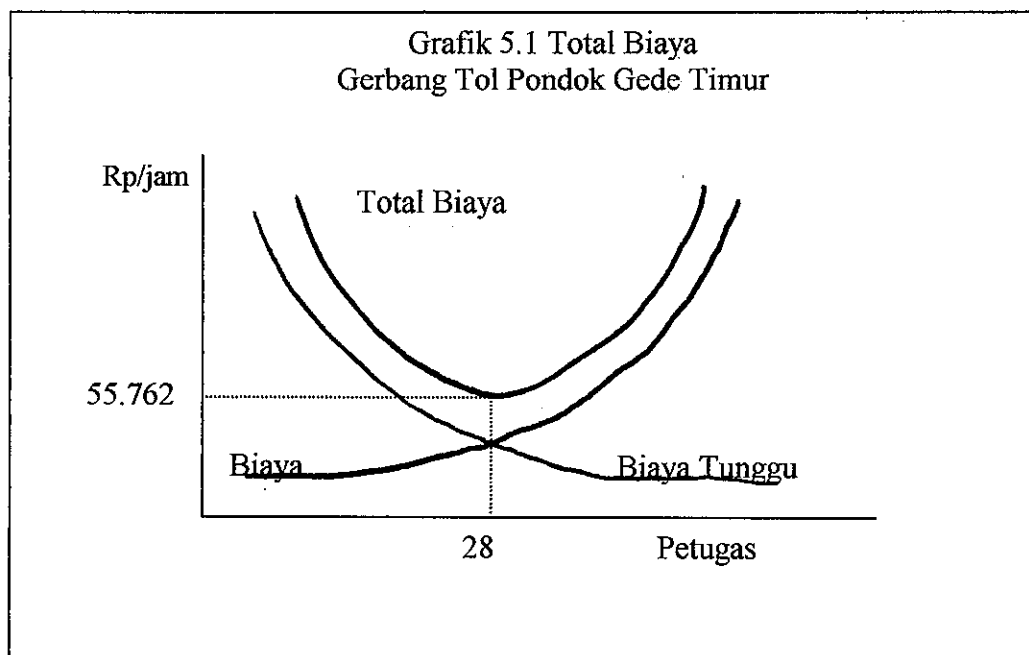
5.2.3 Optimalisasi Penambahan Petugas

Untuk menentukan jumlah petugas, maka perlu ditentukan jumlah petugas yang optimal melaksanakan pelayanan tersebut. Yang dimaksud biaya optimal dalam hal ini adalah, dimana pembiayaan yang penambahan yang minimal dengan mencapai nilai manfaat yang optimal. Dari hasil simulasi perangkat lunak komputer, maka diperoleh hasil sebagaimana pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.2 : Optimalisasi Biaya Penambahan Petugas Pelayan Aktif

Jumlah Pelayan (orang)	Rata-rata Waktu Pel (Kend/Jam)	Rata-rata Kedatangan (Kend/Jam)	Waktu Tunggu (Jam/ Kend)	Biaya Fasilitas (Rp/Jam)	Biaya Tunggu (Rp/Jam)	Total Biaya (Rp/Jam)
13	312	4573	-	-	-	-
14	336	4573	-	337	-	-
15	360	4573	0,00847	673	5.052.181	5.052.854
16	384	4573	0,00162	1.010	1.007.310	1.008.319
17	408	4573	0,00070	1.346	464.057	465.403
18	432	4573	0,00037	1.683	269.195	270.878
19	456	4573	0,00021	2.020	174.716	176.735
20	480	4573	0,00013	2.356	127.476	129.833
21	504	4573	0,00008	2.693	97.952	100.645
22	528	4573	0,00005	3.029	80.237	83.267
23	552	4573	0,00004	3.366	74.332	77.698
24	576	4573	0,00002	3.703	62.522	66.225
25	600	4573	0,00002	4.039	62.522	66.562
26	624	4573	0,00001	4.376	56.617	60.993
27	648	4573	0,00001	4.713	56.617	61.330
28	672	4573	0,00000	5.049	50.712	55.762
29	696	4573	0,00000	5.386	50.712	56.098
30	720	4573	0,00000	5.722	50.712	56.435
31	744	4573	0,00000	6.059	50.712	56.771
32	768	4573	0,00000	6.396	50.712	57.108
33	792	4573	0,00000	6.732	50.712	57.445
34	816	4573	0,00000	7.069	50.712	57.781

Sumber : Hasil Analisis, 2002.



Setelah dilakukan optimalisasi diperoleh nilai yang paling optimal adalah penambahan petugas pelayan aktif sebanyak 15 (limabelas) orang yang unjuk kerjanya sebagai berikut ini :

Jumlah kendaraan dalam sistem : $\bar{n} = 6,83251$ kend
 ≈ 7 kend

Jumlah kendaraan yang antri $\bar{q} = 0,02745$ kend
 ≈ 0 kend

Waktu rata-rata dalam sistem $\bar{d} = 0,00149$ (jam/kend)
 $= 5,364$ (detik/kend)

Waktu tunggu rata-rata $\bar{w} = 0,00001$ (jam/kend)
 $= 0,0036$ (detik/kend)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Arus lalu lintas datang dari arah Cikampek yang tingkat kedatangan pada jam sibuk pagi di gerbang pembayaran adalah sebesar 4573 kend/jam. Pola kedatangan tersebut mengikuti pola Distribusi Poisson.

Sistem pelayanan (pembayaran atau penyerahan tiket) dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yakni pertama gerbang langganan atau uang pas dan kedua gerbang pembayaran dengan uang kembalian. Jumlah gerbang pada gerbang uang kembalian adalah 7 (tujuh) unit dan jumlah gerbang pada gerbang langganan atau uang pas adalah 6 (enam) unit. Tingkat waktu pelayanan pada jam sibuk pagi adalah sebesar 13.757 detik/kendaraan untuk gerbang pembayaran uang kembalian dan 8.937 detik/kendaraan. Waktu pelayanan rata-rata setiap gerbang adalah sebesar 11,53 detik/kend atau kapasitasnya adalah 312 kend/jam setiap gerbang.

Apabila kita bandingkan antara kedatangan kendaraan dengan kapasitas pelayanan saat ini adalah sebesar $1,127465$ atau $\rho > 1$. Angka tersebut menunjukkan bahwa sistem pelayanan saat ini tidak mampu lagi melayani kedatangan kendaraan atau melebihi kapasitas pelayanan (MKP).

Untuk memecahkan permasalahan tersebut, maka dilakukan penambahan petugas aktif yang mempunyai kapasitas yang sama dengan pelayanan yaitu 312 kendaraan/jam. Dari hasil analisis data dan evaluasi yang telah dilakukan oleh peneliti diperoleh penambahan petugas aktif yang optimal adalah sebanyak 15

(limabelas) orang. Penambahan petugas aktif yang optimal tersebut diperoleh berdasarkan total biaya yang paling minimal yakni sebesar Rp. 55,762,-/jam..

6.2 Saran

Melihat jumlah antrian dan waktu menunggu yang ada, maka perlu suatu perbaikan terhadap pelayanan pada gerbang pembayaran. Untuk mengatasi persoalan ini, maka telah didesain dua jenis pelayanan, yakni langganan dan bukan langganan, walaupun demikian, kemacetan masih tetap terjadi mengingat pertumbuhan lalu lintas cukup tinggi dari tahun ke tahun.

Pada penelitian ini dilakukan penambahan petugas aktif untuk mengatasi kemacetan yang di gerbang pelayanan. Penambahan petugas aktif tersebut cukup efektif untuk menangani kemacetan yang ada pada saat ini. Walaupun demikian kita harus mempertimbangkan behavior dari manusia mengingat pelayanan aktif ini sangat mungkin manusia untuk berbuat curang karena tingkat pengontrolan keuangannya pada pelayanan aktif ini cukup sulit.

Mengingat beban lalu lintas yang tinggi pada jalan tol Jakarta-Cikampek untuk masuk kedalam Kota Jakarta untuk jangka panjang jalan tol yang berdiri diatas Kali Malang bisa terselesaikan mengingat jalan tol ini adalah salah satu akses masuk ke Kota Jakarta dari Wilayah Timur.

DAFTAR PUSTAKA

1. Morlok, Edward K (1985) "*Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*", Penerbit Erlangga Jakarta.
2. Sudjana , MA, MSc (1992), "*Metode Statistik Edisi Ke-5*", Penerbit Tarsito Bandung.
3. Anto Dajan (1974), "*Pengantar Statistik Jilid II*", Penerbit LP3ES Jakarta.
4. J Supranto (1995), "*Statistik Teori dan Aplikasi Jilid II*", Penerbit Erlangga Jakarta.
5. R.J Salter (1978), "*High Traffic Analysis and Design*", Published by The Macmilian Press Ltd.
6. Wolfgang S. Homburger (1982), "*Transportation and Traffic Engineering*", Handbook Institute of Transportation Engineers. Washinton . D. C.
7. Baerwald, J.E, May, 1997, "*The Traffic Engineering as a Witness Traffic Eng*".
8. State of Art Metropolitan Toronto Roads and Traffic Department, Toronto, March 1997, "*Improved Operation Of Urban Transportation System Vol I : Traffic Signal Control Strategies*".
9. Asthon, W.D, 1996, "*The Theory Of Road Traffic Flow*", Willey, New York.
10. Drew., W.D, 1967, "*Traffic Flow Theory and Control*", McGraw-Hill, New York.
11. Gazis, D.C, 1974, "*Traffic Siciece*", Willey, New York.
12. Haight, F.A, 1963, "*Mathematical Theories of Traffic Flow*" , Academic Press, New York.
13. Wohl, M, and B.V Martin, 1967, "*Traffic System Analysis For Engineers and Planners*", McGraw-Hill, New York.
14. P.M Morse. 1963, "*Queues, Inventories ang Maintenance*", Willey, New York.
15. D.R Cox and W.L Smith, 1961, "*Queues*", Methuen, London.
16. G.J Roth Paying For Roads, 1967, "*The Economical of Traffic Congestion*", Penguin, Harmondsworth.