



**KAJIAN MASALAH ANTRIAN PADA SISTEM
PENGUMPULAN TOL KONVENSIONAL TERHADAP
RANCANGAN SISTEM PENGUMPULAN TOL
ELEKTRONIK**

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh

**Sodikin
L4A004059**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2006**

HALAMAN PENGESAHAN**KAJIAN MASALAH ANTRIAN PADA SISTEM
PENGUMPULAN TOL KONVENSIONAL TERHADAP
RANCANGAN SISTEM PENGUMPULAN TOL
ELEKTRONIK****Disusun Oleh****Sodikin
L4A004059****Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :
1 September 2006****Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil****Tim Penguji**

- | | | |
|----------------------|---------------------------------------|-------|
| 1. Ketua | : Ir. Bambang Pudjianto, MT | |
| 2. Sekretaris | : Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA | |
| 3. Anggota 1 | : Ir. Wahyudi Kushardjoko, MT | |
| 4. Anggota 2 | : Ir. YI Wicaksono, MS | |

Semarang, 1 September 2006**Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana
Magister Teknik Sipil****Ketua,****Dr. Ir. Suripin, M.Eng**

ABSTRAKSI

Judul: Kajian Masalah Antrian pada Sistem Pengumpulan Tol Konvensional terhadap Rancangan Sistem Pengumpulan Tol Elektronik, Sodikin

Tingkat kedatangan rata-rata kendaraan yang melebihi tingkat pelayanan rata-rata di pintu tol menimbulkan antrian yang mengakibatkan kerugian waktu bagi para pengguna jalan tol. Untuk dapat mengatasi masalah antrian tersebut, maka perlu dilakukan kajian mengenai alternatif sistem pelayanan tol yang mempunyai kapasitas pelayanan lebih besar.

Kajian terhadap antrian pada sistem pengumpulan tol konvensional dengan pendekatan analisa model simulasi antrian dapat memberikan gambaran mengenai kerugian nilai waktu yang dialami oleh para pengguna jalan tol selama periode harian, mingguan maupun tahunan. Demikian juga untuk mengetahui efisiensi pada alternatif penambahan pintu tol, kombinasi pintu konvensional dengan dan efisiensi pada kombinasi jumlah pintu sistem pengumpulan konvensional dengan sistem pengumpulan elektronik.

Berdasarkan analisa simulasi antrian dan nilai waktu minimum pada *base year* Tahun 2005 sebesar Rp. 12.855,00 didapat bahwa kerugian nilai waktu yang dialami pengguna jalan tol yang melewati pintu tol Pondok Gede Timur akibat pengaruh antrian sebesar Rp. 212.067.819,39 per minggu, Rp. 1.060.339.096,95 per bulan dan Rp. 12.724.069.163,42 per tahun. Apabila tidak ada perbaikan kapasitas pelayanan, maka pada Tahun 2010 kerugian akan terakumulasi menjadi sebesar Rp. 477.555.711.015,17 dan pada Tahun 2015 akan terakumulasi menjadi sebesar Rp. 4.138.238.760.266,67.

Pemecahan masalah antrian pada pintu tol Pondok Gede Timur yang paling ideal yaitu dengan menerapkan kombinasi pintu pengumpulan konvensional dengan sistem pengumpulan elektronik. Selain mampu mereduksi antrian pada saat ini, juga mempunyai prospek yang paling ideal untuk memecahkan permasalahan sampai beberapa tahun ke depan. Kombinasi yang ideal untuk jumlah kombinasi 10 pintu sistem konvensional : 1 pintu sistem elektronik jika jumlah pengguna atau komuter sama atau lebih dari 14% dan kurang dari 33%, kombinasi 9 pintu sistem konvensional : 2 pintu sistem elektronik jika jumlah pengguna atau komuter sama atau lebih dari 33% dan kurang dari 52%, kombinasi 8 pintu sistem konvensional : 3 pintu sistem elektronik jika jumlah pengguna atau komuter sama atau lebih dari 52% dan kurang dari 76%, kombinasi 7 pintu sistem konvensional : 4 pintu sistem elektronik jika jumlah pengguna atau komuter sama atau lebih dari 76%.

Kata kunci: antrian, sistem pengumpulan konvensional, sistem pengumpulan tol elektronik, nilai waktu, kombinasi pintu paling efisien

ABSTRACT

Title: Comparative Study for Queuing Between Conventional Toll System and Electronic Toll Collection Design

If the mean of services time rate in toll gate is higher than vehicles arrival rate, queuing is happened. In order to eliminate queuing, study for alternative toll service system that able to decrease of service capacity and solve the problem is needed.

The queuing study for conventional toll services system by deterministic analitical simulation approach model be able to figure out the losing time value along daily, weekly and annually. The effeciency of this approach model would also be known.

Base on the queuing simulation model and minimum value of time in base year 2005 show that the time loosed by drivers in Pondok Gede Toll Gate are Rp. 212,067,819.00 per week, Rp 1,060,339,096.00 per month, and Rp. 12,724,069,163.00 per year. If the toll service system operation is not improve, the losing time values for 5 years would increase to Rp. 477,555,711,015.00 and the accumulative losing time values for 10 years would be Rp. 4,138,238,760,266.00.

The ideal problem solving for the queuing in Pondok Gede Timur Toll Gate is electronic toll collection system. It may reduce the vehicles queue for today and future. The ideal combination of conventional system with electronic system are 10 gates for conventional and 1 gate for electronic services system if the commuter user higher or equal than 14% and lower than 33%, 9 gates for conventional and 2 gates for electronic services system if the commuter user higher or equal than 33% and lower than 52%, 8 gates for conventional and 3 gates for electronic services system if the commuter user higher or equal than 52% and lower than 76%, 7 gates for conventional and 4 gates for electronic services system if the commuter user higher than 76%.

Key words: queuing, conventional toll system, electronic toll system, time value, effective combination

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Ta'ala karena berkat dan rahmatNya Tesis yang telah direvisi berdasarkan masukan, koreksi dan usulan yang diberikan oleh para pembimbing dan penguji ini dapat diselesaikan. Terimakasih juga disampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Suripin, M.Eng selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Undip
2. Bapak Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA selaku Ketua Program Studi Transportasi Magister Teknik Sipil Undip dan sekaligus sebagai Pembimbing II
3. Bapak Ir. Bambang Pudjianto, MT selaku Pembimbing I
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Transportasi Magister Teknik Sipil Undip
5. Bapak dan Ibu Karyawan Magister Teknik Sipil Undip
6. Rekan-rekan satu angkatan dan satu kost "Tegalsari"
7. Istri dan anak-anakku tercinta

Tesis ini merupakan hasil penelitian yang mencakup secara keseluruhan materi Tesis dan telah melewati pembahasan dalam Seminar I, Seminar II dan Seminar III, namun bukan berarti sebagai jaminan akan kesempurnaan Tesis ini. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun tetap diharapkan untuk memberikan hasil yang lebih baik.

Besar harapan bahwa Tesis ini dapat memberikan manfaat keilmuan bagi para pembaca, para pengambil kebijakan transportasi, PT Jasa Marga dan penulis sendiri. Semoga sedikit goresan ini dapat memberikan warna bagi dunia transportasi dan dapat menjadi salah satu kontribusi dalam pemecahan masalah kemacetan di pintu tol khususnya.

Penyusun

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Permasalahan	1
1.2. Pokok Permasalahan	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Pembatasan Permasalahan	4
1.5. Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian Jalan Tol dan Pintu Tol	7
2.1.1. Jalan Tol	7
2.1.2. Pintu Tol	7
2.2. Teori Antrian	8
2.2.1. Tingkat Kedatangan	9
2.2.2. Tingkat Pelayanan	9
2.2.3. Jumlah Fasilitas Pelayanan	9
2.2.4. Disiplin Antrian	10
2.3. Analisis Proses Antrian di Pintu Tol	10
2.3.1. Antrian Deterministik dan Stokastik	11
2.3.2. Parameter Antrian	12
2.3.3. Simulasi Model Antrian	14
2.4. Sistem Pelayanan di Pintu Tol	16
2.4.1. Sistem Pengumpulan Konvensional	16
2.4.2. Sistem Karcis Langganan Tol	17
2.4.3. Sistem Pelayanan Gardu Pelayanan Cepat (GPC)	17
2.4.4. Sistem Pelayanan Kartu Berlangganan	17
2.4.5. Sistem Pelayanan dengan Uang Pas	17
2.4.6. Sistem Pelayanan dengan Gardu Tandem	17
2.4.7. Sistem Pelayanan Pre Paid Card (PPC)	18
2.4.8. Sistem Pelayanan <i>Credit Card</i>	18
2.4.9. Sistem Pelayanan Tarif Elastis (<i>Price Elasticities</i>)	18
2.4.10. Sistem Pengumpulan Elektronik atau <i>Electronic Toll Collection (ETC)</i>	18
2.5. Biaya Tundaan	19
2.5.1. Biaya Gabungan	20
2.5.2. Waktu Tempuh	20
2.5.3. Nilai Waktu	20
2.6. Hubungan Antara Sistem Pengumpulan elektronik (ETC) dengan Pergerakan	22

BAB III METODOLOGI, ASUMSI DAN PROSEDUR PENELITIAN

3.1. Metodologi	24
3.1.1. Teknik Pengumpulan Data	26
3.1.2. Lokasi Pengumpulan Data	27
3.1.3. Waktu Pengumpulan Data	29
3.1.4. Alat yang Digunakan	29
3.2. Asumsi-asumsi yang Digunakan	29
3.2.1. Asumsi Sebelum Penerapan ETC (eksisting)	30
3.2.2. Asumsi Setelah Penerapan ETC	30
3.2.3. Asumsi terhadap Pengoperasian ETC	31
3.2.4. Asumsi-asumsi yang Digunakan sebagai Dasar dalam Perhitungan	31
3.3. Prosedur Analisis Penelitian	33

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data Hasil Penelitian	35
4.1.1. Pendugaan Distribusi Waktu Kedatangan dan Waktu Pelayanan	35
4.1.2. Validasi Data Waktu Kedatangan dan Waktu Pelayanan..	36
4.2. Karakteristik dan Hubungan antara Beberapa Komponen Antrian	36
4.2.1. Karakteristik Kendaraan.....	36
4.2.2. Karakteristik Pintu Pelayanan.....	38
4.2.3. Hubungan antara Waktu Pelayanan terhadap Antrian	39
4.2.4. Hubungan antara Volume Kendaraan dengan Antrian	40
4.2.5. Hubungan antara Rasio Tingkat Kedatangan dan Tingkat Pelayanan dengan Antrian	41
4.3. Analisa dan Pembahasan Penggunaan Model Antrian yang Sesuai	42
4.3.1. Model Antrian Deterministik Sederhana	43
4.3.2. Model Antrian Deterministik dengan Simulasi Antrian ..	45
4.4. Kalibrasi Model Antrian yang Digunakan	47
4.5. Analisa dan Pembahasan Waktu yang Hilang Akibat Antrian pada Sistem Pengumpulan Tol Konvensional.....	50
4.5.1. Jumlah Waktu yang Hilang Akibat Pengaruh Antrian	50
4.5.2. Akumulasi Nilai Waktu yang Hilang Akibat Pengaruh Antrian	52
4.6. Analisa dan Pembahasan Waktu Hilang dan Nilai Waktu Hilang pada Penambahan Jumlah Pintu Sistem Pengumpulan Konvensional	54
4.7. Analisa dan Pembahasan Waktu Hilang dan Nilai Waktu Hilang pada Kombinasi Jumlah Pintu Sistem Pengumpulan Konvensional : ETC.....	58
4.8. Analisa dan Pembahasan Waktu Hilang dan Nilai Waktu Hilang pada Kombinasi Jumlah Pintu Sistem Pengumpulan Konvensional : ETC.....	61
4.8.1. Akumulasi Nilai Waktu yang Hilang Akibat Pengaruh Antrian pada Kombinasi Jumlah Pintu untuk Sistem Pengumpulan Konvensional : ETC	69
4.8.2. Efisiensi yang Paling Optimal pada Kombinasi Jumlah Pintu pada Sistem Pengumpulan Konvensional : ETC.....	71
4.9. Analisa dan Pembahasan Antrian di Pintu dan di Ruas	72

BAB V	KESIMPULAN, SARAN DAN REKOMENDASI	
5.1.	Kesimpulan	
5.1.1.	Pola Distribusi Waktu Kedatangan	74
5.1.2.	Pola Distribusi Waktu Pelayanan	74
5.1.3.	Model Antrian yang Digunakan	74
5.1.4.	Nilai Waktu yang Hilang pada Sistem Pengumpulan Tol Konvensiobal	75
5.1.5.	Nilai Waktu Hilang dan Efisiensi yang Dihasilkan pada Penambahan Jumlah Pintu Konvensional.....	75
5.1.6.	Nilai Waktu Hilang dan Efisiensi yang Dihasilkan pada Kombinasi Sistem Pengumpulan Konvensional dengan Sistem GPC	76
5.1.7.	Nilai Waktu Hilang dan Efisiensi yang Dihasilkan pada Kombinasi Sistem Pengumpulan Konvensional dengan Sistem ETC	77
5.2.	Rekomendasi	78
5.2.1.	Penambahan Jumlah Pintu sebagai Solusi Masalah Antrian di pintu tol PGT.....	79
5.2.2.	Penerapan Kombinasi Sistem Pelayanan Konvensional dan GPC sebagai Solusi Masalah Antrian di pintu tol PGT....	79
5.2.3.	Penerapan Kombinasi Sistem Pelayanan Konvensional dan ETC sebagai Solusi Masalah Antrian di pintu tol PGT....	80
5.3.	Saran	81
5.3.1.	Bagi Peneliti	81
5.3.2.	Bagi Pihak Pengelola Jalan Tol (PT. Jasa Marga)	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN		
A.	Tinjauan Statistik terhadap Data Survey	84
B.	Asumsi-asumsi yang Digunakan sebagai Dasar dalam Perhitungan	88
C.	Pengolahan Data dengan Model Antrian	106
D.	Kalibrasi terhadap Model yang Sesuai untuk Digunakan	112
E.	Perhitungan Waktu Hilang Akibat Antrian pada Berbagai Alternatif Sistem Pelayanan.....	117
F.	Perhitungan Nilai Waktu Hilang Akibat Antrian pada Berbagai Alternatif Sistem Pelayanan	151

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Kriteria tingkat pelayanan	16
2.2.	Nilai waktu setiap golongan kendaraan	21
2.3.	Nilai waktu minimum (Rupiah/Jam/Kendaraan)	22
2.4.	Klasifikasi pergerakan orang di perkotaan berdasarkan maksud perjalanan	22
4.1.	Contoh proses perhitungan model antrian sederhana	44
4.2.	Contoh proses perhitungan model antrian dengan simulasi (Lin & Su).	46
4.3.	Waktu tempuh kendaraan uji pada ruas Jalan Tol Jakarta-Cikampek	48
4.4.	Waktu rata-rata kendaraan di dalam sistem dari simulasi antrian Lin & Su	49
4.5.	Waktu hilang rata-rata yang dialami oleh kendaraan per hari	51
4.6.	Nilai waktu hilang pada pintu konvensional	53
4.7.	Waktu hilang untuk penambahan jumlah pintu konvensional	55
4.8.	Efisiensi pada Penambahan 17 Gardu Konvensional	57
4.9.	Waktu hilang pada kombinasi pintu konvensional : GPC	58
4.10.	Efisiensi yang dihasilkan oleh kombinasi 6 : 5	60
4.11.	Waktu hilang rata-rata pada kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC	62
4.12.	Waktu hilang rata-rata per hari pada berbagai jumlah komuter (pengguna ETC)	65
4.13.	Nilai waktu hilang per tahun dan komulatif nilai waktu hilang per tahun	69
4.14.	Efisiensi nilai waktu pada kombinasi 9 : 2	71
4.15.	Kriteria Tingkat Pelayanan	72
4.16.	Kriteria tingkat pelayanan pada pintu tol Pondok Gede Timur	73

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
2.1.	Antrian kendaraan yang terbentuk di pintu gerbang tol dengan disiplin antrian FIFO	10
2.2.	Bagan pendekatan proses analisa antrian	12
3.1.	Bagan alur penelitian yang dilakukan	25
3.2.	Denah lokasi pengumpulan data	28
4.1.	Pengaruh peninjauan waktu pelayanan per golongan kendaraan terhadap panjang antrian di pintu tol	37
4.2.	Fluktuasi volume arus lalu lintas yang menuju pintu tol PGT (periode 15 menit selama 24 jam)	38
4.3.	Pengaruh waktu pelayanan terhadap lama waktu antrian	39
4.4.	Pengaruh lama antrian di pintu terhadap waktu pelayanan	40
4.5.	Pengaruh volume kendaraan terhadap lama waktu antrian	40
4.6.	Pengaruh rasio tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan terhadap panjang antrian	41
4.7.	Pengaruh rasio tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan terhadap lama antrian	42
4.8.	Waktu hilang akibat antrian di pintu tol terhadap penambahan gardu pelayanan konvensional.....	56
4.9.	Waktu hilang akibat antrian pada kombinasi pintu pelayanan konvensional : GPC dengan pengguna GPC 50%	59
4.10.	Hubungan waktu hilang akibat antrian terhadap kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC	64
4.11.	Hubungan persentase komuter (pengguna) dengan waktu hilang di antrian pada penerapan kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC	68

DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

Lambang dan Notasi

α	Taraf signifikansi
λ	Tingkat kedatangan
μ	Tingkat pelayanan
ρ	Rasio tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan
δ	Nilai rata-rata (mean)
τ	Standar deviasi
dk	Derajat kebebasan (df = degree of freedom)
\bar{n}	jumlah kendaraan atau orang dalam sistem (kendaraan atau orang per satuan waktu)
\bar{q}	jumlah kendaraan atau orang dalam antrian (kendaraan atau orang per satuan waktu)
\bar{d}	waktu kendaraan atau orang dalam sistem (satuan waktu)
\bar{w}	waktu kendaraan atau orang dalam antrian (satuan waktu)
G_{cp}	biaya gabungan untuk pergerakan angkutan pribadi (dalam satuan rupiah)
ψ	biaya operasi kendaraan per satuan jarak (dalam satuan rupiah)
D	jarak pergerakan (dalam satuan jarak)
v	nilai waktu per satuan waktu (dalam satuan rupiah)
T_v	waktu selama dalam angkutan pribadi (dalam satuan waktu)
C	biaya parkir atau tol (versi Tamin)
C	Kapasitas pelayanan (versi Alvinsyah)
L	Panjang kendaraan di dalam sistem

Singkatan

ST	Service time atau waktu pelayanan (versi Lin & Su)
WP	Waktu pelayanan (versi Tamin)

ABSTRACT

Title: Queuing Comparison Study for Conventional Toll Services with Electronic Toll Collection Design, Sodikin

If the mean of services time rate in toll plazas freeway higher than vehicles arrival rate, it must be queuing happened. In order that queuing eliminated, it need study for alternative toll service system that able to decrease of service capacity and solve the problem.

The queuing study for conventional toll services system by deterministic analitical simulation approach model describe the losing time value along daily, weekly and annual periodes. The effeciency of this approach would be known too.

The analyzed by the queuing simulation model and value of time in base year results that the time loosed by drivers in Pondok Gede Toll Plaza are Rp. 212,067,819.00 per week, Rp 1,060,339,096.00 per month, and Rp. 12,724,069,163.00 per year. If the toll service system operation should not decrease, the losing time values for 5 years have been growing to Rp. 477,555,711,015.00 and the accumulative losing time values for 10 years until Rp. 4,138,238,760,266.00.

The ideal problem solving for the queuing in Pondok Gede Timur Toll Plaza is electronic toll collection system. It will be reducing the vehicles queue for today and future. The ideal combination of conventional system with electronic system is 9 gates for conventional and 2 gates for electronic services system.

Key words: queuing, conventional toll system, electronic toll system, time value, effective combination

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai permasalahan yang terjadi oleh panjangnya antrian di pintu tol menyebutkan bahwa antrian panjang di pintu tol terjadi oleh karena adanya tingkat kedatangan (*flow rate*) kendaraan yang menuju ke pintu tol tidak seimbang dengan tingkat pelayanan (*service rate*) di gardu-gardu pelayanan.

Berdasarkan asumsi bahwa satuan waktu yang diperlukan oleh unit pelayanan adalah tetap, maka lama waktu yang dialami oleh setiap kendaraan yang datang pada sistem pelayanan merupakan lama waktu kumulatif, dengan demikian maka waktu terlama akan dialami oleh kendaraan yang datang paling akhir. Hal ini otomatis akan dialami oleh setiap kendaraan yang datang menuju pintu pelayanan karena proses kedatangan sendiri bersifat tidak terbatas. Antrian akan selesai atau kendaraan tidak lagi mengalami antrian pada saat satuan pelayanan sudah seimbang dengan lama waktu antar kedatangan.

Lama waktu kumulatif yang dialami oleh kendaraan seperti diatas, merupakan kerugian waktu produktif yang terbuang bagi para pengguna jalan. Kerugian waktu tersebut dapat diukur dengan parameter nilai waktu.

Sistem pengumpulan tol yang dioperasikan di Indonesia masih menggunakan sistem pengumpulan tol konvensional (tradisional) yaitu sistem pengumpulan tol yang dilakukan dengan transaksi secara manual baik pada sistem terbuka maupun tertutup. Sistem pengumpulan tol konvensional membutuhkan waktu yang relatif tidak sedikit bagi para pengguna jalan tol, karena setiap kendaraan diharuskan untuk berhenti selama beberapa waktu untuk mendapatkan pelayanan petugas pengumpulan tol. Selain itu pada waktu tertentu dimana terjadi jam sibuk para pengguna jalan tol harus melakukan antrian yang dibarengi dengan gerakan percepatan, perlambatan dan berhenti berkali-kali. Singkatnya, bahwa sistem pengumpulan tol konvensional telah merugikan waktu sedemikian besar bagi para pengguna jalan tol, sehingga mengakibatkan besarnya biaya akibat antrian sebagai implikasi oleh besarnya nilai waktu yang terbuang bagi masing-masing kendaraan.

Sejauh ini sistem pengumpulan tol yang dianggap paling mampu untuk mengurangi antrian atau mereduksi nilai waktu yang dialami oleh kendaraan adalah sistem pengumpulan elektronik atau *Electronic Toll Collection (ETC)*. Sistem ETC telah banyak digunakan oleh berbagai negara di Amerika, Eropa, Asia dan Australia. Di USA dikenal

dengan sebutan EZ-Pass, di Australia dikenal dengan istilah Citylink, sedangkan di Singapura dikenal dengan D-Link. Masing-masing mempunyai makna yang sama yaitu pintu pelayanan dengan menggunakan sistem ETC.

Sistem pengumpulan tol elektronik memiliki berbagai keuntungan, antara lain: mampu mereduksi antrian di tol plaza karena kemampuannya dalam meningkatkan kapasitas tingkat pelayanan di pintu tol, mampu menghemat bahan bakar dan mengurangi gas emisi kendaraan karena tidak diperlukan waktu antrian, mampu mengeliminasi terjadinya perlambatan, waktu tunggu dan percepatan, mampu mengurangi biaya pengumpulan tol, dan mampu meningkatkan kontrol terhadap arus lalu lintas melalui pusat kontrol account.

Electronic Toll Collection adalah suatu teknologi yang memungkinkan untuk melakukan pembayaran secara elektronik pada sistem pengumpulan tol. Sistem ini dioperasikan dengan menggunakan alat komunikasi yang ada atau terpasang pada kendaraan seperti *transponder*, *wireless* atau GPS untuk dideteksi dengan alat yang terpasang pada pintu tol yaitu *Automatic Vehicle Identification (AVI)*, *Automatic Vehicle Classification (AVC)* dan *Vehicle Enforcement System (VES)*, sehingga kendaraan yang melewati pintu tol tidak perlu berhenti dalam melakukan transaksi.

Selain berbagai keuntungan diatas, penggunaan sistem ETC memungkinkan untuk meningkatkan kualitas pelayanan pintu tol dan meningkatkan kepuasan pelanggan jalan tol. Disamping itu operator jalan tol juga diuntungkan karena sistem pengumpulan dengan ETC dalam meningkatkan kapasitas pelayanan di pintu tol tidak perlu dengan melakukan penambahan gerbang baru, namun cukup dengan meningkatkan fasilitas pada gerbang yang telah ada sebelumnya.

Meningkatnya permintaan akan pelayanan lalu lintas kendaraan menyertai pengembangan wilayah metropolitan Jakarta dan wilayah pengaruh tetangganya, yaitu Jawa Barat dan Banten. Pengaruh ini telah diantisipasi dengan berbagai usaha untuk memperkuat jaringan jalan di wilayah ini. Salah satu antisipasi yang dilakukan pemerintah yaitu dengan pembangunan jalan tol bebas hambatan regional. Jalan tol yang dimaksud adalah Jalan Tol Jagorawi dan Jalan Tol Jakarta – Cikampek.

Untuk jalan tol Jakarta – Cikampek menjadi bagian yang sangat vital dari sistem jalan tol di wilayah Jakarta dan sekitarnya. Jalan tol tersebut mempunyai peran penting dalam mendistribusikan lalu lintas di kawasan urban sebelah timur Jakarta serta mendistribusikan lalu lintas regional dari arah timur menuju atau melintas kawasan Jakarta Kota. Selain itu

jalam tol ini diharapkan dapat mengatasi kemacetan-kemacetan yang sebelumnya terjadi di banyak ruas jalan arteri utama, khususnya pada persilangan – persilangan jalan.

Locus pada penelitian ini adalah pintu tol Pondok Gede Timur, berdasarkan pertimbangan bahwa pintu tol Pondok Gede Timur memiliki waktu antrian yang cukup lama bila dibandingkan dengan beberapa pintu tol lain, terutama pada kondisi jam sibuk pagi dan jam sibuk sore. Selain itu pintu tol Pondok Gede Timur sejauh ini masih menggunakan sistem pengumpulan tol konvensional (tradisional).

Pintu tol Pondok Gede Timur merupakan salah satu pintu pada ruas jalan tol Jakarta-Cikampek yang berfungsi sebagai pintu keluar (*exit*) dari arah Cikampek dan dioperasikan dengan sistem tertutup. Pintu tol Pondok Gede Timur merupakan ruas jalan tol yang mempunyai volume kendaraan terbesar di Jakarta. Kendaraan yang lewat atau keluar di pintu tol Pondok Gede Timur adalah kendaraan yang masuk melalui beberapa pintu masuk (*entry*) sebelumnya antara lain pintu tol Cikampek, Kalihurip, Karawang Timur, Karawang Barat, Cikarang Timur, Cikarang Barat, Cibitung, Bekasi Timur dan Bekasi Barat. Kontribusi kendaraan masuk terbesar diberikan oleh Bekasi Barat yaitu rata-rata 26% per tahun disusul dari arah Bekasi Timur sekitar 15% per tahun, dari Cikampek sebesar 12% per tahun dari Cibitung dan Cikarang masing-masing sekitar 11% per tahun, selebihnya dari beberapa pintu masuk yang lain.

Pintu Tol Pondok Gede Timur memiliki 22 pintu dimana 11 pintu melayani arus kendaraan dari arah Jakarta dan 11 pintu melayani arus kendaraan dari arah Cikampek. Jumlah pintu yang dioperasikan pada pintu tol Pondok Gede Timur dari arah Cikampek rata-rata 11 pintu per hari, walaupun pada waktu jam sibuk dioperasikan beberapa pintu dengan menggunakan metode tidal. Biasanya untuk mengurangi antrian yang panjang ditambahkan beberapa pintu dengan menonaktifkan pintu dari arah Jakarta untuk dioperasikan sebagai pintu keluar dari arah Cikampek.

1.2. Pokok Permasalahan

Sistem pengumpulan konvensional memiliki berbagai kelemahan terutama terjadinya waktu pelayanan yang relatif lama saat melakukan transaksi oleh pengguna jalan tol sehingga menimbulkan antrian yang panjang, khususnya pada jam sibuk pagi dan sore.

Kajian mengenai suatu alternatif pengumpulan tol yang mampu memberikan pelayanan secara efektif dalam mengurangi antrian di pintu tol perlu untuk dilakukan. Sehingga diharapkan dapat memberikan pelayanan dengan cepat dan tidak menimbulkan

antrian panjang, memberikan kualitas pelayanan yang optimal kepada pemakai jalan tol serta bersahabat pada lingkungan.

Yang menjadi hal mendasar dalam memecahkan masalah ini yaitu dengan menyeimbangkan antara interval waktu kedatangan (*time headway*) dengan kemampuan waktu pelayanan (*time service*) yang dilakukan di pintu tol. Melakukan pengaturan waktu (*headway*) antar kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol merupakan hal yang tidak mungkin dilakukan mengingat distribusi kedatangan tidak beraturan dan tidak terbatas. Oleh karena itu kemungkinan yang dapat dilakukan yaitu dengan mempersingkat lama waktu pelayanan pada sistem pelayanan di pintu tol.

Penambahan fasilitas pintu baik penambahan sistem paralel maupun seri (*tandem*) cenderung membutuhkan lahan yang luas dan mempunyai efektifitas peningkatan pelayanan yang rendah. PPC (*pre paid card*) yang pernah dicobakan juga menjadi tidak efektif lagi ketika para pelanggan kurang disiplin dalam hal perawatan dan penggunaan kartu tersebut.

Peningkatan kemampuan alat yang mampu melayani lebih cepat merupakan cara yang paling sesuai untuk dilakukan. Oleh karena itu maka perlu dilakukan suatu penelitian yang mengarah kepada pemanfaatan suatu sistem pelayanan yang mampu melayani dengan cepat, akurat dan handal serta mampu mereduksi lamanya antrian kendaraan di pintu tol secara signifikan. Sistem pelayanan dimaksud mengarah kepada sistem pengumpulan elektronik.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui besarnya biaya akibat antrian berdasarkan besarnya nilai waktu yang dialami oleh kendaraan pada sistem pengumpulan konvensional di pintu tol Pondok Gede Timur dan mengkaji seberapa jauh efektifitas rencana penerapan sistem pengumpulan tol elektronik.

1.4. Pembatasan Permasalahan

Batasan dan asumsi permasalahan dalam penelitian ini antara lain:

1. Permasalahan dan biaya antrian berdasarkan nilai waktu yang dibahas dalam penelitian ini hanyalah untuk kasus di pintu tol Pondok Gede Timur, untuk kasus di pintu lain dapat dilakukan penelitian sejenis dan disesuaikan dengan karakteristik yang ada.
2. Tinjauan terhadap ruas jalan Tol Jakarta-Cikampek adalah satu arah, yaitu ruas jalan yang berasal dari arah Cikampek menuju arah Jakarta.

3. Tinjauan terhadap pintu pelayanan Pondok Gede Timur adalah satu arah, yaitu pintu yang melayani kendaraan dari arah Cikampek menuju arah Jakarta.
4. Model antrian
 - a. Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO (*first in first out*)
 - b. Jumlah kendaraan yang masuk diasumsikan tidak terbatas.
5. Perhitungan volume lalu lintas yang melewati jalan tol dan jumlah kendaraan yang memasuki pintu tol adalah pada saat kendaraan pada kondisi pergerakan arus bebas (*free flow*) atau tidak terpengaruh *traffic control* (proses pelayanan di pintu tol).
6. Pengaruh faktor-faktor mikroskopis seperti kondisi jalan, kendaraan dan perilaku pengemudi tidak sepenuhnya ditinjau dalam tesis ini. Hal ini dilakukan agar permasalahan yang kompleks tersebut dapat lebih sederhana.
7. Kondisi setelah penerapan ETC yaitu kondisi dimana pintu pelayanan terbagi menjadi 2 sistem pengumpulan tol dan dioperasikan secara bersamaan yaitu sistem konvensional bagi para pengguna tol yang belum memanfaatkan fasilitas ETC dan pintu pengumpulan ETC bagi yang telah memanfaatkan fasilitas ETC. Jumlah pintu yang dioperasikan total 11 pintu, dimana beberapa pintu tetap dipertahankan dengan sistem konvensional dan selebihnya dengan sistem ETC.
8. Asumsi mengenai kondisi antrian yang terjadi pada kedua sistem yang dioperasikan secara bersamaan adalah
 - a. Kondisi antrian di sistem pengumpulan konvensional
 - Kendaraan yang masuk ke sistem antrian dianggap akan membagi secara merata ke beberapa pintu yang masih dipertahankan beroperasi dengan sistem konvensional, sehingga dianggap saluran kedatangan tunggal dan fasilitas pelayanan tunggal (*single channel-single phase*)
 - Tingkat kedatangan dianggap tidak tetap, tetapi tingkat pelayanan tetap, sehingga termasuk dalam proses antrian deterministik
 - b. Kondisi antrian di sistem pengumpulan elektronik (ETC). Kendaraan yang masuk ke sistem antrian dianggap akan membagi secara merata ke beberapa pintu yang beroperasi dengan sistem ETC, sehingga dianggap saluran kedatangan tunggal dan fasilitas pelayanan tunggal (*single channel-single phase*)
 - c. Pengguna pengumpulan elektronik (ETC) diprioritaskan bagi pengguna tol yang secara rutin (komuter) menggunakan fasilitas jalan tol. Sebagai standar asumsi perhitungan, maka pengguna jalan tol yang melewati pintu tol di lokasi penelitian minimum 4 kali dalam seminggu. Bagi pengguna yang melewati pintu tersebut

kurang dari 3 kali dalam seminggu, dilayani dengan sistem pengumpulan konvensional.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tesis ini adalah:

- Bab I berisi permasalahan yang melatarbelakangi pemilihan judul dan tema dalam tesis, perumusan permasalahan yang ada untuk dijadikan pokok-pokok permasalahan yang akan dijawab dalam tesis ini, tujuan yang akan dicapai dalam pengerjaan tesis, dan pembatasan permasalahan yang ada sehingga tidak panjang lebar serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan tesis ini.
- Bab II berisi tentang berbagai kutipan dari pustaka yang digunakan baik yang berasal dari *teks book*, jurnal, maupun artikel pada koran, majalah dan *website*. Berbagai kutipan yang disuguhkan adalah hal-hal yang berkaitan dengan tesis ini, seperti kutipan mengenai pengertian jalan tol, pintu tol, teori antrian, nilai waktu, berbagai sistem pelayanan tol, khususnya sistem pelayanan tol dengan pengumpulan tol konvensional dan sistem pelayanan tol dengan pengumpulan tol elektronik (*electronic toll collection*).
- Bab III berisi tentang metodologi yang digunakan dalam penyusunan tesis, termasuk cara pengumpulan data, lokasi pengambilan data, maupun waktu pengambilan data. Memuat juga mengenai berbagai asumsi yang digunakan serta prosedur dalam melakukan analisis.
- Bab IV berisi tentang hasil analisa data dan pembahasannya. Sistematika analisa data meliputi pengujian mengenai distribusi data dan pengujian terhadap validitas data, pengolahan data dengan model antrian beserta kalibrasinya dan analisa mengenai perbandingan efektifitas pelayanan antara beberapa kombinasi jumlah pintu sistem pelayanan konvensional dengan sistem pelayanan elektronik dimana nilai waktu sebagai parameternya.
- Bab V berisi tentang kesimpulan, saran dan rekomendasi. Kesimpulan didasarkan atas hasil analisa pada bab sebelumnya. Saran didasarkan pada beberapa masalah yang dihadapi atau kemungkinan pengembangan dari penelitian yang dapat dilakukan pada penelitian sejenis diwaktu yang akan datang. Rekomendasi diberikan kepada peneliti dan pihak yang dimungkinkan untuk memanfaatkan hasil penelitian ini untuk kepentingan yang terkait dengan tema penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Jalan Tol dan Pintu Tol

Jalan adalah prasarana hubungan darat yang diperuntukkan bagi lalu lintas kendaraan, orang dan hewan. Jalan dikelompokkan dalam jalan umum dan jalan khusus. Jalan umum adalah jalan yang diperuntukkan untuk lalu lintas umum. Jalan khusus adalah jalan selain yang termasuk jalan umum (Info Tol, 2005).

2.1.1. Jalan Tol

Jalan Tol adalah jalan umum yang kepada pemakainya dikenakan kewajiban membayar tol dan merupakan jalan alternatif lintas jalan umum yang telah ada. Peranan Jalan Tol Untuk melayani jasa distribusi utama yang mempunyai spesifikasi bebas hambatan agar dicapai tingkat efisiensi yang maksimal dalam penggunaan sumber daya. Sebagai pemacu pengembangan wilayah untuk mewujudkan keseimbangan perkembangan antar daerah (Info Tol, 2005).

Jalan Tol diselenggarakan dengan maksud untuk mempercepat perwujudan jaringan jalan dengan sebagian atau seluruh pendanaan berasal dari pengguna jalan untuk meringankan beban anggaran pemerintah (PP No. 15 Th 2005, Pasal 2 ayat 1).

Jalan Tol diselenggarakan dengan tujuan meningkatkan efisiensi pelayanan jasa distribusi guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi dan pengembangan wilayah dengan memperhatikan rencana induk jaringan jalan (PP No. 15 Th 2005, Pasal 2 ayat 2).

2.1.2. Pintu Tol

Gerbang tol atau pintu tol adalah tempat pelayanan transaksi tol bagi pemakai tol yang terdiri dari beberapa gardu dan sarana kelengkapan lainnya (Info Tol, 2005)

Penggunaan gerbang tol diatur sebagai berikut:

- a. Bangunan gerbang tol dipergunakan untuk pelaksanaan transaksi tol
- b. Di gerbang tol, pengguna wajib menghentikan kendaraannya untuk mengambil atau menyerahkan karcis masuk dan membayar tol
- c. Dilarang menaikkan atau menurunkan penumpang dan atau barang dan atau hewan di gerbang tol.

(PP No. 15 Th 2005, Pasal 25 ayat 4)

Gardu tol adalah ruang tempat bekerja pengumpul tol untuk melaksanakan tugas pelayanan kepada pemakai jalan tol.

- a. Pada sistem pengumpulan tol terbuka berfungsi untuk melayani pembayaran tol kepada pemakai jalan tol.
- b. Pada sistem pengumpulan tol tertutup berfungsi melakukan transaksi yang dapat dibedakan atas:
- c. Gardu masuk adalah untuk melayani pemberian karcis tanda masuk kepada pemakai jalan tol.
- d. Gardu keluar adalah untuk melayani pembayaran tol kepada pemakai jalan tol

(Info Tol, 2005)

2.2. Teori Antrian

Antrian panjang (sebut: kemacetan) di pintu tol pada umumnya terjadi karena adanya tingkat kedatangan (*flow rate*) tidak seimbang dengan tingkat pelayanan (*service rate*) di fasilitas pelayanan (Morlok, 1995).

Berdasarkan asumsi bahwa satuan waktu yang diperlukan unit pelayanan adalah tetap, maka lama waktu yang dialami oleh obyek (kendaraan) yang datang setelah obyek pertama yang masuk sistem pelayanan merupakan lama waktu kumulatif, dengan demikian maka waktu terlama akan dialami oleh obyek (kendaraan) yang datang paling akhir, selama disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO (*first in first out*). Hal ini otomatis akan dialami oleh setiap kendaraan yang datang menuju sistem antrian atau pintu pelayanan karena proses kedatangan sendiri bersifat tidak terbatas. Antrian akan selesai atau obyek (kendaraan) tidak lagi mengalami antrian pada saat satuan pelayanan sudah seimbang dengan lama waktu antar kedatangan (Taha, 1997).

Besarnya lama waktu hilang atau total waktu yang terbuang yang dialami kendaraan selama perjalanan yang diakibatkan oleh pintu tol adalah *pertama* pengaruh waktu perlambatan kendaraan saat akan memasuki sistem pelayanan (Hobbs, 1992), *kedua* pengaruh waktu untuk menghentikan kendaraan sehingga siap untuk dilayani atau melakukan antrian di belakang kendaraan yang melakukan antrian atau di belakang kendaraan yang sedang dilayani, *ketiga* pengaruh waktu pada saat melakukan antrian, *keempat* pengaruh waktu untuk menerima pelayanan (Morlok, 1995), *kelima* pengaruh waktu karena selesai dilayani dan bersiap untuk melanjutkan perjalanan dan *keenam* waktu karena melakukan percepatan kendaraan sampai pada kecepatan kendaraan yang diinginkan (Hobbs, 1995)

Komponen antrian yang utama dalam sistem antrian adalah tingkat kedatangan, tingkat pelayanan, jumlah fasilitas pelayanan, kapasitas pelayanan, dan aturan pelayanan atau disiplin antrian (Taha, 1997)

2.2.1. Tingkat Kedatangan

Tingkat kedatangan yang dinyatakan dengan notasi λ adalah jumlah kendaraan atau manusia yang bergerak menuju satu atau beberapa tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit (Tamin, 2003)

2.2.2. Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan yang dinyatakan dengan notasi μ adalah jumlah kendaraan atau manusia yang dapat dilayani oleh satu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit.

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

$$WP = 1/\lambda \dots\dots\dots (2.1)$$

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

$$\rho = \lambda/\mu < 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

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

2.2.3. Jumlah Fasilitas Pelayanan

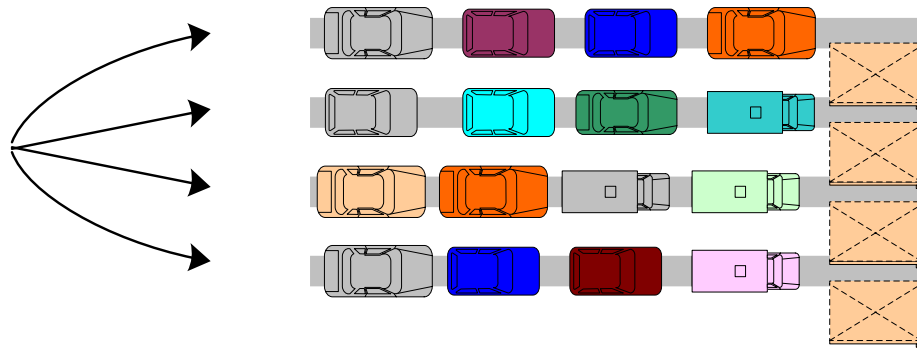
Pada situasi dimana terdapat banyak lajur masuk station dan juga tersedia banyak fasilitas pelayanan (*i.e. toll booths*), maka asumsi penggunaan fasilitas pelayanan tunggal

dapat dilakukan asalkan aliran kendaraan terbagi secara merata/sama diantara fasilitas-fasilitas pelayanan yang ada (Martin, 1967)

2.2.4. Disiplin Antrian

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

Disiplin antrian FIFO sangat sering digunakan di bidang transportasi dimana orang dan atau kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama. Sebagai contoh disiplin antrian FIFO adalah antrian kendaraan yang terbentuk di pintu gerbang tol (Tamin, 2003).



Gambar 2.1. Antrian kendaraan yang terbentuk di pintu gerbang tol dengan disiplin antrian FIFO

2.3. Analisis Proses Antrian di Pintu Tol

Proses terjadinya antrian terdiri dari 4 (empat) tahap

- a. Tahap I: tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) bergerak dengan suatu kecepatan tertentu menuju suatu tempat pelayanan. Besarnya arus lalu lintas yang datang disebut tingkat kedatangan (λ). Jika digunakan disiplin antrian FIFO dan terdapat lebih dari 1 (satu) tempat pelayanan (multilajur), maka diasumsikan bahwa tingkat kedatangan (λ) tersebut akan membagi dirinya secara merata untuk setiap tempat pelayanan sebesar (λ/N) dimana N adalah tempat pelayanan. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa

$$\lambda/N$$

$$\lambda/N$$

akan terbentuk N buah antrian berlajur tunggal dimana setiap antrian berlajur tunggal akan berlaku disiplin FIFO.

- b. Tahap II: tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) mulai bergabung dengan antrian yang menunggu untuk dilayani. Jadi waktu antrian dapat didefinisikan sebagai waktu sejak kendaraan mulai bergabung dengan antrian sampai dengan waktu kendaraan mulai dilayani oleh suatu tempat pelayanan.
- c. Tahap III: tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) dilayani oleh suatu tempat pelayanan. Jadi waktu pelayanan (WP) dapat didefinisikan sebagai waktu sejak dimulainya kendaraan dilayani sampai dengan waktu kendaraan selesai dilayani.
- d. Tahap IV: tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) meninggalkan tempat pelayanan melanjutkan perjalanan.

(Tamin, 2003)

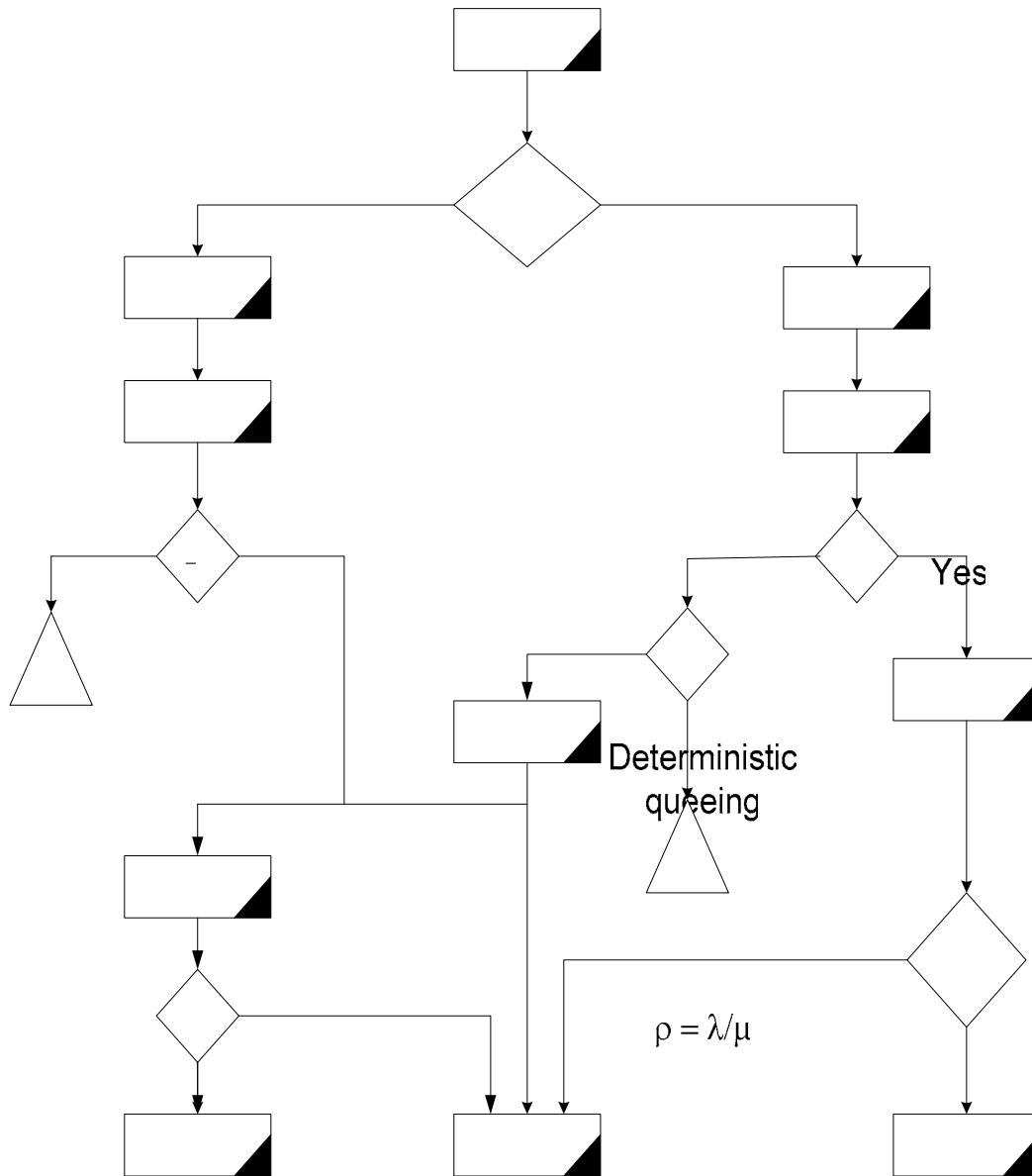
Ada dua teknik analisa yang dapat digunakan dalam mempelajari proses antrian, yaitu analisa dengan *shock wave* dan analisa antrian. Analisa *shock wave* dapat digunakan apabila hubungan antara demand dan kapasitas bersifat deterministik. Analisa antrian dapat digunakan baik pada yang bersifat deterministik maupun stokastik (May, 1990).

2.3.1. Antrian Deterministik dan Stokastik

Analisa antrian deterministik secara detail dapat dibedakan menjadi dua tingkatan. Analisa antrian dapat dilakukan pada tingkat makroskopik bila kedatangan dan pelayanan yang ada bersifat menerus. Sedangkan bila kedatangan dan pelayanan yang ada bersifat diskrit, maka analisa dilakukan pada tingkat mikroskopik (May, 1990)

Suatu perkiraan mengenai klasifikasi diperlukan untuk dapat mengakses karakteristik masukan untuk suatu analisa antrian, apakah termasuk dalam analisa deterministik ataukah termasuk dalam stokastik. Jika masing-masing distribusi kedatangan dan atau distribusi pelayanan probabilistik, kedatangan tetap dan atau waktu pelayanan pada masing-masing kendaraan tidak diketahui, maka pemilihan analisis antrian stokastik menjadi pilihan. Dilain sisi apabila waktu kedatangan dan waktu pelayanan pada masing-masing kendaraan diketahui maka kedua distribusi baik distribusi kedatangan maupun distribusi pelayanan adalah deterministik (May, 1990).

Bagan di bawah ini akan menunjukkan kapan proses antrian dianalisis menggunakan analisis antrian deterministik dan kapan menggunakan analisa antrian stokastik.



Gambar 2.2. Bagan pendekatan proses analisa antrian (May, 1990)

$\rho < 1.0$

2.3.2. Parameter Antrian

Terdapat 4 (empat) parameter utama yang selalu digunakan dalam menganalisa antrian yaitu \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} . Definisi dari setiap parameter tersebut adalah:

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

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

STOP

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

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

Persamaan berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} untuk disiplin antrian FIFO.

$$\bar{n} = \lambda / (\mu - \lambda) = \rho / (1 - \rho) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\bar{q} = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda) = \rho^2 / (1 - \rho) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\bar{d} = 1 / (\mu - \lambda) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\bar{w} = \lambda / \mu(\mu - \lambda) = \bar{d}^2 - 1/\mu \dots\dots\dots (2.6)$$

Beberapa asumsi yang diperlukan dalam penggunaan disiplin antrian FIFO adalah:

- a. Persamaan (2.3) sampai dengan (2.6) hanya berlaku untuk lajur tunggal dan dengan nilai $\rho = \lambda/\mu < 1$. Jika nilai $\rho > 1$, maka diharuskan menambah beberapa lajur tunggal (multilajur).
- b. Jika terdapat lebih dari 1 (satu) lajur (katakan N lajur), maka diasumsikan bahwa tingkat kedatangan (λ) akan membagi dirinya secara merata untuk setiap lajur sebesar λ/N , dimana setiap antrian berlajur tunggal akan dapat menggunakan persamaan (2.3) sampai (2.6).
- c. Kendaraan yang sudah antri pada suatu lajur antrian diasumsikan tidak boleh berpindah antrian ke lajur lainnya.
- d. Waktu pelayanan antar tempat pelayanan diasumsikan relatif sama atau dengan standar deviasi waktu pelayanan antar tempat pelayanan relatif kecil.

(Tamin, 2003)

Persamaan (2.7) sampai dengan (2.11) berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} untuk disiplin antrian FVFS

$$p(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{k\mu}{k\mu - \lambda}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\bar{n} = \frac{\lambda\mu (\lambda/\mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{\lambda}{\mu} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda \mu (\lambda / \mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0) \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\bar{d} = \frac{\mu (\lambda / \mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{1}{\mu} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\bar{w} = \frac{\mu (\lambda / \mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

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

(Tamin, 203), (Morlok, 1995), (Martin, 1967)

2.3.3. Simulasi Model Antrian

Jika intensitas lalu lintas lebih besar daripada 1 ($\rho > 1$), maka hanya dapat dipecahkan dengan pendekatan proses antrian ke proses antrian deterministik atau dengan melakukan penyesuaian dengan beberapa waktu pelayanan, variasi tingkat kedatangan rata-rata dan tingkat pelayanan rata-rata atau dengan cara terakhir yaitu dengan cara simulasi mikroskopik (May, 1990. hal 361).

Model hibrida yang mengkombinasikan tingkat pelayanan dan logika fuzzy untuk menentukan jumlah gerbang tol yang dioperasikan, telah dikembangkan. Model ini terdiri dari dua buah modul yaitu model prediksi lalu lintas yang menggunakan konsep logika fuzzy and model tingkat pelayanan yang digunakan untuk menghitung jumlah gerbang tol yang sesuai. Dari hasil simulasi ditunjukkan bahwa model hibrida ini mampu untuk menentukan jumlah gerbang secara optimal berdasarkan prediksi volume lalu lintas yang akan memanfaatkan gerbang dan hasil simulasi model menunjukkan konsistensi pada saat dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual (Alvinsyah, 2001).

Berdasarkan studi sebelumnya (Lin & Su, 1994), untuk suatu nilai panjang antrean rata-rata, waktu rata-rata didalam sistem dapat diestimasikan sebgai berikut:

$$T = \frac{1605 + 3250L}{C} \quad L \leq 15 \quad (2.12)$$

$$T = \frac{8748 + 2776L}{C} \quad L > 15 \quad (2.13)$$

$$C = \frac{60}{ST} \quad (2.14)$$

dimana,

T = waktu rata-rata didalam sistem, detik.

L = panjang rata-rata antrean, kendaraan.

C = kapasitas gerbang, kendaraan per jam.

ST = waktu pelayanan, detik.

Hubungan antara panjang rata-rata antrean dengan kapasitas gerbang dan rasio volume-kapasitas dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$L \approx 0 \quad \text{jika } \frac{V}{C} \leq 0.5 \quad (2.15)$$

$$L = 7 \frac{V}{C} - 3.5 \quad \text{jika } 0.5 \leq \frac{V}{C} \leq 0.93 \quad (2.16)$$

dan

$$L = 3 \left[1 + 6.29 \left(\frac{V}{C} - 0.93 \right) \left(\frac{C}{360} - 1 \right) \right] \left[1 + \left(14 \frac{V}{C} - 13 \right)^2 t \right] \quad \text{jika } \frac{V}{C} \geq 0.93 \quad (2.17)$$

dimana,

V/C = rasio volume-kapasitas.

t = durasi arus, jam.

(Lin & Su, 1994)

Didalam penelitiannya Lin & Su (1994), menyarankan suatu kriteria tingkat pelayanan yang didasarkan pada panjang rata-rata antrian dan waktu rata-rata didalam sistem antrian seperti yang ditunjukkan didalam tabel berikut:

Table 2.1. Kriteria tingkat pelayanan

Tingkat Pelayanan	Panjang rata-rata antrean, L (kendaraan)	Waktu rata-rata didalam sistem, T (detik/kendaraan)
A	≤ 1	≤ 15
B	$1 < L \leq 2$	$15 < T \leq 30$
C	$2 < L \leq 3$	$30 < T \leq 45$
D	$3 < L \leq 6$	$45 < T \leq 60$
E	$6 < L \leq 10$	$60 < T \leq 80$
F	> 10	> 80

Sumber : Lin & Su (1994)

2.4. Sistem Pelayanan di Pintu Tol

Sistem pelayanan di pintu tol adalah suatu cara pengoperasian yang diselenggarakan oleh pengelola pintu tol untuk melakukan pengumpulan tol atau transaksi pembayaran tol yang dilaksanakan oleh pengguna jalan tol.

Pengumpulan tol dapat dilakukan secara sistem tertutup dan/atau sistem terbuka dengan memperhatikan kepentingan pengguna dan efisiensi pengoperasian jalan tol serta kelancaran lalu lintas (PP No. 15 Th 2005, Pasal 39 ayat 1). Pada saat melakukan transaksi di gerbang tol, pengguna jalan wajib menghentikan kendaraannya saat mengambil atau menyerahkan kembali karcis masuk dan atau membayar tol, kecuali dengan sistem pengumpulan tol elektronik (PP No. 15 Th 2005, Pasal 41 ayat 4 butir b).

2.4.1. Sistem Pengumpulan Konvensional

Sistem Pengumpulan konvensional atau Pelayanan Tradisional adalah sistem pelayanan tol yang masih menerapkan transaksi tol secara langsung di gerbang tol. Sistem ini dibedakan antara sistem terbuka dan sistem tertutup. Sistem Terbuka adalah sistem transaksi tol dimana pemakai jalan hanya berhenti satu kali di gerbang tol untuk membayar tol. Sistem Tertutup adalah sistem transaksi tol pada ruas tertutup, dimana pada ruas tersebut terdapat gerbang masuk dan gerbang keluar kendaraan. Pada pengumpulan tol tertutup ini, setiap kendaraan yang memasuki jalan tol harus mengambil kartu masuk dan pada saat keluar jalan tol harus mengembalikan kartu masuk tersebut disertai dengan pembayaran tol (Info Tol, 2005).

2.4.2. Sistem Karcis Langganan Tol

Karcis langganan tol ini merupakan karcis yang dapat digunakan untuk pembayaran pada jalan tol. Karcis ini selain digunakan sebagai alat untuk mempermudah dan mempercepat transaksi pada jalan tol, juga dapat digunakan oleh pelanggan (pengguna jalan tol) yang setiap hari melewati jalan tol. Untuk sementara karcis ini belum dapat digunakan pada setiap ruas, tetapi hanya pada ruas-ruas tertentu. Karcis langganan tol tersebut dapat dibeli pada gardu tol. Pembelian Karcis Langganan Tol minimal 10 lembar dan mendapat potongan 10%. Karcis langganan tol mempunyai masa berlaku 1 bulan. Apabila tidak terpakai tidak bisa diuangkan kembali (Info Tol, 2005).

2.4.3. Sistem Pelayanan Gardu Pelayanan Cepat (GPC)

Untuk memenuhi kebutuhan pemakai jalan yang menginginkan pelayanan cepat, PT Jasa Marga menyediakan fasilitas yang memungkinkan pelayanan 6 detik per kendaraan (biasanya 20 detik per kendaraan). Pengadaan fasilitas ini berakibat seperti menambah dua gardu dengan kecepatan pelayanan biasa (Majalah Teknik Jalan dan Transportasi No. 078 Jan/Februari Thn. IX).

2.4.4. Sistem Pelayanan Kartu Berlangganan

Kartu langganan tol ini merupakan kartu magnetik jenis stratum, yang telah terisi nilai Rupiah tertentu serta sistem pengamanan yang diperlukan, sehingga dapat digunakan untuk transaksi/pembayaran tol. Untuk sementara kartu ini belum dapat digunakan pada setiap ruas, tetapi hanya pada ruas-ruas tertentu. Kartu langganan tol tersebut dapat dibeli di kantor Cabang Jagorawi dan cabang-cabang Bank Exim di Jakarta (Info Tol, 2005).

2.4.5. Sistem Pelayanan dengan Uang Pas

Gardu tol yang khusus melayani pembayaran tol tanpa uang kembalian (uang pas) dan atau dengan karcis/kartu langganan tol (Info Tol, 2005).

2.4.6. Sistem Pelayanan dengan Gardu Tandem

Gardu tol yang terletak di belakang gardu utama yang berfungsi untuk melayani pembayaran tol yang sama dengan gardu utama (Info Tol, 2005).

Kebijakan sistem tandem terlihat sangat efektif, karena dapat menurunkan waktu pelayanan menjadi 50%. Akan tetapi, persyaratan utama dalam penerapan sistem tandem adalah waktu pelayanan antar kendaraan harus relatif sama. Jika hal ini tidak terpenuhi,

maka dapat dipastikan kinerja sistem tandem malah akan menjadi jauh lebih jelek dibandingkan dengan sistem biasa (Tamin, 2003).

2.4.7. Sistem Pelayanan Pre Paid Card (PPC)

PT. Jasa Marga akan memperkenalkan sistem pembayaran tiket masuk jalan tol berupa kartu yang berbentuk seperti kartu telepon. Sistem kartu langganan ini akan diresmikan Maret 1996. kartu ini disebut *prepaid card* atau kartu pembayaran dimuka (Republika, 30 Desember 1995)

2.4.8. Sistem Pelayanan Credit Card

Beberapa alternatif untuk dapat mempersingkat lama waktu pelayanan di sistem pelayanan terus diupayakan diantaranya seperti yang dilakukan di NJTA (*New Jersey Transroute and ASF*) yaitu dengan mempergunakan *ticket magnetic*, beberapa gardu *intransce* sudah dioperasikan otomatis tanpa tenaga manusia, pendataan hasil tol di monitor oleh komputer di Toll Plaza yang dihubungkan dengan komputer di Pusat Pemrosesan Data (Berita Jalan Tol, No. 37 Th. IV 1985).

2.4.9. Sistem Pelayanan Tarif Elastis (*Price Elasticities*)

Price Elasticities bagi pengguna tol sesuai dengan waktu kedatangan kendaraan di pintu tol akan mampu mengurangi kemacetan di pintu tol pada jam sibuk. Agregat biaya yang besar pada periode jam sibuk dan diskon pada periode lain akan menyebarkan waktu kendaraan yang datang ke pintu tol. Kemacetan yang terjadi pada jam sibuk akan berkurang secara signifikan diakibatkan pertimbangan biaya dan karakteristik yang dimiliki oleh pengguna jalan tol (Burriss, 2003).

2.4.10. Sistem Pengumpulan Elektronik atau *Electronic Toll Collection (ETC)*

Electronic Toll Collection adalah suatu teknologi yang memungkinkan untuk melakukan pembayaran secara elektronik pada sistem pengumpulan tol. Sistem ETC dioperasikan dengan menggunakan alat komunikasi yang terpasang pada kendaraan dengan alat yang terpasang pada sisi jalan yang disebut *Automatic Vehicle Identification (AVI)*, *Automatic Vehicle Classification (AVC)* dan *Vehicle Enforcement System (VES)*. Peralatan ETC dapat dioperasikan secara tradisional dengan cara pengumpulan tol secara manual pada gerbang tol. Pada perkembangannya ETC lebih banyak dioperasikan dengan

sistem elektronik sehingga memungkinkan untuk dilakukannya transaksi pembayaran tol dalam kondisi kendaraan tetap berjalan (Smith, 2003)

Sistem ETC banyak digunakan oleh berbagai negara dalam melakukan transaksi pengumpulan tol karena berbagai keuntungan:

- mereduksi antrian di tol plasa karena kemampuannya dalam meningkatkan kapasitas tingkat pelayanan di pintu tol
- menghemat bahan bakar dan mengurangi gas emisi kendaraan
- mengeliminasi terjadinya perlambatan, waktu tunggu dan percepatan
- mengurangi biaya pengumpulan tol

Penggunaan sistem ETC memungkinkan untuk meningkatkan kualitas pelayanan pintu tol dan meningkatkan kepuasan pelanggan jalan tol. Disamping itu operator jalan tol juga diuntungkan karena penerapan ETC tidak perlu dengan melakukan penambahan gerbang baru, namun cukup dengan meningkatkan fasilitas pada gerbang yang telah ada sehingga dapat menghemat biaya pengoperasiannya (Smith, 2003).

Dengan menggunakan fasilitas *Electronic Toll Collection* (ETC), kendaraan tidak perlu berhenti di tol plasa, hal ini berbeda dengan cara pembayaran yang tradisional (Mc Donald and Stammer, 2001)

Untuk memberikan fasilitas pembayaran tol oleh pengguna jalan tanpa berhenti dan menggunakan uang yang tidak efisien dan tidak ramah lingkungan, TANFB (Taiwan Area National Freeway Bureau) saat ini tengah merencanakan untuk mempromosikan program *Freeway Electronic Toll Collection*. Program ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas pintu tol dengan mempersingkat waktu pembayaran, sehingga meningkatkan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan dan meminimalisasi polusi udara. Dengan peningkatan dan pengoperasian *electronic toll collection system*, kebijakan pembayaran tol secara langsung akan mengubah slogan “tua di jalan tol”. Untuk menyelaraskan peningkatan jalan tol yang cerdas, *electronic toll collection system* harus diintegrasikan dengan *Electronic Toll & Transportation Management System (ETTM)* untuk diterapkan sebagai aplikasi dari *Intelligent Transportation System (ITS)* (TANFB, 2004).

2.5. Biaya Tundaan

Biaya antrian atau biaya yang diakibatkan oleh tundaan dihitung berdasarkan 2 (dua) faktor yaitu (1) besarnya tundaan pada suatu ruas jalan dibandingkan dengan pada kondisi tanpa adanya tundaan dan (2) nilai waktu. Rata-rata besarnya tundaan pada periode jam sibuk pagi dan sore berdasarkan pada data observasi (SDSU, 1998)

2.5.1. Biaya Gabungan

Penelitian di Belanda (Tamin, 2003) menunjukkan bahwa ruas jalan yang dipilih pengendara memiliki jarak dan waktu sebagai atribut utama. Dalam proses pemilihan rute diasumsikan bahwa setiap pengendara akan memilih rute yang meminimumkan kombinasi linear antara jarak dan waktu, yang biasa dikenal dengan biaya gabungan.

Konsep biaya gabungan menggabungkan ketiga komponen utama dalam pemilihan rute (jarak, biaya, dan waktu) menjadi nilai tertentu yang mempunyai unit satuan biaya atau unit satuan waktu.

Sementara itu, biaya gabungan untuk pergerakan angkutan pribadi dapat dinyatakan dengan persamaan

$$G_{cp} = \psi D + vT_v + C \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

G_{cp} = biaya gabungan untuk pergerakan angkutan pribadi (dalam satuan rupiah)

ψ = biaya operasi kendaraan per satuan jarak (dalam satuan rupiah)

D = jarak pergerakan (dalam satuan jarak)

v = nilai waktu per satuan waktu (dalam satuan rupiah)

T_v = waktu selama dalam angkutan pribadi (dalam satuan waktu)

C = biaya parkir (atau tol)

(Tamin, 2000)

2.5.2. Waktu Tempuh

Waktu tempuh adalah waktu total perjalanan yang diperlukan, termasuk berhenti dan tundaan, dari suatu tempat ke tempat lain melalui rute tertentu. Waktu tempuh dapat diamati dengan metoda pengamat bergerak, yaitu pengamat mengemudikan kendaraan survei di dalam arus lalu lintas dan mencatat waktu tempuhnya (Tamin, 2000)

2.5.3. Nilai Waktu

Nilai waktu adalah sejumlah uang yang disediakan seseorang untuk dikeluarkan (atau dihemat) untuk menghemat satu unit waktu perjalanan. Nilai waktu biasanya sebanding dengan pendapatan per kapita, merupakan perbandingan yang tetap dengan tingkat pendapatan. Ini didasari asumsi bahwa waktu perjalanan tetap konstan sepanjang waktu, relatif terhadap pengeluaran konsumen (Tamin, 2000).

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengukur nilai waktu. Cambridge Systematics (1977) memperkirakan bahwa nilai waktu kendaraan untuk perjalanan komuter di Los Angeles bagi perjalanan non bisnis adalah 72% dari pendapatan mereka. MVA Consultant (1987) memperkirakan bahwa nilai waktu untuk komuter di Inggris berkisar antara 22% sampai dengan 55% dari pendapatan kotor untuk yang memiliki gaji tinggi dan diatas 100% untuk yang memiliki gaji rendah. Hensher (1989) memperkirakan bahwa nilai waktu bagi komuter di Australia adalah 28% dari pendapatan kotor mereka. Small (1992) merangkum dan melakukan penelitian lain dan akhirnya menyimpulkan bahwa “rata-rata nilai waktu yang masuk akal pada perjalanan ke tempat kerja adalah 50% dari tingkat pendapatan kotor” (SDSU, 1998)

Sampai saat ini, belum didapatkan besaran nilai waktu yang berlaku untuk Indonesia. Tabel berikut menampilkan besaran nilai waktu beberapa kajian yang pernah dilakukan.

Tabel 2.2. Nilai waktu setiap golongan kendaraan

Rujukan	Nilai waktu (Rp/jam/kendaraan)		
	Golongan I	Golongan IIA	Golongan IIB
PT. Jasa Marga (1990 – 1996)	12.287	18.534	13.768
Padalarang – Cileunyi (1996)	3.385 – 5.425	3.827 – 38.344	5.716
Semarang (1996)	3.411 – 6.221	14.541	1.506
IHCM (1995)	3.281	18.212	4.971
PCI (1979)	1.341	3.827	3.152
JIUTR Northern Extension (PCI, 1989)	7.067	14.670	3.659
Surabaya – Mojokerto (JICA, 1991)	8.880	7.960	7.980

Sumber : LAPI-ITB (1997), (Tamin, 2000)

Beberapa modifikasi dilakukan dengan memilih nilai waktu yang terbesar antara nilai waktu dasar yang dikoreksi menurut lokasi dengan nilai waktu minimum

$$\text{Nilai waktu} = \text{maksimum} \{(k \times \text{nilai waktu dasar}), \text{nilai waktu minimum}\} \dots (2.19)$$

Tabel di bawah merangkum nilai waktu minimum yang digunakan yang diperoleh berdasarkan beberapa faktor koreksi.

Tabel 2.3. Nilai waktu minimum (Rupiah/Jam/Kendaraan)

No	Kabupaten/Kodya	Jasa Marga			JIUTR		
		Gol I	Gol IIA	Gol IIB	Gol I	Gol IIA	Gol IIB
1.	DKI – Jakarta	8.200	12.369	9.188	8.200	17.022	4.246
2.	Selain DKI – Jakarta	6.000	9.051	6.723	6.000	12.455	3.107

Sumber : LAPI-ITB (1997), (Tamin, 2000)

Dengan demikian, nilai waktu yang berlaku untuk DKI-Jakarta, khususnya bagi kendaraan yang menggunakan jalan tol adalah sebesar Rp. 8.200,00 per kendaraan per jam untuk golongan I dan Rp. 12.369,00 per kendaraan per jam untuk golongan IIA serta Rp. 9.188 per kendaraan per jam untuk golongan IIB dan nilai waktu rata-rata minimum sebesar Rp. 8.287,00 per kendaraan per jam (Tamin, 2000).

2.6. Hubungan Antara Sistem Pengumpulan Elektronik dengan Pergerakan

Sebab terjadinya pergerakan dapat dikelompokkan berdasarkan maksud perjalanan. Biasanya maksud perjalanan dikelompokkan sesuai dengan ciri dasarnya, yaitu yang berkaitan dengan ekonomi, sosial, budaya, pendidikan dan agama. Jika ditinjau lebih jauh lagi akan dijumpai kenyataan bahwa lebih dari 90% perjalanan berbasis tempat tinggal, artinya mereka memulai perjalanannya dari tempat tinggal (rumah) dan mengakhiri perjalanannya kembali ke rumah (Tamin, 2000).

Tabel 2.4. Klasifikasi pergerakan orang di perkotaan berdasarkan maksud pergerakan

Aktivitas	Klasifikasi Perjalanan
I. EKONOMI a. Mencari nafkah b. Mendapatkan barang dan pelayanan	1. Ke dan dari tempat kerja 2. Yang berkaitan dengan bekerja 3. Ke dan dari toko dan keluar untuk keperluan pribadi Yang berkaitan dengan belanja atau bisnis pribadi
II. SOSIAL Menciptakan, menjaga hubungan pribadi	1. Ke dan dari rumah teman 2. Ke dan dari tempat pertemuan bukan di rumah
III. PENDIDIKAN	Ke dan dari sekolah, kampus dan lain-lain
IV. REKREASI DAN HIBURAN	1. Ke dan dari tempat rekreasi 2. Yang berkaitan dengan perjalanan dan berkendara untuk rekreasi
V. KEBUDAYAAN	1. Ke dan dari tempat ibadah 2. Perjalanan bukan hiburan ke dan dari daerah budaya serta pertemuan politik

Sumber : LPM-ITB (1996, 1997), (Tamin, 2000)

Perjalanan ke tempat kerja atau dengan maksud bekerja biasanya merupakan perjalanan yang dominan, dan karena itu sangat penting diamati secara cermat. Karena pola kerja biasanya dimulai jam 08.00 dan berakhir pada jam 16.00, maka waktu perjalanan untuk maksud perjalanan kerja biasanya mengikuti pola kerjanya. Dalam hal ini kita dapati bahwa pada pagi hari, sekitar jam 06.00 sampai dengan jam 08.00 dijumpai begitu banyak perjalanan untuk tujuan bekerja dan pada sore hari sekitar jam 16.00 sampai dengan jam 18.00 dijumpai banyak perjalanan dari tempat kerja ke rumah masing-masing. Karena dominannya kedua waktu tersebut, maka menghasilkan waktu jam puncak. Disamping kedua jam puncak tersebut dijumpai pula waktu lainnya, yaitu sekitar jam 12.00 sampai jam 14.00 pada saat itu para pekerja pergi untuk makan siang dan kembali lagi ke kantornya masing-masing. Tentu saja jumlah perjalanan yang dilakukan pada siang hari ini tidak sebanyak pada pagi atau sore hari mengingat makan siang dapat dilakukan di kantor atau di kantin sekitar kantor (Tamin, 2000).

BAB III

METODOLOGI, ASUMSI DAN PROSEDUR PENELITIAN

3.1. Metodologi

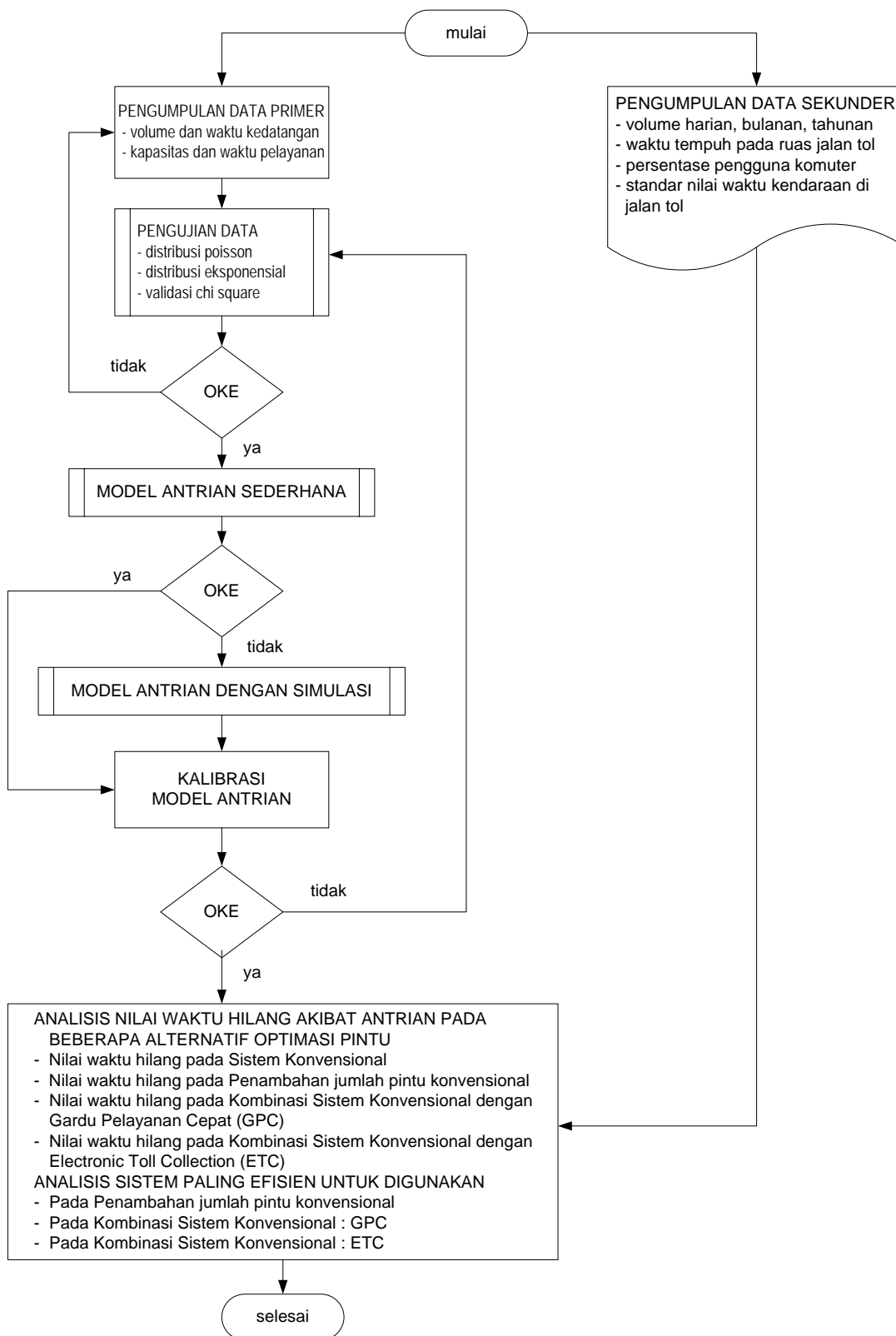
Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dari tahapan survey lapangan untuk mencari data primer. Survey lapangan yang dilakukan antara lain survey waktu kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol dan survey waktu pelayanan. Tujuan survey ini adalah untuk mengidentifikasi permasalahan antrian. Sedangkan data sekunder didapatkan dari pihak pengelola jalan tol, dalam hal ini PT. Jasa Marga, Tbk ataupun mitra kerjanya.

Selanjutnya hasil perhitungan dari data primer diuji dan divalidasi sesuai ilmu statistika untuk kemudian digunakan dalam melakukan kalibrasi ketepatan model antrian yang digunakan nantinya.

Hasil perhitungan kemudian dianalisa dengan menggunakan analisa teori antrian sederhana atau dengan model simulasi antrian dimana waktu hilang dan panjang kendaraan akibat antrian digunakan sebagai parameter dalam menentukan efisiensi dari sistem pelayanan yang digunakan. Sedangkan untuk menentukan sistem pelayanan yang paling efisien atau kombinasi pintu yang paling optimal ditentukan berdasarkan parameter nilai waktu.

Metode perhitungan dan analisa terhadap rancangan sistem pelayanan ETC dapat dilakukan berdasarkan asumsi atau data sekunder hasil penelitian PT. Jasa Marga sebelumnya. Sedangkan jumlah pintu yang dioperasikan dengan menggunakan sistem ETC disesuaikan dengan efisiensi yang optimal berdasarkan penggabungan atau kombinasi antara pintu konvensional dan ETC.

Untuk lebih membantu dalam memahami rencana penelitian ini, maka dapat digambarkan dalam diagram alur sebagai berikut :



Gambar 3.1. Bagan alur proses penelitian yang dilakukan

3.1.1. Teknik Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data yang dicari dibedakan menjadi dua kriteria sesuai dengan kebutuhan dan pentingnya data yang diperoleh, data yang dimaksud adalah :

- a. Data Primer, yaitu data yang diperoleh langsung dari pengukuran di lapangan dengan menggunakan kamera perekam. Data primer yang dicari tersebut meliputi :
 - Volume kendaraan dan waktu antar kedatangan (*headway*) kendaraan yang hendak memasuki pintu tol pada periode waktu tertentu.
 - Waktu pelayanan yang dibutuhkan oleh petugas pengumpulan tol untuk melayani satu kendaraan.
- b. Data Sekunder, yaitu data pendukung yang diperoleh dari sumber-sumber data dan tidak diperoleh langsung dari lapangan, tetapi diperoleh dari pihak terkait (dalam hal ini PT. Jasa Marga Cabang Jakarta-Cikampek). Data sekunder ini sifatnya hanya sebagai pelengkap dalam pembahasan dan pemecahan masalah. Data sekunder yang dicari meliputi :
 - 1) Data jumlah pengguna jalan tol pada ruas jalan tol Jakarta-Cikampek untuk periode harian, mingguan, bulanan dan tahunan (*time series*).
 - 2) Volume kendaraan dan waktu antar kedatangan (*headway*) kendaraan yang hendak memasuki pintu tol pada periode waktu tertentu (*time series*)
 - 3) Data *travel time* atau waktu tempuh kendaraan pada setiap ruas di jalan tol Jakarta-Cikampek.
 - 4) Data frekuensi pengguna jalan yang memanfaatkan jalan tol Jakarta-Cikampek, khususnya pengguna jalan komuter (lebih dari 3 kali dalam seminggu).
 - 5) Data nilai waktu (*time value*) untuk kendaraan yang melintas di jalan tol pada daerah DKI Jakarta.
 - 6) Data asal tujuan (OD) pengguna jalan tol Jakarta-Cikampek (*time series*)
 - 7) Gambaran umum tentang lokasi penelitian seperti gambar atau sketsa lokasi dan peta lokasi
 - 8) Informasi-informasi dari jurnal transportasi, paten dalam transportasi, media elektronik ataupun sumber lain
 - 9) Hasil wawancara baik formal maupun informal baik dengan pihak pengguna maupun pihak penyelenggara yang terkait atau mengerti dengan permasalahan yang menjadi tema dalam penelitian ini.

3.1.2. Lokasi Pengumpulan Data Penelitian

Lokasi dari tempat penelitian adalah ruas jalan tol Jakarta-Cikampek dan pintu tol Pondok Gede Timur. Untuk ruas jalan tol Jakarta-Cikampek merupakan ruas jalan tol yang mempunyai volume lalu lintas terbesar di Jakarta, namun penelitian pada ruas jalan tol ini hanya terbatas pada sepotong ruas jalan sebelum pintu tol dimana kendaraan yang lewat belum terpengaruh oleh adanya antrian di pintu tol.

Sedangkan lokasi penelitian berikutnya yaitu pintu tol Pondok Gede Timur, berdasarkan pertimbangan bahwa pintu tol Pondok Gede Timur memiliki waktu antrian yang cukup lama bila dibandingkan dengan beberapa pintu tol lain, terutama pada kondisi jam sibuk pagi dan jam sibuk sore. Selain itu pintu tol Pondok Gede Timur sejauh ini masih menggunakan sistem pengumpulan tol konvensional (tradisional).

Lokasi pengumpulan data di lapangan sesuai dengan kebutuhan dari data yang diperlukan dalam penelitian ini, yaitu:

a. Lokasi survey I atau titik pengamatan pertama

Lokasi pengumpulan data untuk mencari lama waktu pelayanan dan jumlah pintu tol yang dioperasikan. Tidak ada batasan yang baku bagi lokasi untuk mengukur lamanya waktu yang digunakan oleh petugas pengumpulan tol dan jumlah pintu yang dioperasikan, tetapi pada survey ini diprioritas waktu pelayanan pada saat terjadi jam sibuk, baik pagi maupun sore.

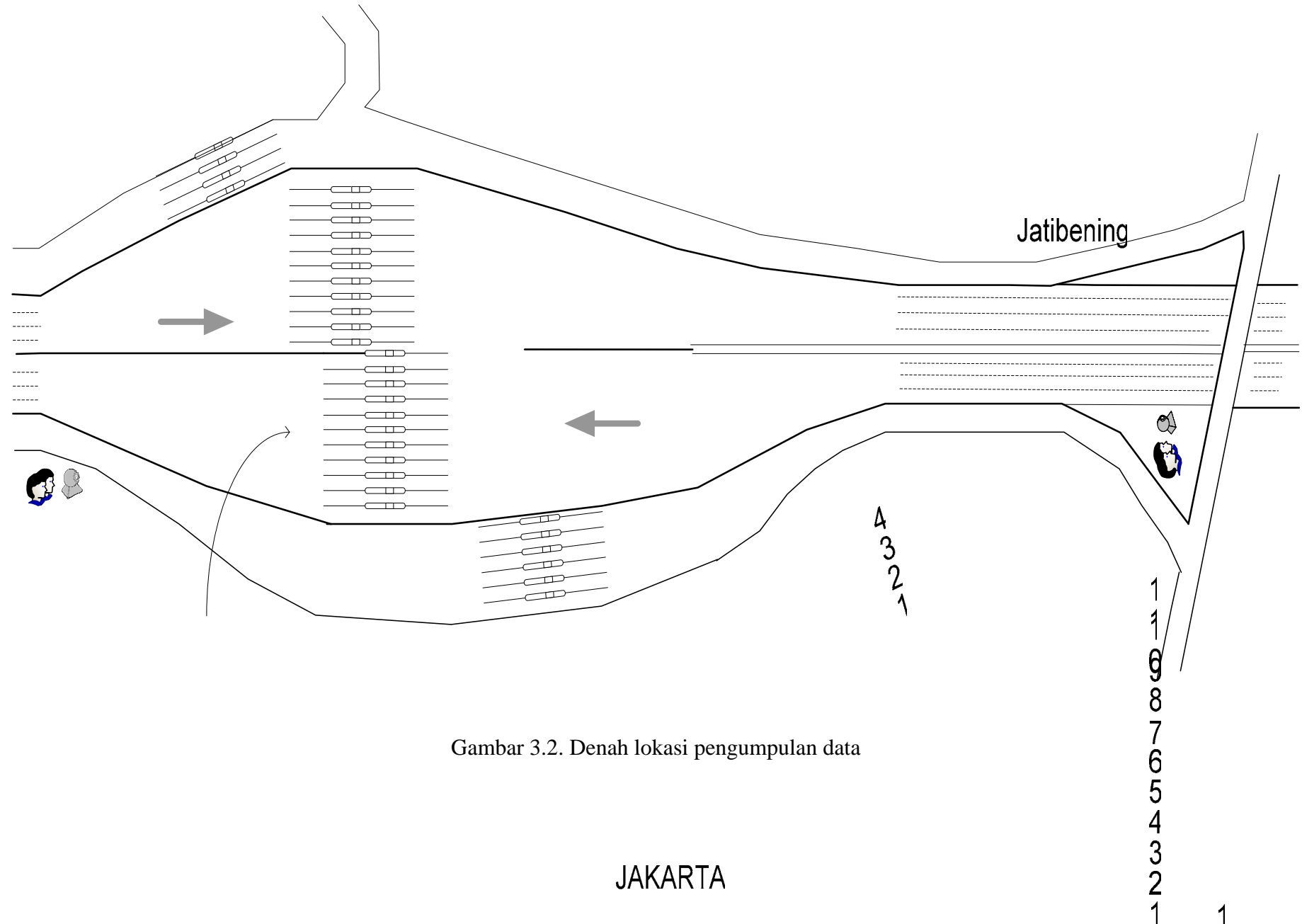
Dilakukan di tempat paling mudah dan paling jelas agar diperoleh hasil pengukuran yang teliti (seperti pada gambar 3.2).

b. Lokasi survey II atau titik pengamatan kedua

Lokasi untuk mendapatkan data volume dan waktu antar kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol.

Berdasarkan buku *Highway traffic Analysis and Design* karangan R.J. Salter, maka titik lokasi penelitian untuk mencari distribusi dari headway (kedatangan dari kendaraan) dalam arus lalu lintas dilakukan pada titik dimana *traffic control* terletak minimal satu kilometer dari pintu tol, terutama pada saat kendaraan dalam kondisi *free flow* (seperti pada gambar 3.2).

Apabila antrian melebihi satu kilometer, maka lokasi survey II menyesuaikan. Pada prinsipnya harus berada di lokasi dimana pergerakan kendaraan belum terpengaruh oleh adanya antrian di pintu tol dan tidak dipengaruhi oleh pertemuan arus lain (sebelum ram entrance dari Cakung).



Gambar 3.2. Denah lokasi pengumpulan data

3.1.3. Waktu Pengumpulan Data

Berdasarkan kecenderungan pergerakan selama seminggu (Tamin, 2000), maka sebaiknya pelaksanaan penelitian khususnya pengambilan data primer dilakukan antara Hari Senin sampai dengan Hari Kamis.

Dua hari diantara Senin dan Kamis digunakan untuk melakukan pengukuran volume kendaraan yang menuju pintu tol dan satu hari digunakan untuk mengukur waktu pelayanan pada masing-masing pintu pelayanan.

Untuk data volume harian, mingguan maupun bulanan diperoleh dari data sekunder milik pengelola jalan tol. Pencarian data sekunder diperkirakan membutuhkan waktu selama 2 sampai dengan 3 hari.

3.1.4. Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah :

1. *Handy cam*, untuk merekam semua hal yang berkaitan dengan item yang akan diteliti, baik pada survey I maupun survey II.
2. *Stop watch*, untuk mengukur lama waktu pelayanan dan mengukur lama periode pengukuran serta akan digunakan dalam mengukur waktu kedatangan antara kendaraan yang menuju pintu tol pada rekaman kamera.
3. *Hand counter*, untuk menghitung jumlah kendaraan yang menuju pintu tol. Baik pada penghitungan hasil rekaman maupun penghitungan langsung di lokasi
4. Arloji, untuk mengukur waktu pengukuran
5. Alat tulis
6. Formulir isian dari hal-hal yang diukur

3.2. Asumsi-asumsi yang Digunakan

Pintu Tol Pondok Gede Timur memiliki 22 pintu dimana 11 pintu melayani arus kendaraan dari arah Jakarta dan 11 pintu melayani arus kendaraan dari arah Cikampek. Jumlah pintu yang dioperasikan pada pintu tol Pondok Gede Timur dari arah Cikampek rata-rata 11 pintu per hari, walaupun pada waktu jam sibuk dioperasikan beberapa pintu dengan menggunakan metode tidal. Biasanya untuk mengurangi antrian yang panjang ditambahkan beberapa pintu dengan menonaktifkan pintu dari arah Jakarta untuk dioperasikan sebagai pintu keluar dari arah Cikampek.

Dalam penelitian ini asumsi jumlah pintu yang dioperasikan sebanyak 11 pintu dari arah Cikampek. Sedangkan asumsi-asumsi lain yang digunakan meliputi asumsi pada

kondisi sebelum penerapan sistem pengumpulan elektronik (ETC) atau kondisi eksisting dan kondisi sesudah penerapan ETC.

3.2.1. Asumsi Sebelum Penerapan ETC (eksisting)

Kondisi pada saat sistem pengumpulan belum menggunakan sistem ETC atau masih menggunakan sistem pengumpulan konvensional (eksisting) adalah sebagai berikut:

- Kendaraan yang masuk ke sistem antrian dianggap akan membagi secara merata ke 11 pintu yang ada sesuai teori antrian, sehingga dianggap saluran kedatangan tunggal dan fasilitas pelayanan tunggal (*single channel-single phase*)
- Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO
- Tingkat kedatangan dianggap tidak tetap, tetapi tingkat pelayanan tetap, sehingga termasuk dalam proses antrian deterministik

3.2.2. Asumsi Setelah Penerapan ETC

Kondisi setelah penerapan ETC yaitu kondisi dimana pintu pelayanan terbagi menjadi 2 sistem pengumpulan tol dan dioperasikan secara bersamaan yaitu sistem konvensional bagi para pengguna tol yang belum memanfaatkan fasilitas ETC dan pintu pengumpulan ETC bagi yang telah memanfaatkan fasilitas ETC. Jumlah pintu yang dioperasikan tetap 11 pintu, tetapi beberapa pintu tetap dipertahankan dengan sistem konvensional dan selebihnya dengan sistem ETC.

Asumsi mengenai kondisi antrian yang terjadi pada kedua sistem yang dioperasikan secara bersamaan adalah

- a. Kondisi antrian di sistem pengumpulan konvensional
 - Kendaraan yang masuk ke sistem antrian dianggap akan membagi secara merata ke beberapa pintu yang masih dipertahankan beroperasi dengan sistem konvensional, sehingga dianggap saluran kedatangan tunggal dan fasilitas pelayanan tunggal (*single channel-single phase*)
 - Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO
 - Tingkat kedatangan dianggap tidak tetap, tetapi tingkat pelayanan tetap, sehingga termasuk dalam proses antrian deterministik
- b. Kondisi antrian di sistem pengumpulan elektronik (ETC). Kendaraan yang masuk ke sistem antrian dianggap akan membagi secara merata ke beberapa pintu yang beroperasi dengan sistem ETC, sehingga dianggap saluran kedatangan tunggal dan fasilitas pelayanan tunggal (*single channel-single phase*)

3.2.3. Asumsi terhadap Pengoperasian Pengumpulan Tol Elektronik

Pengguna, jumlah pengguna dan jenis kendaraan serta sistem kerja pengoperasian ETC perlu diasumsikan sebagai berikut:

- a. Pengguna yang berhak mendapatkan pengumpulan elektronik (ETC) adalah pengguna yang telah melakukan registrasi dan pembayaran dimuka untuk memanfaatkan pintu pengumpulan elektronik (ETC) jalan tol atau pelanggan yang melakukan pra bayar.
- b. Pengguna pengumpulan elektronik (ETC) diprioritaskan bagi pengguna tol yang secara rutin (komuter) menggunakan fasilitas jalan tol. Sebagai standar asumsi perhitungan, maka pengguna jalan tol yang melewati pintu tol di lokasi penelitian minimum 4 kali dalam seminggu. Bagi pengguna yang melewati pintu tersebut kurang dari 3 kali dalam seminggu, dilayani dengan sistem pengumpulan konvensional.
- c. Jumlah pintu yang dioperasikan adalah 11 pintu dan pintu tol atau gardu pelayanan tol yang dioperasikan untuk pengumpulan elektronik (ETC) adalah sebagian kecil atau sebagian besar dari seluruh jumlah pintu yang ada sesuai hasil analisa efisiensi nilai waktu yang diharapkan.
- d. Jenis dan golongan kendaraan yang diproyeksikan memanfaatkan sistem pengumpulan elektronik (ETC) adalah golongan I, IIA atau IIB yang melakukan perjalanan komuter (lebih dari 3 kali selama seminggu)
- e. Pengguna yang melewati pintu tol sesuai rancangan sistem ETC akan dicatat dengan alat tertentu (AVI, AVC dan VES) dalam kondisi tidak berhenti saat melewati pintu tol.

3.2.4. Asumsi-asumsi yang Digunakan sebagai Dasar dalam Perhitungan

Untuk dapat melakukan perhitungan dan pengolahan dari data yang diperoleh baik dari data primer maupun sekunder, maka perlu disesuaikan dengan kebutuhan. Berdasarkan beberapa data yang diperoleh, maka dilakukan asumsi terhadap

- a. Data hasil survey primer mengenai volume kedatangan kendaraan menuju pintu tol Pondok Gede Timur (tingkat kedatangan) dengan periode per menit. Data ini hanya digunakan dalam menguji distribusi pola kedatangan kendaraan.
- b. Data hasil survey sekunder (PT. Jasa Marga Cabang Jakarta-Cikampek) berupa data volume kendaraan menuju pintu tol menuju pintu tol Pondok Gede Timur periode 15 menitan selama 24 jam pada Hari Minggu, Senin, Selasa, Rabu dan Kamis digunakan sebagai data untuk dianalisa. Volume pada hari yang tidak tersedia (Hari Jumat dan

Sabtu) diperoleh dari rata-rata volume pada hari kerja dari hari yang ada datanya (Senin, Selasa, Rabu dan Kamis).

- c. Data hasil survey primer mengenai lama waktu pelayanan kendaraan di pintu tol Pondok Gede Timur digunakan dalam menguji distribusi pola pelayanan di pintu tol dan lama waktu pelayanan rata-rata untuk analisa.
- d. Data hasil survey sekunder (PT. Jasa Marga Cabang Jakarta-Cikampek) berupa data jumlah pintu atau gerbang yang dibutuhkan berdasarkan volume kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur diasumsikan sebagai lama waktu pelayanan rata-rata (kapasitas pelayanan) yang dimiliki oleh pintu tol Pondok Gede Timur.
- e. Data hasil survey sekunder (PT. Jasa Marga Cabang Jakarta-Cikampek) berupa data volume lalu lintas kendaraan yang menuju pintu tol menuju pintu tol Pondok Gede Timur diasumsikan selama tahun 2003 sampai dengan 2005 digunakan sebagai dasar dalam menentukan pertumbuhan (r) volume lalu lintas kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur pada tahun-tahun berikutnya, dimana volume tahun 2005 sebagai *base year*. Total pertumbuhan volume rata-rata semua golongan kendaraan adalah 4,689%. Sedangkan masing-masing golongan I mempunyai pertumbuhan 4,366% per tahun, golongan IIA mempunyai pertumbuhan 4,150% per tahun dan golongan IIB mempunyai pertumbuhan 9,173% per tahun.
- f. Data hasil survey sekunder (literatur) mengenai Nilai Waktu yang digunakan diasumsikan dari data nilai waktu versi PT. Jasa Marga tahun 1996. Penentuan nilai waktu tahun-tahun berikutnya berdasarkan asumsi tingkat pertumbuhan sebesar 5,000% per tahun.
- g. Data hasil survey sekunder (PT. jasa Marga Cabang Jakarta-Cikampek) berupa survey kepuasan pelanggan yang memuat diantaranya mengenai frekuensi pengguna jalan tol selama seminggu dimana diperoleh data bahwa pengguna yang melewati jalan tol lebih dari 3 kali dalam seminggu sebanyak 49,86% digunakan sebagai dasar untuk menentukan jumlah pengguna sistem pelayanan ETC dan GPC.
- h. Lama waktu pelayanan rata-rata pada perhitungan antrian dengan pintu konvensional diperoleh berdasarkan rata-rata waktu pelayanan yang ditinjau berdasarkan lama waktu pelayanan rata-rata per golongan kendaraan. Golongan I mempunyai waktu pelayanan rata-rata 9,4195 detik, golongan IIA mempunyai waktu pelayanan 10,4257 detik dan golongan IIB mempunyai waktu 14,5956 detik.
- i. Lama waktu pelayanan rata-rata pada Gardu Pelayanan Cepat (GPC) diasumsikan sebesar 6 detik per kendaraan pada setiap gardu atau pintu.

- j. Lama waktu pelayanan rata-rata pada sistem pengumpulan tol elektronik (ETC) diasumsikan sebesar 2,4 detik per kendaraan pada setiap gardu atau pintu.

3.3. Prosedur Analisis Penelitian

Analisa terhadap data dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa tahapan analisis. Tahapan keseluruhan analisa yang dilakukan secara sistematis dapat dijelaskan seperti di bawah ini.

a. Uji statistik terhadap data penelitian

Setelah data waktu kedatangan kendaraan dan data waktu pelayanan di pintu tol diperoleh, maka sebelum data hasil pengukuran dilaksanakan di pintu tol perlu diuji terlebih dahulu. Pendugaan terhadap jenis distribusi kedatangan kendaraan dan sistem pelayanan di pintu dilakukan dengan paket program SPSS, untuk pendugaan terhadap data-data ini yang dipakai sebagai pedoman taksiran adalah titik koefisien variansi.

Selanjutnya dilakukan pengujian (validasi) terhadap data-data tersebut. Pengujian terhadap data ini dilakukan dengan menggunakan metode *goodness of fit chi-square*.

- b. Pengolahan data awal dengan menggunakan model antrian sederhana untuk memperoleh hasil perhitungan \bar{n} , \bar{q} , \bar{d} , dan \bar{w} . Bila model antrian sederhana tidak mampu menyelesaikan perhitungan, maka digunakan simulasi antrian. Simulasi antrian yang khusus membahas mengenai antrian di pintu tol adalah simulasi Lin dan Su.

- c. Kalibrasi terhadap rumusan antrian yang digunakan dibandingkan dengan kondisi sesungguhnya yang ada di lapangan. Bila kalibrasi menunjukkan kesesuaian, maka rumusan antrian yang digunakan dapat pula digunakan untuk menghitung besarnya waktu yang hilang akibat antrian dan untuk menghitung efisiensi pada berbagai perhitungan selanjutnya.

- d. Menghitung waktu hilang akibat antrian di pintu tol Pondok Gede Timur pada Sistem Pengumpulan Konvensional. Untuk memperoleh gambaran yang jelas, maka dihitung *time series*.

- e. Menghitung waktu hilang akibat antrian di pintu tol Pondok Gede Timur pada kombinasi antara Sistem Pengumpulan Konvensional dengan melakukan penambahan gerbang pada sistem pengumpulan Sistem Pengumpulan Konvensional. Untuk menentukan efisiensi optimal yang dapat diperoleh dari penambahan gerbang sistem pengumpulan konvensional ini, maka dilakukan beberapa jumlah pintu.

- f. Menghitung waktu hilang akibat antrian di pintu tol Pondok Gede Timur pada kombinasi antara Sistem Pengumpulan Konvensional dengan Sistem Pengumpulan dengan menggunakan sistem Gardu Pelayanan Cepat (GPC). Untuk menentukan efisiensi optimal yang dapat diperoleh dari kombinasi sistem pengumpulan konvensional dan GPC ini, maka dilakukan beberapa kombinasi jumlah pintu.
- g. Menghitung waktu hilang akibat antrian di pintu tol Pondok Gede Timur pada kombinasi antara Sistem Pengumpulan Konvensional dengan Sistem Pengumpulan dengan menggunakan sistem ETC. Untuk menentukan efisiensi optimal yang dapat diperoleh dari kombinasi sistem pengumpulan konvensional dan ETC ini, maka dilakukan beberapa kombinasi jumlah pintu.
- h. Selesai. Prosedur ini dapat juga dilihat pada gambar 3.1. Bagan alur penelitian yang dilakukan.

BAB IV

HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data Penelitian

Data yang diperoleh dari hasil penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yang diperoleh meliputi data jumlah kendaraan yang datang setiap menit selama periode 1 jam dan data lama waktu pelayanan pada setiap kendaraan yang melintas oleh petugas pengumpulan tol. Data sekunder sebagian besar diperoleh dari pihak PT. Jasa Marga Cabang Jakarta-Cikampek sesuai dengan lokasi penelitian yang dilakukan yaitu pintu tol Pondok Gede Timur dan ruas jalan tol Jakarta-Cikampek yang berada dalam wewenang Cabang Jakarta Cikampek.

Pertimbangan kelengkapan data dari PT. Jasa Marga dan pertimbangan kemahalan biaya dalam pencarian data primer, maka diputuskan untuk memanfaatkan data sekunder yang didapat dari PT. Jasa Marga untuk berbagai keperluan analisa dan perhitungan. Data primer yang diperoleh sifatnya hanya sebagai data pendukung terhadap data sekunder, baik sebagai pembanding maupun sebagai kontrol dalam memutuskan keakuratan penghitungan data nantinya.

Data primer jumlah kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol dan data waktu pelayanan digunakan secara utuh hanya untuk menentukan pola distribusi kedatangan dan pola distribusi pelayanan.

Sebelum data hasil survey digunakan terlebih dahulu dilakukan pengujian dengan uji validasi *goodness of chi-square* (χ^2). Pendugaan distribusi data dilakukan terhadap data waktu kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol dan pendugaan distribusi data terhadap waktu pelayanan yang dibutuhkan oleh pintu pelayanan terhadap kendaraan yang melintasi pintu tol.

4.1.1. Pendugaan Distribusi Waktu Kedatangan dan Waktu Pelayanan

Untuk pendugaan distribusi waktu kedatangan yang digunakan sebagai pedoman adalah taksiran titik koefisien variansi $\sigma(n)$ dimana $\sigma(n) = \sqrt{\tau^2(n) / x(n)}$, τ^2 (standar deviasi) dan $x(n)$ nilai rata-rata. Data distribusi waktu kedatangan dapat dikategorikan sebagai distribusi poisson bila $\sigma(n) < 1$.

Berdasarkan perhitungan terhadap data waktu kedatangan hasil survey primer selama 1 jam didapatkan nilai $\sqrt{\tau^2(n)} = 11,27332$ dan nilai $x(n) = 56,78330$. Dari

perhitungan terhadap nilai tersebut diperoleh hasil $\sigma(n) = 0,19853$ atau $\sigma(n) < 1$, sehingga dugaan bahwa distribusi waktu kedatangan terdistribusi secara poisson memang benar.

Pendugaan terhadap distribusi waktu pelayanan juga menggunakan taksiran titik koefisien variansi $\sigma(n)$ dimana $\sigma(n) = \sqrt{\tau^2(n) / x(n)}$, τ^2 (standar deviasi) dan $x(n)$ nilai rata-rata. Data distribusi waktu kedatangan dapat dikategorikan sebagai distribusi eksponensial $\sigma(n) < 1$.

Berdasarkan perhitungan terhadap data waktu pelayanan hasil survey primer didapatkan nilai $\sqrt{\tau^2(n)} = 4,10914$ dan nilai $x(n) = 10,3268$. Dari perhitungan terhadap nilai tersebut diperoleh hasil $\sigma(n) = 0,39791$ atau $\sigma(n) < 1$, sehingga dugaan bahwa distribusi waktu pelayanan terdistribusi secara eksponensial memang benar.

4.1.2. Validasi Data Waktu Kedatangan dan Waktu Pelayanan

Langkah-langkah dalam pengujian data waktu kedatangan dan data waktu kedatangan dengan alat uji chi square (χ^2) dimulai dengan menentukan hipotesa dimana apabila $(\chi^2)_{hitungan}$ tidak $>$ dari $(\chi^2)_{tabel}$ maka kesimpulan diterima. Nilai $(\chi^2)_{hitungan}$ diperoleh berdasarkan perhitungan dengan bantuan paket program SPSS. Sedangkan nilai $(\chi^2)_{tabel}$ diperoleh dari pembacaan tabel, dimana taraf signifikan α diambil 0.05.

Berdasarkan perhitungan dari paket program SPSS (lihat lampiran A.1) diperoleh nilai untuk data waktu kedatangan $(\chi^2)_{hitungan} = 21,400$ dan derajat kebebasan sebesar 32. Sedangkan dari hasil pembacaan tabel berdasarkan data waktu kedatangan diperoleh $(\chi^2)_{tabel} = 43,8$. Sehingga $(\chi^2)_{hitungan} = 21,4 < (\chi^2)_{tabel} = 43,8$ atau $(\chi^2)_{hitungan}$ tidak $>$ dari $(\chi^2)_{tabel}$ terpenuhi atau data waktu kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol dianggap valid.

Nilai untuk data waktu pelayanan berdasarkan perhitungan dengan paket program SPSS (lihat lampiran A.2) diperoleh $(\chi^2)_{hitungan} = 13,962$ dan derajat kebebasan 142. Sedangkan dari hasil pembacaan tabel berdasarkan data waktu kedatangan diperoleh $(\chi^2)_{tabel} = 124,3$. Dengan demikian $(\chi^2)_{hitungan} = 13,962 < (\chi^2)_{tabel} = 124,3$ atau $(\chi^2)_{hitungan}$ tidak $>$ dari $(\chi^2)_{tabel}$ terpenuhi atau data waktu pelayanan di pintu tol dianggap valid.

4.2. Karakteristik dan Hubungan antara Beberapa Komponen Antrian

4.2.1. Karakteristik Kendaraan

Kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur (PGT) bersifat menerus dan terdistribusi secara poisson. Sesuai dasar-dasar teori antrian, maka kendaraan

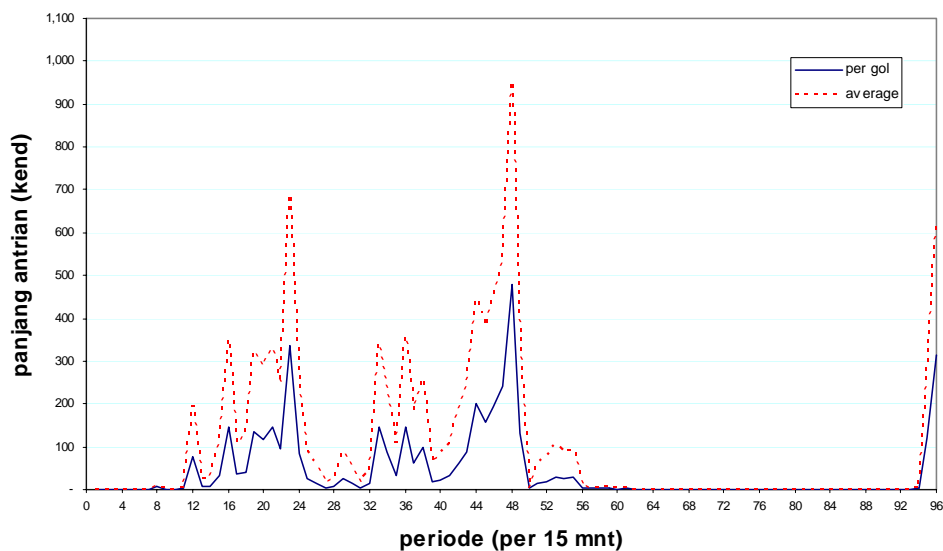
yang datang tidak akan mengalami penundaan (*reneging*) ataupun penolakan (*balking*) dan bersifat tidak terbatas.

Berdasarkan data sekunder volume kendaraan yang menuju pintu tol PGT, maka dibedakan berdasarkan jenis dan golongannya. Golongan kendaraan dibedakan dalam 3 (tiga) golongan yaitu golongan I (meliputi sedan, jip, pickup, bus kecil, truk kecil (3/4) dan bus sedang), IIA (meliputi truk besar dan bus besar dengan 2 gandar) dan IIB (meliputi truk besar dan bus besar dengan 3 gandar atau lebih). Jenis kendaraan dibedakan dari jenis pribadi, angkutan umum dan dinas. Sehingga dikenal Golongan I, Golongan I AU (angkutan Umum), Golongan IIA, Golongan II AU (angkutan umum), Golongan IIB dan Dinas.

Setiap golongan kendaraan diatas mempunyai lama waktu pelayanan yang berbeda, sehingga dalam analisa selanjutnya waktu pelayanan masing-masing golongan dibedakan. Adapun waktu pelayanan masing-masing golongan adalah Golongan I mempunyai waktu pelayanan rata-rata 9,4195 detik, golongan IIA mempunyai waktu pelayanan 10,4257 detik dan golongan IIB mempunyai waktu 14,5956 detik.

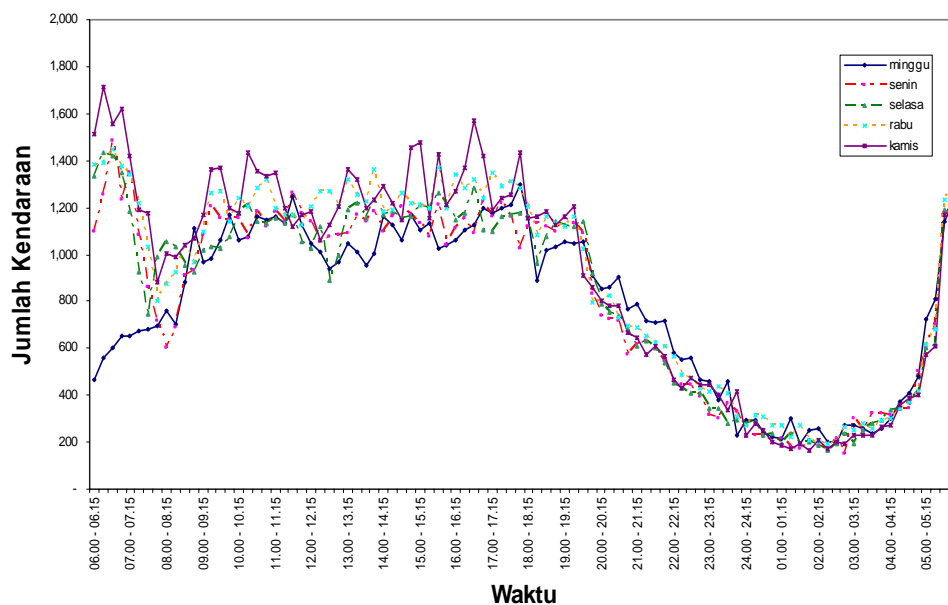
Pengaruh waktu pelayanan yang ditinjau berdasarkan golongan dan tanpa ditinjau masing-masing golongan ternyata cukup besar. Hal tersebut dapat dilihat dari gambar 4.1 dibawah

Gambar 4.1. Pengaruh peninjauan waktu pelayanan per golongan kendaraan terhadap panjang antrian di pintu tol



Berdasarkan hasil survey yang dilakukan oleh PT. Jasa Marga Cabang Jakarta-Cikampek, karakteristik fluktuasi volume arus lalu lintas yang menuju pintu tol PGT pada periode 15 menit selama hari atau 5 kali 24 jam dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah

**Gambar 4.2. Fluktuasi volume arus lalu lintas yang menuju pintu tol PGT
Periode 15 menit selama 24 jam**



Dari gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa jam sibuk pada hari kerja terjadi antara jam 06.00 s/d 07.00 dan jam 16.30 s/d 17.30 WIB. Hari yang paling besar volumenya terjadi pada Kamis. Sedangkan jam sibuk untuk hari libur tidak terjadi pada pagi hari dan pada siang hingga sore hari tidak terlihat fluktuasi yang ekstrim.

4.2.2. Karakteristik Pintu Pelayanan

Pintu pelayanan tol PGT adalah pintu merupakan termasuk dalam jenis pintu pelayanan tertutup dimana dari arah Cikampek ke Jakarta gerbang tol PGT sebagai pintu keluar dari beberapa pintu masuk sebelumnya antara lain dari pintu tol Cikampek, Kaliuhurip, Sadang, Karawang Timur, Karawang Barat, Cikarang Timur, Cikarang, Cibitung, Bekasi Timur, Bekasi Barat, Cakung Utara, Cakung Selatan dan Bintara. Porsi terbesar kendaraan yang masuk berasal dari Bekasi Barat yaitu rata-rata 26% per tahun disusul dari arah Bekasi Timur sekitar 15% per tahun, dari Cikampek sebesar 12% per tahun dari Cibitung dan Cikarang masing-masing sekitar 11% per tahun, selebihnya dari beberapa pintu masuk yang lain.

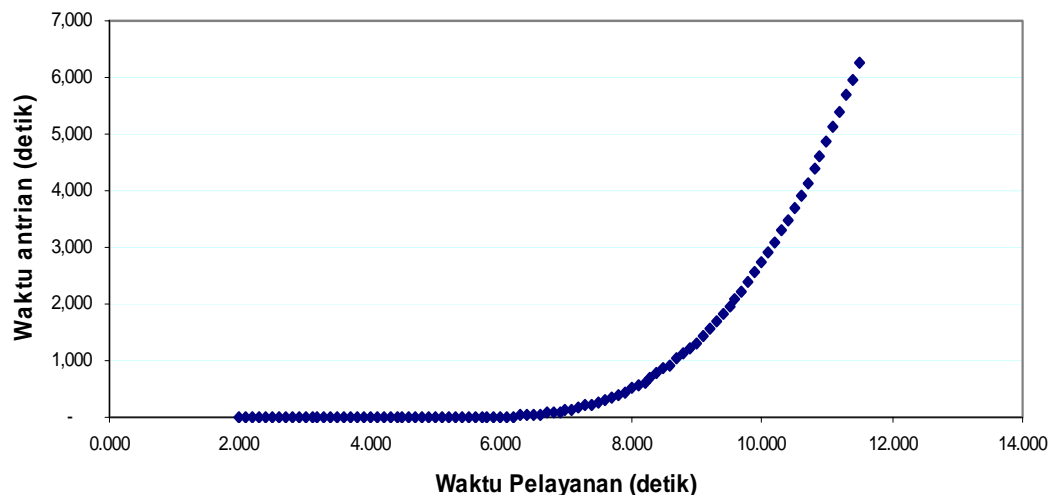
Jenis sistem pengumpulan tol yang dilaksanakan pada pintu tol PGT adalah dengan sistem konvensional, dimana transaksi masih menggunakan karcis sebagai bukti pembayaran, walaupun jenis pembelannya berupa pembelian kontan (*cash*) di lokasi maupun dengan cara pembelian langganan.

Jenis sistem kontan maupun langganan tidak berpengaruh banyak terhadap perbedaan lama waktu pelayanan di pintu keluar, seperti yang terjadi di pintu tol PGT, walaupun mungkin bermanfaat dalam mengurangi waktu pelayanan di pintu masuknya.

4.2.3. Hubungan antara Waktu Pelayanan terhadap Antrian

Besar kecilnya waktu pelayanan akan berpengaruh pada lamanya waktu antrian dan panjangnya kendaraan yang mengalami antrian dengan syarat bahwa jumlah pintu pelayanan dan volume kendaraan yang datang tetap.

Gambar 4.3. Pengaruh waktu pelayanan terhadap lama waktu antrian

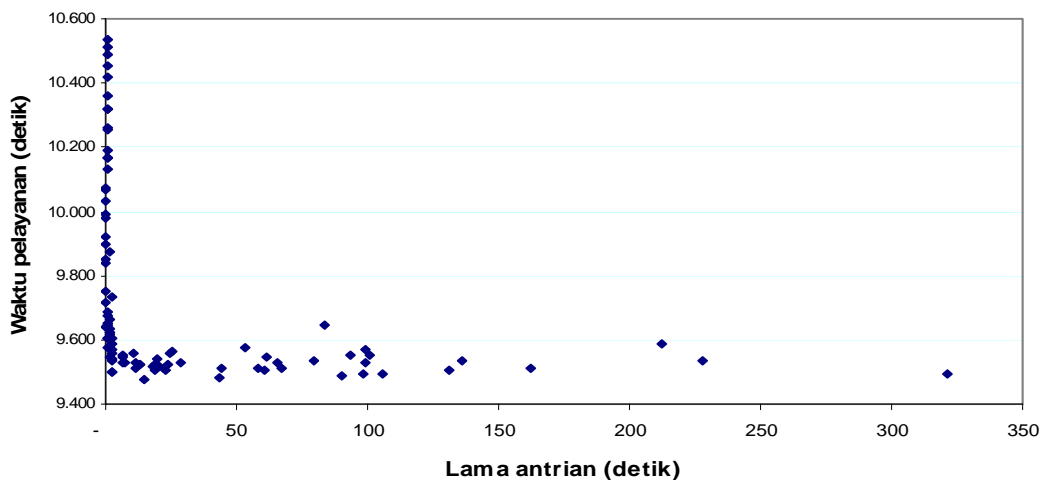


Sebaliknya panjangnya antrian dan lamanya waktu antrian yang dialami oleh kendaraan yang menunggu antrian tidak mempengaruhi besar kecilnya waktu pelayanan. Hal ini disebabkan pengaruh kesigapan petugas dalam melakukan pelayanan kepada pengguna jalan dalam melakukan transaksi di pintu tol relatif tidak terpengaruh oleh panjang pendek atau cepat lamanya pengguna melakukan antrian.

Justru karakteristik kendaraan seperti jenis dan golongan kendaraan yang berpengaruh terhadap akselerasi dan deselerasi sewaktu kendaraan pada saat berada di pintu pelayanan serta perilaku pengguna ketika melakukan transaksi atau ketika dilayani oleh petugas pengumpulan tol lebih berpengaruh terhadap lamanya waktu pelayanan. Sehingga pengaruh karakteristik golongan kendaraan perlu ditinjau dalam menghitung lamanya waktu antrian dan panjangnya kendaraan di dalam antrian.

Pengaruh lamanya antrian terhadap lama waktu pelayanan dapat diabaikan, namun pada kisaran tertentu perlu diperhitungkan dengan pengkategorian sebagai akibat dari karakteristik kendaraan. Gambar 4.4. di bawah memperlihatkan hal tersebut

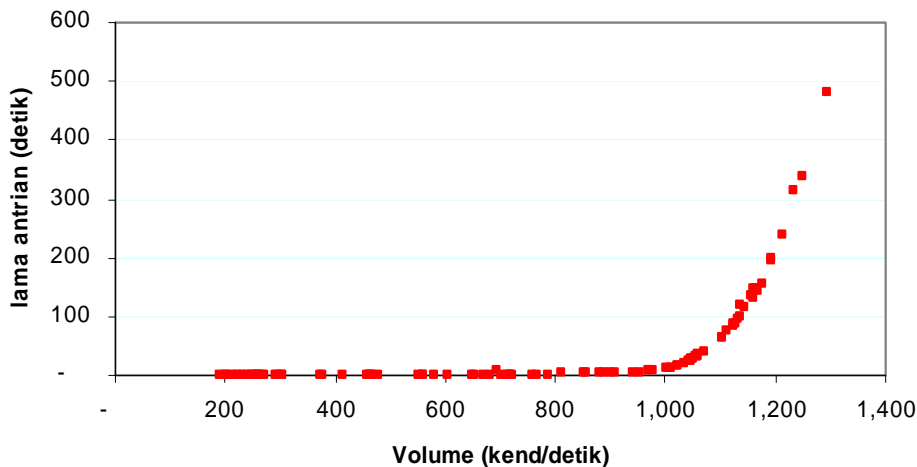
Gambar 4.4. Pengaruh lama antrian di pintu terhadap waktu pelayanan



4.2.4. Hubungan antara Volume Kendaraan dengan Antrian

Seperti halnya pada waktu pelayanan, maka besarnya volume kendaraan yang menuju pintu tol akan berpengaruh pada lamanya waktu antrian dan panjangnya kendaraan yang mengalami antrian dengan syarat bahwa jumlah pintu pelayanan dan waktu pelayanan tetap. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah

Gambar 4.5. Pengaruh volume kendaraan terhadap lama waktu antrian



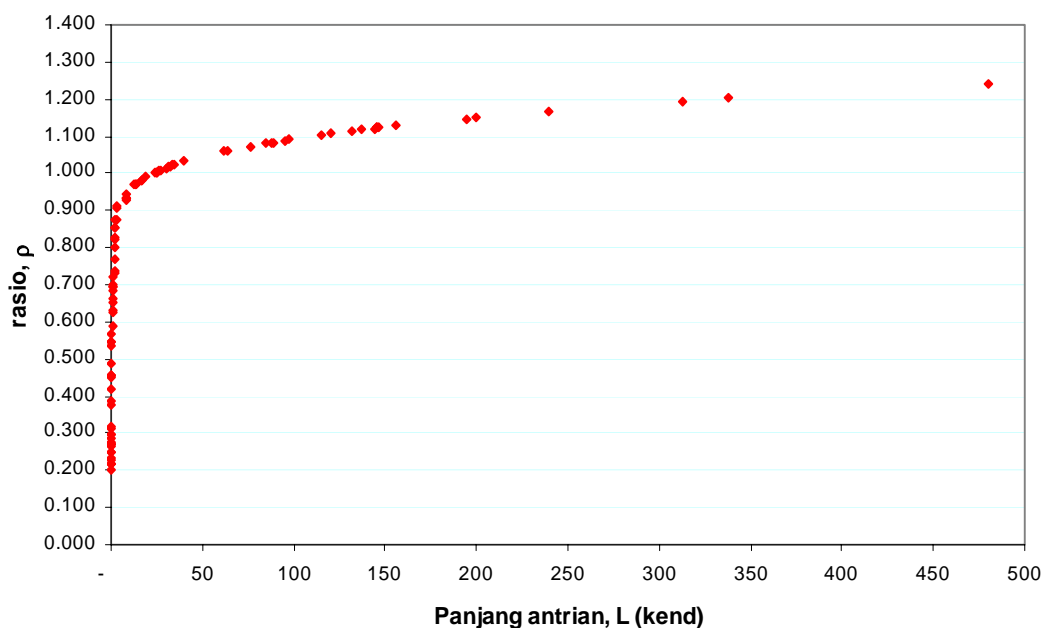
Sebaliknya panjangnya antrian dan lamanya waktu antrian yang dialami oleh kendaraan yang menunggu antrian tidak mempengaruhi besar kecilnya volume kendaraan yang menuju ke pintu tol (tidak ada pembatalan dan penolakan). Hal ini disebabkan pengaruh kesigapan petugas dalam melakukan pelayanan kepada pengguna jalan dalam melakukan transaksi di pintu tol relatif tidak terpengaruh oleh panjang pendek atau cepat lamanya pengguna melakukan antrian.

4.2.5. Hubungan antara Rasio Tingkat Kedatangan dan Tingkat Pelayanan dengan Antrian

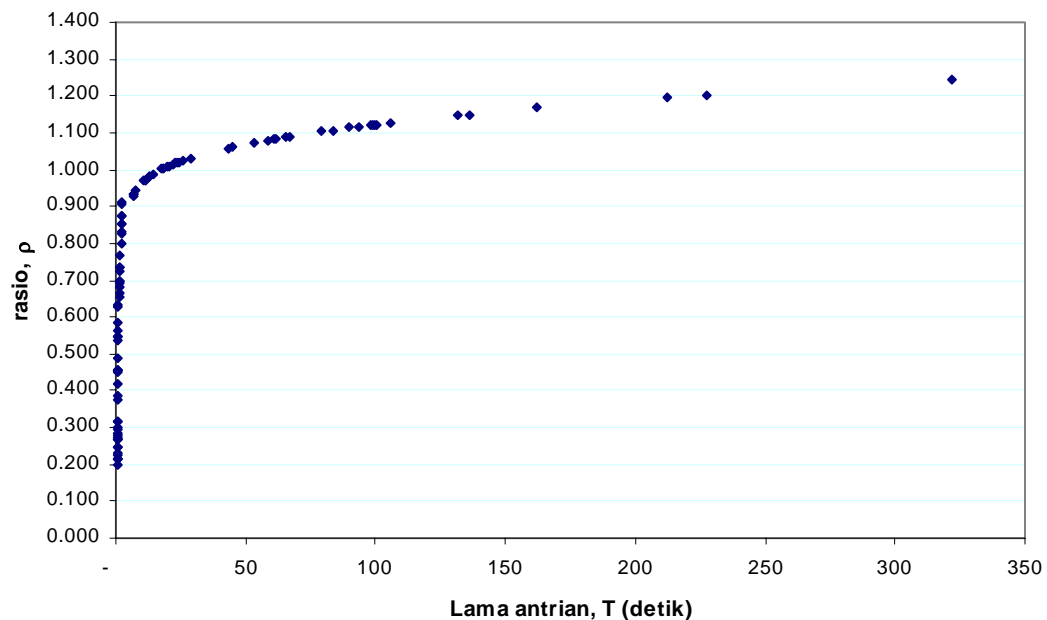
Rasio atau perbandingan antara tingkat kedatangan kendaraan dengan tingkat pelayanan di pintu tol sangat mempengaruhi lamanya waktu antrian di pintu tol dan panjangnya kendaraan yang melakukan antrian di pintu tol. Rasio (ρ) merupakan komponen inti dari suatu antrian. Semakin besar nilai ρ , maka makin besar peluang terjadinya antrian.

Parameter tingkat kedatangan (λ) dipengaruhi oleh jumlah atau volume kendaraan yang datang dan waktu antar kedatangannya. Sedangkan tingkat pelayanan (μ) dipengaruhi oleh lama waktu pelayanan dan jumlah fasilitas pelayanannya. Gambar 4.6 dan 4.7 menunjukkan hal tersebut

Gambar 4.6. Pengaruh rasio tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan terhadap panjang antrian



Gambar 4.7. Pengaruh rasio tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan terhadap lama antrian



4.3. Analisa dan Pembahasan Penggunaan Model Antrian yang Sesuai

Analisa antrian deterministik secara detail dapat dibedakan menjadi dua tingkatan. Analisa antrian dapat dilakukan pada tingkat makroskopik bila kedatangan dan pelayanan yang ada bersifat menerus. Sedangkan bila kedatangan dan pelayanan yang ada bersifat diskrit, maka analisa dilakukan pada tingkat mikroskopik (May, 1990). Suatu perkiraan mengenai klasifikasi diperlukan untuk dapat mengakses karakteristik masukan untuk suatu analisa antrian, apakah termasuk dalam analisa deterministik ataukah termasuk dalam stokastik. Apabila waktu kedatangan dan waktu pelayanan pada masing-masing kendaraan diketahui maka kedua distribusi baik distribusi kedatangan maupun distribusi pelayanan adalah deterministik (May, 1990).

Seperti pada gambar 2.2. Bagan pendekatan analisa antrian, maka analisa antrian terhadap antrian di Pintu Tol Pondok Gede Timur dapat menggunakan analisa antrian deterministik makroskopik.

Pada pendekatan deterministik makroskopik sendiri dibedakan antara pendekatan secara analitik dan pendekatan dengan menggunakan simulasi. Berdasarkan analisis perhitungan pada kedua pendekatan tersebut, maka pendekatan deterministik makroskopik analitik hanya dapat menyelesaikan permasalahan antrian pada kondisi antrian kendaraan

yang sederhana (*simple*), dimana perbandingan antara tingkat kedatangan (λ) dengan tingkat pelayanan (μ) yang ditandai besarnya rasio (ρ) mempunyai nilai lebih kecil atau sama dengan 1 (satu) atau dimana $\lambda/\mu \leq 1,0$. Sedangkan apabila $\lambda/\mu > 1,0$ maka hanya bisa diselesaikan dengan pendekatan deterministik makroskopik simulasi. Oleh karena itu baik pada kondisi $\lambda/\mu \leq 1,0$ maupun $\lambda/\mu > 1,0$ hanya digunakan analisis dengan menggunakan pendekatan deterministik makroskopik simulasi

Berikut analisa kedua pendekatan dilakukan untuk dapat menentukan jenis pendekatan yang sesuai untuk digunakan dalam melakukan analisa terhadap antrian yang terjadi di Pintu Tol Pondok Gede Timur.

4.3.1. Model Antrian Deterministik Sederhana

Model Antrian deterministik sederhana merupakan model antrian yang paling umum untuk digunakan dalam melakukan berbagai jenis antrian. Parameter yang dicari dalam analisis model antrian sederhana untuk antrian kendaraan yang terjadi di pintu tol Pondok Gede Timur adalah mencari nilai \bar{n} (jumlah kendaraan di dalam sistem antrian per satuan waktu), \bar{q} (jumlah kendaraan dalam antrian per satuan waktu), \bar{d} (lama waktu kendaraan di dalam sistem antrian), dan \bar{w} (lama waktu kendaraan dalam antrian).

Sesuai dengan analisa dengan menggunakan persamaan 2.3 sampai dengan 2.6, maka diperoleh hasil, bahwa sebagian besar data yang diolah tidak dapat diselesaikan. Hal ini dikarenakan umumnya $\lambda/\mu > 1,0$.

Misal volume kedatangan kendaraan selama 15 menit sebesar 1.516 kendaraan atau tingkat kedatangan kendaraan (λ) setara dengan 1,684 kendaraan/detik, tingkat pelayanan (μ) rata-rata golongan kendaraan yang masuk terdiri dari 1.382 kendaraan golongan I dengan waktu pelayanan rata-rata rata 9,4195 detik, golongan IIA yang masuk sebesar 104 kendaraan dan mempunyai waktu pelayanan 10,4257 detik dan sebanyak 30 kendaraan golongan IIB yang mempunyai waktu pelayanan 14,5956 detik, sehingga rata-rata waktu pelayanan per pintu 9,591 detik pada 11 pintu yang dioperasikan atau tingkat pelayanan (λ) setara dengan 1,147 kendaraan/detik. Sehingga $\lambda/\mu = (1,684/1,147) = 1,469$ atau $(\lambda - \mu) = - 0,538$ (negatif).

$$\bar{n} = \lambda / (\mu - \lambda) = 1,684 / (- 0,538) = - 3,1337 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda) = (1,233)^2 / (- 0,168) = - 1,4328 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{d} = 1 / (\mu - \lambda) = 1 / (-0,168) = -1,8604 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \lambda / \mu(\mu - \lambda) = 1,158 / (-0,168) = -0,7894 \text{ detik}$$

Keempat hasil perhitungan merupakan nilai yang tidak mungkin, karena jumlah kendaraan dan waktu tidak mungkin bernilai negatif.

Pada kondisi dimana volume kendaraan kecil dan waktu pelayanan tetap, maka masih bisa diselesaikan dengan persamaan diatas. Padahal kondisi volume kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur berdasarkan data Tahun 2005, dapat mencapai 1.716 kendaraan per 15 menit atau setara dengan 1,907 kendaraan/detik. Dengan demikian, maka pendekatan model antrian deterministik sederhana dengan perhitungan analitik tidak dapat digunakan dalam melakukan analisa antrian kendaraan yang terjadi di pintu tol Pondok Gede Timur.

Tabel 4.1. Contoh proses perhitungan model antrian sederhana

NO.	PERIODE	TINGKAT KEDATANGAN (□)					TINGKAT PELAYANAN (□)		
		GOL I	GOL IIA	GOL IIB	TOTAL		(det/ kend)	Jml pintu	(kend /det)
		15 mnt	15 mnt	15 mnt	15 mnt	(kend/ det)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	06.00 - 06.15	1382	104	30	1,516	1.684	9.591	11	1.147
2	06.15 - 06.30	1621	83	12	1,716	1.907	9.504	11	1.157

RASIO (ρ)	KONTROL	\bar{n}	\bar{q}	\bar{d}	\bar{w}
λ / μ	$(\mu - \lambda)$	$\lambda / (\mu - \lambda)$	$\lambda^2 / \mu(\mu - \lambda)$	$1 / (\mu - \lambda)$	$\lambda / \mu(\mu - \lambda)$
		(kend)	(kend)	(detik)	(detik)
11	12	13	14	15	16
1.469	-0.538	simulasi	simulasi	simulasi	simulasi
1.647	-0.749	simulasi	simulasi	simulasi	simulasi

Sumber : perhitungan

Keterangan tabel:

- Kolom 1 : nomor urut interval pengukuran, dimulai dari 1 sampai dengan 96 dalam interval 15 menit selama periode sehari.
- Kolom 2 : interval waktu pengukuran per 15 menit dimulai dari interval waktu 06.00 – 06.15 sampai dengan 05.45 – 06.00 WIB.
- Kolom 3 : volume kendaraan golongan I yang datang menuju pintu tol selama setiap interval
- Kolom 4 : volume kendaraan golongan IIA yang datang menuju pintu tol selama setiap interval

- Kolom 5 : volume kendaraan golongan IIB yang datang menuju pintu tol selama setiap interval
- Kolom 6 : total volume kendaraan setiap golongan yang datang menuju pintu tol selama setiap interval
- Kolom 7 : konversi volume kendaraan per interval (15 menit) menjadi per detik
- Kolom 8 : rata-rata lama waktu pelayanan pada tiap gerbang/pintu pelayanan
- Kolom 9 : jumlah gerbang/pintu yang dioperasikan
- Kolom 10 : kapasitas pelayanan atau tingkat pelayanan (μ) pada sejumlah pintu yang dioperasikan
- Kolom 11 : perbandingan antara kolom 7 dengan kolom 10
- Kolom 12 : selisih antara kolom 7 dikurangi kolom 10
- Kolom 13 : perbandingan antara kolom 7 dengan kolom 12
- Kolom 14 : perbandingan antara eksponen kolom 7 dengan perkalian antara kolom 10 dengan kolom 12
- Kolom 15 : perbandingan antara konstanta 1 dengan kolom 12
- Kolom 13 : perbandingan antara kolom 11 dengan perkalian antara kolom 10 dengan kolom 12

Pada kolom 13 sampai dengan 16 tertulis “simulasi”, artinya proses perhitungan menghasilkan harga yang tidak logis, sehingga baru bisa diselesaikan (rekomendasi) dengan model simulasi.

Untuk perhitungan yang terperinci dengan menggunakan model antrian sederhana dapat dilihat pada Lampiran C.1. Model antrian deterministik sederhana.

4.3.2. Model Antrian Deterministik dengan Simulasi Antrian

Apabila $\lambda/\mu > 1,0$ maka diselesaikan dengan pendekatan deterministik makroskopik simulasi, namun tidak menutup kemungkinan untuk menyelesaikan perhitungan dimana $\lambda/\mu \leq 1,0$.

Metode Simulasi Antrian di pintu tol telah dikembangkan oleh F.B. Lin dan C.W. Su, dan telah dimuat dalam *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, Vol. 120, No. 2 Th 1994 dengan judul *Level of Service Analysis of Toll Plazas on Freeway Main Lines* serta telah menunjukkan konsistensi dalam pemecahan masalah antrian di pintu tol. Metode ini juga digunakan oleh Alvinsyah dan Sutanto Soehodho pada Simposium IV

FSTPT di Udayana-Bali Th 2001 dengan judul makalah *Penentuan Jumlah Gerbang Tol yang Dioperasikan Berdasarkan Hibrida Model Tingkat Pelayanan dengan Logika Fuzzy*.

Persamaan yang digunakan dalam metode simulasi ini sesuai dengan persamaan 2.12 sampai dengan 2.17 dan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan ternyata dapat digunakan untuk menyelesaikan perhitungan antrian di pintu tol Pondok Gede Timur.

Tabel 4.2. Contoh proses perhitungan model antrian dengan simulasi (Lin & Su)

NO.	PERIODE	TINGKAT KEDATANGAN (λ)					TINGKAT PELAYANAN (μ)			
		GOL I	GOL IIA	GOL IIB	TOTAL		(det/ kend)	Jml pintu	(kend /det)	
		15 mnt	15 mnt	15 mnt	15 mnt	(kend /det)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	06.00 - 06.15	1382	104	30	1,516	1.684	9.591	11	1.147	
2	06.15 - 06.30	1621	83	12	1,716	1.907	9.504	11	1.157	

PANJANG RATA-RATA ANTRIAN, Kend (L)		Waktu rata-rata di dalam sistem, detik (T)		TOTAL WAKTU HILANG		
$L = 0$, jika $\lambda/\mu \leq 0.5$ $L = 7*\lambda/\mu - 3.5$, jika $0.5 \leq \lambda/\mu \leq 0.93$ $L = 3[1+6.29(\lambda/\mu-0.93)(\mu*3600/360-1)]/[1+(14\lambda/\mu-13)^2]$, jika $\lambda/\mu > 0.93$		$T = (1.605+3.250L)/\mu$ jika $L \leq 15$ $T = (8.748+2.776L)/\mu$ jika $L > 15$				
hasil simulasi (kend)	konversi dari nilai λ (kend)	(detik)	(menit)	(ken-det)	(ken-mnt)	(ken-jam)
11	12	13	14	15	16	17
2,005	1,516	1,350	22	2,046,325	34,105	568
4,471	1,716	2,981	50	5,115,800	85,263	1,421

Sumber : Perhitungan

Keterangan tabel

- Kolom 1 : nomor urut interval pengukuran, dimulai dari 1 sampai dengan 96 dalam interval 15 menit selama periode sehari.
- Kolom 2 : interval waktu pengukuran per 15 menit dimulai dari interval waktu 06.00 – 06.15 sampai dengan 05.45 – 06.00 WIB.
- Kolom 3 : volume kendaraan golongan I yang datang menuju pintu tol selama setiap interval
- Kolom 4 : volume kendaraan golongan IIA yang datang menuju pintu tol selama setiap interval
- Kolom 5 : volume kendaraan golongan IIB yang datang menuju pintu tol selama setiap interval
- Kolom 6 : total volume kendaraan setiap golongan yang datang menuju pintu tol selama setiap interval

- Kolom 7 : konversi volume kendaraan per interval (15 menit) menjadi per detik
- Kolom 8 : rata-rata lama waktu pelayanan pada tiap gerbang/pintu pelayanan
- Kolom 9 : jumlah gerbang/pintu yang dioperasikan
- Kolom 10 : kapasitas pelayanan atau tingkat pelayanan (μ) pada sejumlah pintu yang dioperasikan
- Kolom 11 : panjang antrian rata-rata kendaraan (L) yang diperoleh dari persamaan 2.14 sampai dengan 2.16 (simulasi antrian Lin & Su), dimana $L = 0$, jika $\lambda/\mu \leq 0.5$ atau $L = 7\lambda/\mu - 3.5$, jika $0.5 \leq \lambda/\mu \leq 0.93$ atau $L = 3[1+6.29(\lambda/\mu - 0.93)(\mu \cdot 3600/360 - 1)][1 + t(14\lambda/\mu - 13)^2]$, jika $\lambda/\mu \geq 0.93$.
- Kolom 12 : konversi untuk membatasi jumlah L sesuai kondisi di lapangan dimana panjang kendaraan yang mengantri tidak melebihi jumlah kendaraan yang memasuki sistem antrian
- Kolom 13 : waktu rata-rata kendaraan di dalam antrian (T) yang diperoleh dari persamaan 2.12 dan 2.14 (simulasi antrian Lin & Su), dimana $T = (1.605+3.250L)/\mu$ jika $L \leq 15$ atau $T = (8.748+2.776L)/\mu$ jika $L > 15$
- Kolom 14 : konversi satuan dari detik pada kolom 13 ke menit pada kolom 14
- Kolom 15 : perkalian antara kolom 12 dengan kolom 13
- Kolom 16 : perkalian antara kolom 12 dengan kolom 14
- Kolom 17 : konversi satuan dari kendaraan-menit pada kolom 16 ke kendaraan-jam

Perhitungan selengkapnya dapat diperoleh pada Lampiran C.2 Model antrian deterministik simulasi antrian Lin & Su.

4.4. Kalibrasi Model Antrian yang Digunakan

Walaupun Metode Simulasi Antrian di pintu tol oleh Lin dan Su terbukti dapat menyelesaikan permasalahan perhitungan berdasarkan volume lalu lintas yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur, namun untuk dapat menggunakannya dalam perhitungan-perhitungan selanjutnya perlu dibuktikan kesesuaiannya dengan kondisi yang ada di pintu tol Pondok Gede Timur. Artinya perlu dilakukan kalibrasi terhadap model tersebut. Kalibrasi ini dapat dilakukan dengan cara membandingkan parameter lama waktu rata-rata dalam sistem dengan total waktu delay yang dialami kendaraan pada saat mendekati pintu tol ditambah lama waktu pelayanan ketika kendaraan mendapatkan pelayanan di pintu tol.

Lama waktu rata-rata di dalam sistem merupakan data hasil perhitungan dari pengolahan terhadap data survey yang dilakukan oleh PT. Jasa Marga berupa data volume per 15 menit selama 24 jam per hari pada Hari Minggu, Senin, Selasa, Rabu dan Kamis pada Bulan Mei Tahun 2005 yang diolah dengan perhitungan simulasi antrian. Sedangkan data delay kendaraan yang dipengaruhi oleh antrian ketika menuju pintu tol diperoleh berdasarkan data survey yang dilakukan oleh PT. Jasa Marga tentang waktu tempuh (*travel time*) pada ruas jalan tol Jakarta-Cikampek, khususnya dari OP Cikunir-OP Caman dengan jarak 800 meter dilanjutkan OP Caman menuju GT Jatibening dengan jarak tempuh sepanjang 900 meter atau total tinjauan ruas delay 1.700 meter sebelum pintu tol.

Untuk memperoleh hasil kalibrasi yang akurat, maka data yang adalah data hasil perhitungan pada hari dan waktu melintas yang sama, yaitu pada Hari Minggu pagi dan Senin.pagi

Tabel 4.3. Waktu tempuh kendaraan uji pada ruas tol Jakarta-Cikampek

RUAS	WAKTU TEMPUH (Jam)	JARAK TEMPUH (km)	KECEPTN RATA- RATA (km/jam)	WAKTU MELEWATI RUAS MENDEKATI PINTU TOL PGT (GT JATIBENING)	
				AWAL	AKHIR
1	2	3	4	5	6
Jomin - GT Cikampek	0.211	4.100	19.40		
GT Cikampek - OP Kalihurip	0.093	6.000	64.48		
OP Kalihurip - OP Krw – Timur	0.159	13.000	81.68		
OP Krw - Timur - OP Krw – Barat	0.102	8.300	81.64		
OP Krw - Barat - OP Cikarang	0.219	16.100	73.37		
OP Cikarang - OP Cibitung	0.096	6.700	70.12		
OP Cibitung - OP Bekasi Timur	0.108	8.700	80.93		
OP Bekasi Timur - OP Bekasi Barat	0.039	3.300	84.26		
OP Bekasi Barat - OP Cikunir	0.033	4.100	126.15		
OP Cikunir - OP Caman	0.028	0.800	29.09	8:33:34	8:35:11
OP Caman - GT Jatibening	0.036	0.900	25.12	8:35:13	8:37:21

Sumber: Data survey PT Jasa Marga 2005, diolah

Keterangan tabel:

- Kolom 1 : nama ruas yang disurvei yang dimulai dari Jomin-GT. Cikampek sampai dengan ruas OP Jatiwaringi-Cawang, total sebanyak 13 ruas dari jalan tol Jakarta-Cikampek.
- Kolom 2 : waktu tempuh yang dibutuhkan untuk melintasi ruas kolom 1 dengan kendaraan uji yang diukur dengan stopwatch
- Kolom 3 : jarak tempuh atau panjang ruas pada kolom 1 yang diukur dengan menggunakan odometer.

- Kolom 4 : kecepatan rata-rata hasil perbandingan antara panjang jarak tempuh dengan waktu tempuh.
- Kolom 5 : awal waktu memasuki ruas yang dihitung berdasarkan awal keberangkatan dari ruas no. 1 (Jomin-GT Cikampek) pada pukul 07:30:00 WIB
- Kolom 6 : akhir waktu melewati ruas yang dihitung berdasarkan awal keberangkatan dari ruas no. 1 (Jomin-GT Cikampek) pada pukul 07:30:00 WIB

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kecepatan bebas kendaraan tanpa dipengaruhi antrian dimulai dari GT Cikampek hingga OP Cikunir. Sedangkan mulai dari OP Cikunir hingga GT Jatibening terjadi delay di ruas sebagai pengaruh antrian kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur (GT Jatibening) dimana berdasarkan perhitungan pada lampiran D.2 terjadi delay waktu sebesar 110,2414 detik pada hari minggu pada waktu antara 08:29:58 s/d 08:33:15 WIB.

Selanjutnya dari data diatas dibandingkan dengan perhitungan waktu rata-rata kendaraan di dalam antrian pada model simulasi antrian Lin dan Su pada lampiran D.1. terjadi lama waktu antrian sebesar 54 detik. Bila lama waktu antrian tersebut ditambahkan dengan lama waktu pelayanan dari kendaraan uji sebesar 9,4195 detik, maka waktu yang terbuang di pintu sebesar 63,4195 detik. Tabel di bawah menunjukkan hasil perhitungan berdasarkan data yang mendekati (hari minggu).

Tabel 4.4. Waktu rata-rata kendaraan di dalam sistem dari simulasi antrian Lin & Su

NO.	PERIODE	Waktu rata-rata di dalam sistem, detik (T)		TOTAL WAKTU HILANG		
		$T = (1.605 + 3.250L) / \mu$ jika $L \leq 15$ $T = (8.748 + 2.776L) / \mu$ jika $L > 15$		(ken-det)	(ken-mnt)	(ken-jam)
		(detik)	(menit)			
1	08.00 - 08.15	2	0	3	0	0
2	08.15 - 08.30	1	0	2	0	0
3	08.30 - 08.45	2	0	6	0	0
4	08.45 - 09.00	54	1	4,111	69	1
5	09.00 - 09.15	7	0	54	1	0
6	09.15 - 09.30	7	0	64	1	0

Sumber: Data survey PT Jasa Marga 2005, diolah

Keterangan tabel:

Sudah jelas, dapat dilihat pada tabel 4.2

Dengan demikian bila hasil perhitungan waktu antrian dengan simulasi antrian Lin & Su dengan hasil survey waktu tempuh didapatkan selisih $110,2414 - 63,4195 = 46,8219$ detik.

Selisih waktu ini bisa jadi disebabkan karena antara data survey dengan data dalam perhitungan berbeda dimana data pada tabel 4.3 dicatat pada Hari Minggu, 12 Juni 2005 dan data pada tabel 4.4 dicatat pada Hari Minggu 15 Mei 2005. Walaupun begitu, sesama Hari Minggu pagi dianggap dapat mewakili karakteristik antrian pada waktu tersebut, sehingga selisih 46,8219 detik merupakan nilai selisih yang sangat kecil. Artinya bahwa kesesuaian model simulasi dengan kondisi sebenarnya di lapangan memang akurat.

Dengan cara yang sama dan dilakukan perbandingan pada data waktu tempuh kendaraan uji pada Hari Senin, 13 Juni 2005 diperoleh selisih 138 detik detik. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.1 dan D.2.

Dengan mengacu kesesuaian pada beberapa perbandingan perhitungan diatas, maka Metode Simulasi Antrian Lin & Su dianggap sangat akurat dan dapat ditarik keputusan untuk menggunakan metode tersebut dalam melakukan analisis pada perhitungan-perhitungan selanjutnya.

Untuk lebih menguatkan penggunaan model simulasi antrian Lin & Su, maka dapat diperoleh pula rujukan dari penelitian yang dilakukan oleh Alvinsyah dan Soehodho yang menyatakan bahwa hasil simulasi model menunjukkan konsistensi pada saat dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual (Alvinsyah, 2001)

4.5. Analisa dan Pembahasan Waktu yang Hilang Akibat Antrian pada Sistem Pengumpulan Konvensional (kondisi eksisting)

Waktu yang hilang adalah waktu (detik/menit/jam) yang seharusnya tidak dialami oleh kendaraan atau pengguna jalan tol. Jumlah waktu hilang dimaksud besarnya tergantung dari waktu hilang pada periode analisis atau lama waktu kendaraan sewaktu di dalam sistem antrian pada periode analisis.

4.5.1. Jumlah Waktu yang Hilang Akibat Pengaruh Antrian

Variabel-variabel yang mempengaruhi perhitungan waktu hilang antara lain adalah tingkat kedatangan kendaraan, tingkat pelayanan dan nilai waktu. Variabel tingkat kedatangan kendaraan diperoleh dari data sekunder hasil survey PT. Jasa Marga, tingkat pelayanan diperoleh dari data primer hasil survey lama waktu pelayanan di pintu tol dan

dikuatkan oleh data sekunder mengenai kebutuhan gardu tol di pintu tol Pondok Gede Timur.

Data volume lalu lintas yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur periode 15 menit selama 24 jam pada Hari Minggu sampai Kamis dari survey yang dilakukan PT. Jasa Marga merupakan data yang cukup mewakili untuk dianalisa untuk mendapatkan lama waktu kendaraan di dalam antrian di pintu tol Pondok Gede Timur. Sedangkan untuk memperoleh data jumlah waktu hilang selama mingguan, diperoleh dengan mengasumsikan Hari Jumat dan Sabtu (tidak disurvey) sebagai hari kerja dengan harga sebesar rata-rata waktu hilang pada hari Senin hingga Kamis (hari kerja).

Metode penghitungan jumlah lama waktu kendaraan di dalam antrian diperoleh dari proses perhitungan dengan menggunakan model simulasi antrian Lin & Su.

Berdasarkan perhitungan jumlah nilai waktu yang hilang pada Hari Minggu sampai Kamis pada data sekunder 15 s/d 19 Mei tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. Waktu hilang rata-rata yang dialami oleh kendaraan perhari

THN Ekstg Th 2005	VOLUME KENDARAAN YG MENUJU PINTU TOL PD. GEDE TIMUR (G.T JATIBENING PER HARI) ARAH JKT					WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI PINTU (JAM - KENDARAAN)				
	(minggu)	(senin)	(selasa)	(rabu)	(kamis)	(minggu)	(senin)	(selasa)	(rabu)	(kamis)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2005	75,497	78,870	79,941	85,791	87,219	154	903	1,091	2,622	8,457
2006	79,044	82,575	83,697	89,821	91,317	412	1,805	2,298	5,708	13,618
2007	82,757	87,424	88,611	95,095	96,678	1,014	3,608	4,471	10,864	20,801
2008	86,645	90,516	91,745	98,459	100,098	2,311	7,034	8,301	18,506	31,113
2009	90,716	94,769	96,056	103,085	104,801	4,702	13,151	14,779	28,944	45,935
2010	94,978	99,221	100,568	107,928	109,724	8,797	22,071	24,125	42,511	65,323
2011	99,440	103,882	105,293	112,998	114,879	14,708	33,874	35,965	60,695	90,597
2012	104,111	108,763	110,240	118,307	120,276	22,739	49,042	52,129	85,156	124,018
2013	109,003	113,873	115,419	123,865	125,927	33,892	69,284	73,686	117,743	168,087
2014	114,124	119,222	120,841	129,684	131,843	48,446	96,525	102,624	160,925	225,677
2015	119,485	124,823	126,518	135,777	138,037	67,870	132,942	141,332	217,788	300,748

Sumber: perhitungan

Keterangan tabel:

- Kolom 1 : tahun analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005
 Kolom 2 : volume kendaraan pada tahun analisis yang didasarkan pada data volume hari minggu data eksisting 2005 dikalikan dengan faktor pertumbuhan kendaraan per tahun.

- Kolom 3 : idem kolom 2, tetapi pada hari senin
 Kolom 4 : idem kolom 2, tetapi pada hari selasa
 Kolom 5 : idem kolom 2, tetapi pada hari rabu
 Kolom 6 : idem kolom 2, tetapi pada hari kamis
 Kolom 7 sampai dengan kolom 11
 : waktu hilang dari data pada kolom 2 dianalisis dengan persamaan 2.12 sampai dengan 2.16 dengan proses perhitungan seperti pada tabel 4.2

Dari tabel 4.5 diatas terlihat bahwa volume dan waktu hilang rata-rata akibat antrian yang terbesar terjadi pada Hari Kamis (hari kerja) dan terkecil pada Hari Minggu (hari libur)

Semakin besar volume kendaraan yang datang menuju pintu tol, maka waktu hilang yang dialami kendaraan akan semakin besar dan sebaliknya. Hal ini disebabkan jumlah kendaraan yang melakukan antrian semakin banyak, sedangkan kapasitas pelayanan tetap.

Besarnya volume kendaraan pada tahun 2005 didasarkan atas data hasil survey PT. Jasa Marga dan digunakan sebagai base year pada analisis berikutnya. Sedangkan tahun 2006 sampai dengan 2015 diperoleh berdasarkan pertumbuhan rata-rata volume kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur selama tahun 2003 sampai dengan 2005 yaitu rata-rata sebesar 4,698% per tahun. Justifikasi perhitungan pertumbuhan volume per tahun dapat dilihat pada lampiran B.2. asumsi tingkat pertumbuhan volume lalu lintas.

Peningkatan jumlah volume kendaraan ternyata tidak secara linier berpengaruh terhadap peningkatan waktu hilang. Hal ini dikarenakan selain pengaruh volumenya, karakteristik penyebaran kendaraan per jam selama periode satu hari pada hari kerja dan hari libur akan menghasilkan perbedaan yang signifikan. Pada hari kerja cenderung terjadi penumpukan jumlah kendaraan pada jam-jam tertentu (fluktuasi tinggi), tetapi pada hari kerja cenderung tersebar merata pada banyak jam (fluktuasi rendah). Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.2 diatas.

4.5.2. Akumulasi Nilai Waktu yang Hilang Akibat Pengaruh Antrian

Nilai waktu yang hilang adalah nilai biaya (dalam rupiah/jam/kendaraan) yang seharusnya tidak dialami oleh kendaraan atau pengguna jalan tol. Nilai waktu hilang dimaksud besarnya tergantung dari nilai waktu pada tahun analisis dikalikan dengan jumlah lama waktu kendaraan sewaktu di dalam sistem antrian.

Data jumlah nilai waktu hilang apabila dikalikan dengan variabel asumsi nilai waktu (kendaraan-jam) akan dapat dianalisa untuk mendapatkan nilai waktu hilang yang dialami oleh kendaraan yang menuju pintu tol selama periode harian, mingguan, bulanan dan tahunan.

Besaran nilai waktu (rupiah/jam/kendaraan) didasarkan pada asumsi besarnya nilai waktu dari nilai waktu minimum yang ditetapkan oleh PT. Jasa Marga pada Tahun 1996 yaitu Rp. 8.287,00 (sebagai base year). Nilai waktu pada tahun 2005 s/d 2015 berdasarkan perhitungan asumsi pertumbuhan sebesar 5,000% per tahun. Justifikasi perhitungan pertumbuhan nilai waktu per tahun dapat dilihat pada Lampiran B.4.

Jumlah nilai waktu hilang yang dialami kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur akibat pengaruh antrian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6. Nilai waktu hilang pada pintu konvensional

TAHUN	NILAI WAKTU KEND-JAM	NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA (Rupiah)			NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA KUMULATIF PER TAHUN (Rupiah)
	(Rupiah)	(per minggu)	(per bulan)	(per tahun)	
1	2	3	4	5	6
2005	12,855.86	212,067,819.39	1,060,339,096.95	12,724,069,163.42	12,724,069,163.42
2006	13,498.65	400,884,939.00	2,004,424,694.98	24,053,096,339.80	36,777,165,503.22
2007	14,173.58	718,540,265.04	3,592,701,325.19	43,112,415,902.28	79,889,581,405.50
2008	14,882.26	1,242,715,292.48	6,213,576,462.39	74,562,917,548.65	154,452,498,954.15
2009	15,626.37	2,081,639,700.62	10,408,198,503.08	124,898,382,036.91	279,350,880,991.07
2010	16,407.69	3,303,413,833.73	16,517,069,168.67	198,204,830,024.10	477,555,711,015.17
2011	17,228.08	5,015,478,536.39	25,077,392,681.93	300,928,712,183.21	778,484,423,198.37
2012	18,089.48	7,428,818,403.77	37,144,092,018.86	445,729,104,226.31	1,224,213,527,424.68
2013	18,993.96	10,824,498,080.86	54,122,490,404.28	649,469,884,851.40	1,873,683,412,276.07
2014	19,943.65	15,568,694,335.79	77,843,471,678.94	934,121,660,147.29	2,807,805,072,423.37
2015	20,940.84	22,173,894,797.39	110,869,473,986.94	1,330,433,687,843.30	4,138,238,760,266.67

Sumber: perhitungan

Keterangan tabel:

Kolom 1 : tahun analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005

Kolom 2 : asumsi nilai waktu pada tahun analisis berdasarkan data nilai waktu tahun 1996 dikalikan faktor pertumbuhan per tahun.

Kolom 3 sampai dengan kolom 6

: nilai waktu hilang akibat antrian per minggu (rupiah) pada tahun analisis (kolom 1) berdasarkan proses perhitungan seperti pada tabel 4.2

Dari tabel diatas, diperoleh gambaran bahwa nilai waktu hilang yang dialami oleh pengguna jalan tol pada tahun 2005 sebesar Rp. 212.067.819,39 per minggu, Rp. 1.060.339.096,95 per bulan dan Rp. 12.724.069.163,42 per tahun. Kerugian yang dialami oleh pengguna jalan ini akan terus bertambah setiap tahun sebanding dengan pertumbuhan volume arus lalu lintas yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur apabila tidak ada perbaikan pada kapasitas pelayanan di pintu tol tersebut.

Tabel 4.6 kolom terakhir menunjukkan akumulasi nilai waktu hilang yang dialami oleh pengguna jalan tol per tahun. Kerugian nilai waktu hilang pada tahun 2005 sebesar Rp. 12.724.069.163,42 (dua belas milyar tujuh ratus dua puluh empat juta enam puluh sembilan ribu seratus enam puluh tiga rupiah). Apabila tidak ada perbaikan kapasitas pelayanan pada pintu tol Pondok Gede Timur, maka pada 5 tahun berikutnya (Tahun 2010) akan terakumulasi sebesar Rp. 477.555.711.015,17 (empat ratus tujuh puluh tujuh milyar lima ratus lima puluh lima juta tujuh ratus sebelas ribu lima belas rupiah). Apabila tetap tidak ada perbaikan kapasitas pelayanan di pintu tol Pondok Gede Timur, maka kerugian yang dialami oleh pengguna jalan tol pada 10 tahun berikutnya (Tahun 2015) akan terakumulasi sebesar Rp. 4.138.238.760.266,67 (empat triliun seratus tiga puluh delapan miliar dua ratus tiga puluh delapan juta tujuh ratus enam puluh ribu dua ratus enam puluh enam rupiah).

4.6. Analisa dan Pembahasan Waktu Hilang dan Nilai Waktu Hilang pada Penambahan Jumlah Pintu Sistem Pengumpulan Konvensional

Seperti yang telah diterangkan pada bab-bab sebelumnya bahwa antrian yang terjadi di pintu tol Pondok Gede Timur terjadi karena besarnya volume kendaraan yang datang tidak diimbangi dengan kapasitas pelayanan di pintu tol (gerbang tol). Sehingga untuk dapat mereduksi antrian perlu dilakukan peningkatan kapasitas pelayanannya.

Peningkatan kapasitas pelayanan tidak hanya untuk mereduksi antrian, tetapi secara otomatis juga mereduksi kerugian nilai waktu yang dialami oleh pengguna jalan tol.

Berbagai tinjauan mengenai berbagai alternatif dalam meningkatkan kapasitas pelayanan perlu dilakukan. Untuk alternatif paling tradisional yaitu dengan menambah jumlah pintu baru. Berikut ini analisa mengenai penambahan jumlah gardu di pintu tol Pondok Gede Timur dari jumlah pintu atau gardu semula 11 pintu.

Tabel 4.7. Waktu hilang untuk penambahan jumlah pintu konvensional

TAHUN	WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI PINTU (JAM - KENDARAAN)/HARI						
	15	16	17	18	19	20	21
1	2	3	4	5	6	7	8
2005	57.70	11.65	2.05	0.35	-	-	-
2006	154.71	36.22	7.52	1.37	0.25	-	-
2007	383.80	101.62	24.45	5.19	0.99	0.21	-
2008	890.11	261.91	71.36	17.63	3.89	0.80	0.19
2009	1,847.60	628.02	190.30	53.51	13.69	3.17	0.70
2010	3,522.48	1,414.56	469.84	146.92	42.76	11.39	2.74
2011	6,242.57	2,742.90	1,085.10	371.92	120.31	36.32	10.10
2012	10,501.27	5,059.15	2,223.15	877.63	310.80	104.20	32.72
2013	16,773.77	8,689.22	4,219.18	1,891.85	746.57	273.56	95.16
2014	25,499.85	14,301.91	7,437.90	3,659.81	1,682.44	666.29	252.82
2015	37,564.10	22,282.90	12,460.52	6,586.64	3,264.97	1,520.90	622.06
			28,208.37		6,205.68	2,636.83	

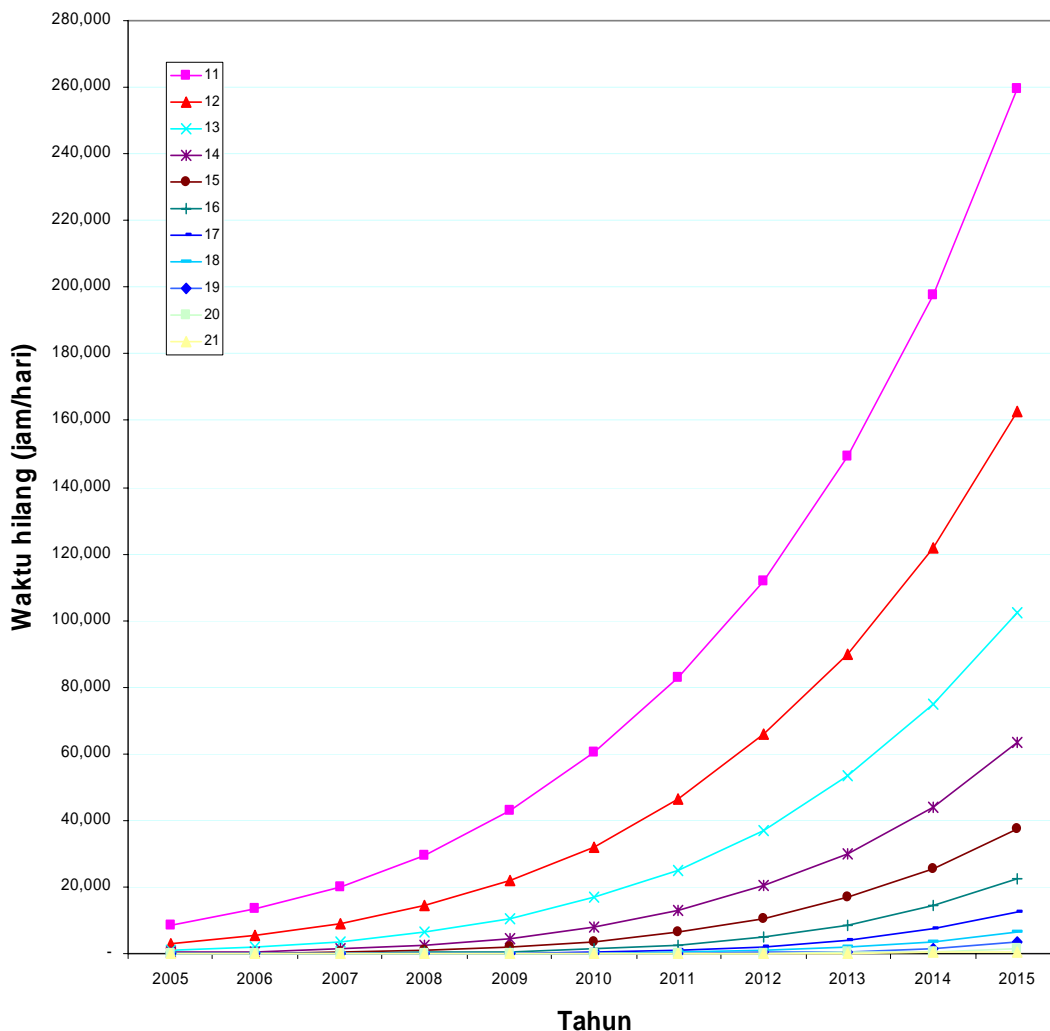
Sumber: perhitungan

Keterangan tabel:

- Kolom 1 : tahun analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005
- Kolom 2 : waktu hilang rata-rata jam-kendaraan per hari selama tahun analisis untuk penambahan jumlah pintu konvensional dari 11 menjadi 15 pintu.
- Kolom 3 : waktu hilang rata-rata jam-kendaraan per hari selama tahun analisis untuk penambahan jumlah pintu konvensional dari 11 menjadi 16 pintu.
- Kolom 4 s/d kolom 8 : waktu hilang rata-rata jam-kendaraan per hari selama tahun analisis untuk penambahan jumlah pintu konvensional dari 11 menjadi 16 sampai dengan 21 pintu.

Pengaruh variasi penambahan jumlah pintu konvensional terhadap waktu hilang akibat antrian secara grafis dapat dilihat pada gambar berikut

Gambar 4.8. Waktu hilang akibat antrian di pintu tol terhadap penambahan gardu pelayanan konvensional



Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin banyak jumlah pintu yang tersedia, maka waktu hilang akibat antrian makin kecil. Sedangkan makin besar volume kendaraan yang memasuki pintu tol, maka waktu hilang akibat antrian makin besar

Berdasarkan perhitungan pada lampiran F. 2 untuk nilai waktu hilang pada beberapa penambahan pintu konvensional diperoleh kesimpulan sementara bahwa makin banyak pintu yang disediakan, maka nilai waktu yang hilang makin kecil, namun penambahan yang dianggap paling efisien adalah penambahan 6 gardu menjadi 17 gardu. Tabel berikut menunjukkan efisiensi yang dihasilkan dari penambahan gardu tersebut.

Tabel 4.8. Efisiensi pada penambahan 17 gardu konvensional

TAHUN	NILAI WAKTU KEND-JAM	NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA KUMULATIF PER TAHUN (Rupiah)	NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA KUMULATIF PER TAHUN (Rupiah)	EFISIENSI YANG DIHASILKAN OLEH PENAMBAHAN PINTU KONVENSIONAL (17 PINTU), (Rupiah)
Eksisting Th 2005	(Rupiah)			
1	2	3	4	5
2005	12,855.86	23.84	12,724,069,163.42	12,724,069,139.58
2006	13,498.65	272.55	36,777,165,503.22	36,777,165,230.68
2007	14,173.58	2,484.10	79,889,581,405.50	79,889,578,921.40
2008	14,882.26	18,690.26	154,452,498,954.15	154,452,480,263.89
2009	15,626.37	119,509.50	279,350,880,991.07	279,350,761,481.56
2010	16,407.69	664,612.98	477,555,711,015.17	477,555,046,402.18
2011	17,228.08	2,976,319.32	778,484,423,198.37	778,481,446,879.06
2012	18,089.48	11,247,248.56	1,224,213,527,424.68	1,224,202,280,176.12
2013	18,993.96	36,661,400.02	1,873,683,412,276.07	1,873,646,750,876.06
2014	19,943.65	106,376,174.63	2,807,805,072,423.37	2,807,698,696,248.73
2015	20,940.84	277,656,585.57	4,138,238,760,266.67	4,137,961,103,681.10

Sumber: Perhitungan

Keterangan tabel:

- Kolom 1 : tahun analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005
- Kolom 2 : asumsi nilai waktu pada tahun analisis berdasarkan data nilai waktu tahun 1996 dikalikan faktor pertumbuhan.
- Kolom 3 : nilai waktu hilang akibat antrian per tahun (rupiah) pada tahun analisis (kolom 1) pada saat menambah 6 pintu sistem pelayanan konvensional.
- Kolom 4 : nilai waktu hilang akibat antrian per tahun (rupiah) pada tahun analisis (kolom 1) pada saat semua pintu (11) sistem pelayanan konvensional
- Kolom 5 : selisih antara kolom 4 dengan kolom 3 sebagai efisiensi nilai waktu yang bisa dihasilkan oleh penambahan 6 pintu konvensional.

Dari tabel diatas terlihat bahwa efisiensi yang bisa dihasilkan pada penambahan pintu konvensional menjadi 17 pintu pada tahun 2005 sebesar Rp. 12.724.069.139,58 (dua belas miliar tujuh ratus dua puluh empat juta enam puluh sembilan ribu seratus tiga puluh sembilan rupiah). Efisiensi kumulatif pada tahun 2010 sebesar Rp. 477.555.046.402,18 (empat ratus tujuh puluh tujuh miliar lima ratus lima puluh lima juta empat puluh enam

ribu empat ratus dua rupiah) dan Rp. 4.137.961.103.681,10 (empat triliun seratus tiga puluh tujuh miliar sembilan ratus enam puluh satu juta seratus tiga ribu enam ratus delapan puluh satu rupiah) pada tahun 2015.

4.7. Analisa dan Pembahasan Waktu Hilang dan Nilai Waktu Hilang pada Kombinasi Jumlah Pintu pada Sistem Pengumpulan Konvensional : GPC

Salah satu alternatif dalam peningkatan kapasitas pelayanan di pintu tol adalah penerapan Gardu pelayanan Cepat. GPC mempunyai waktu pelayanan rata-rata per pintu sebesar 6 detik/kendaraan.

Untuk melakukan analisis mengenai waktu hilang pada kombinasi sistem pengumpulan konvensional dengan karcis dan sistem pengumpulan dengan GPC, maka diperlukan asumsi mengenai persentase jumlah pengguna GPC per hari terhadap total jumlah kendaraan yang lewat di pintu tol. pengguna GPC adalah pengguna yang melakukan pra bayar dan mendapatkan fasilitas kartu PPC (pre paid card) yang dapat digunakan sebagai alat pembayaran di pintu tol.

Variasi jumlah pintu pada asumsi persentase pengguna GPC 50% dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.9. Waktu hilang pada kombinasi pintu konvensional : GPC

NO	TAHUN	WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI PINTU (JAM - KENDARAAN)/HARI					
	Eksisting Th 2005	10 : 1	9 : 2	8 : 3	7 : 4	6 : 5	5 : 6
	2	3	4	5	6	7	8
1	2005	207,876.81	9,987.84	37.37	21,647.58	0.20	14.67
2	2006	259,195.47	14,080.33	95.46	27,007.37	0.45	41.18
3	2007	322,268.03	19,263.90	228.58	33,597.77	1.38	107.17
4	2008	399,637.68	26,079.41	516.51	41,685.48	4.53	260.19
5	2009	494,380.06	34,941.23	1,058.84	51,593.16	14.12	593.64
6	2010	610,217.70	46,299.49	1,979.16	63,711.81	40.59	1,233.16
7	2011	751,628.71	60,880.33	3,573.23	78,516.91	107.95	2,337.08
8	2012	923,985.33	79,512.51	6,125.02	96,590.18	267.23	4,238.97
9	2013	1,133,782.03	103,178.57	9,691.43	118,650.90	620.53	7,227.47
10	2014	1,388,792.93	133,069.98	14,507.53	145,600.54	1,319.26	11,180.99
11	2015	1,698,384.87	170,655.18	20,619.50	178,578.94	2,540.64	16,499.41

Sumber: perhitungan

Keterangan tabel:

Kolom 1 : nomor urut analisis berdasarkan tahun dimulainya analisis

Kolom 2 : tahun analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005

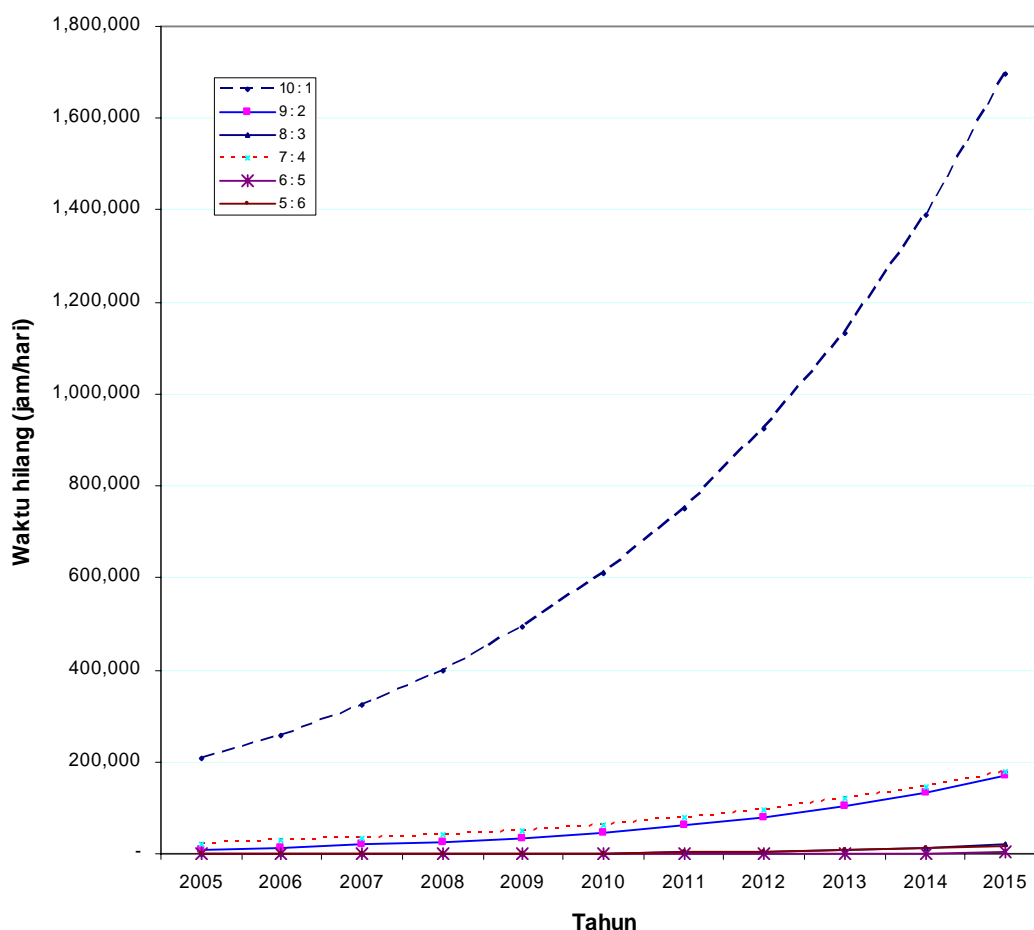
Kolom 3 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat semua pintu kombinasi sistem pelayanan konvensional : GPC (10 : 1)

Kolom 4 s/d kolom 8

: waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat semua pintu kombinasi sistem pelayanan konvensional : GPC (9 : 2) sampai dengan (5 : 6)

Pengaruh variasi kombinasi jumlah pintu konvensional dengan GPC terhadap waktu hilang akibat antrian secara grafis dapat dilihat pada gambar berikut

Gambar 4.9. Waktu hilang akibat antrian pada kombinasi pintu pelayanan konvensional : GPC dengan pengguna GPC 50%



Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin banyak jumlah pintu yang menggunakan GPC, maka waktu hilang akibat antrian makin kecil. Sedangkan makin besar volume kendaraan yang memasuki pintu tol, maka waktu hilang akibat antrian makin besar. Untuk analisa selengkapnya mengenai tinjauan terhadap berbagai variasi persentase pengguna GPC dan variasi jumlah GPC dapat dilihat pada lampiran E.2

Berdasarkan perhitungan pada lampiran F. 2 untuk nilai waktu hilang pada beberapa kombinasi pintu konvensional : GPC untuk asumsi pengguna GPC sebesar 50% diperoleh kesimpulan sementara bahwa kombinasi 6 : 5 merupakan kombinasi yang menghasilkan nilai waktu hilang paling kecil.

Tabel 4.10. Efisiensi yang dihasilkan oleh kombinasi 6 : 5

TAHUN Eksisting Th 2005	NILAI WAKTU KEND-JAM	NILAI WAKTU HILANG RATA- RATA KUMULATIF PER TAHUN (Rupiah)	NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA UNTUK SEMUA PINTU KONVENSIONAL KUMULATIF PER TAHUN (Rupiah)	EFISIENSI YANG DIHASILKAN OLEH KOMBINASI SISTEM KONVENSIONAL : GPC (6 : 5), (Rupiah)
	(Rupiah)			
2005	12,855.86	941,647.42	12,724,069,163.42	12,723,127,516.00
2006	13,498.65	3,170,417.38	36,777,165,503.22	36,773,995,085.85
2007	14,173.58	10,308,069.26	79,889,581,405.50	79,879,273,336.24
2008	14,882.26	34,917,913.65	154,452,498,954.15	154,417,581,040.50
2009	15,626.37	115,453,968.04	279,350,880,991.07	279,235,427,023.03
2010	16,407.69	358,559,068.34	477,555,711,015.17	477,197,151,946.83
2011	17,228.08	1,037,371,358.43	778,484,423,198.37	777,447,051,839.94
2012	18,089.48	2,801,795,032.86	1,224,213,527,424.68	1,221,411,732,391.81
2013	18,993.96	7,103,790,808.93	1,873,683,412,276.07	1,866,579,621,467.14
2014	19,943.65	16,707,276,259.05	2,807,805,072,423.37	2,791,097,796,164.32
2015	20,940.84	36,126,391,581.27	4,138,238,760,266.67	4,102,112,368,685.40

Sumber : perhitungan

Dari tabel diatas terlihat bahwa efisiensi yang bisa dihasilkan pada kombinasi pintu konvensional : GPC (6 : 5) untuk asumsi pengguna GPC sebanyak 50% pada tahun 2005 sebesar Rp. 12.723.127.516,00 (dua belas miliar tujuh ratus dua puluh tiga juta seratus dua puluh tujuh ribu lima ratus enam belas rupiah). Efisiensi yang dihasilkan pada tahun 2010 sebesar Rp. 477.197.151.946,83 (empat ratus tujuh puluh tujuh miliar seratus sembilan puluh tujuh juta seratus lima puluh satu ribu sembilan ratus empat puluh enam rupiah) dan efisiensi sebesar Rp. 4.102.112.368.685,40 (empat triliun seratus dua miliar seratus dua

belas juta tiga ratus enam puluh delapan ribu enam ratus delapan puluh lima rupiah) pada tahun 2015.

4.8. Analisa dan Pembahasan Waktu Hilang dan Nilai Waktu Hilang pada Kombinasi Jumlah Pintu untuk Sistem Pengumpulan Konvensional : ETC

Berikut akan dilakukan analisis terhadap efektifitas usaha peningkatan kapasitas berbasis ITS (*Intellegent Transportation System*) yaitu sistem pengumpulan tol dengan menggunakan ETC.

Seperti pada berbagai asumsi dan batasan masalah dimuka, maka sistem ETC tidak diterapkan pada semua gardu pelayanan melainkan pada beberapa gardu saja dan gardu yang lain tetap dioperasikan dengan sistem pelayanan konvensional atau disebut sebagai sistem pelayanan kombinasi atau campuran antara sistem pelayanan konvensional dengan sistem pelayanan ETC.

Variabel-variabel perhitungan kombinasi jumlah pintu masih tetap mengacu pada variabel perhitungan sebelumnya, kecuali data volume kendaraan dan jumlah kendaraan pengguna sistem ETC. Data volume kendaraan yang dinalisa adalah data volume yang maksimum, yaitu data volume pada Hari Kamis. Sedangkan jumlah pengguna sistem ETC diasumsikan sebagai jumlah pengguna jalan tol ruas Jakarta-Cikampek dengan frekuensi melewati jalan tol lebih dari 3 kali dalam seminggu atau dicirikan sebagai pengguna jalan komuter.

Data mengenai persentase pengguna jalan dimaksud (lebih dari 3 kali dalam seminggu) telah diteliti oleh pihak PT. Jasa Marga dan diperoleh angka sebesar 49,69% untuk pengguna jalan yang menggunakan jalan tol lebih dari 3 kali dalam seminggu dan 50,31% untuk pengguna jalan yang menggunakan jalan tol kurang dari 3 kali dalam seminggu.

Penggunaan angka 49,69% bagi pengguna jalan komuter bisa jadi sangat lemah dikarenakan quetioner yang disampaikan berbunyi “berapa kali dalam seminggu melewati jalan tol”. Jan tol disini bisa bermakna bahwa jalan tol dimaksud bisa dimana saja, tak terkecuali jalan tol Jakarta-Cikampek apalagi ruas OP Caman-GT Jatibening (ruas terdekat yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur).

Di sisi lain penggunaan angka 49,69% bagi pengguna jalan komuter bisa jadi sangat kuat dikarenakan survey yang dilakukan dilaksanakan pada Hari Jumat dan Sabtu. Angka tersebut bisa jadi terlalu kecil seandainya survey dilaksanakan pada Hari Senin sampai Kamis. Hal yang menguatkan lagi dalam penggunaan angka 49,69% bagi pengguna jalan

komuter adalah bahwa wawancara pada survey tersebut dilaksanakan di tempat istirahat (*rest area*). Karakteristik dari pengguna jalan yang istirahat adalah pengguna jalan yang capek karena terlalu lama atau terlalu jauh berkendara artinya bahwa tujuan pergerakan obyek pengguna jalan adalah bukan berangkat atau pulang kerja yang bersifat tidak rutin, sehingga bila survey dilakukan pada pengguna jalan yang hendak memasuki pintu tol (wawancara saat pengguna berada di antrian) akan memberikan nilai yang lebih besar.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai berbagai variasi jumlah pengguna ETC berdasarkan persentase komuter, selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E.3. Sedangkan beberapa asumsi lain dalam perhitungan ini dapat dilihat selengkapnya pada lampiran B.

Berikut beberapa hasil perhitungan kombinasi jumlah pintu pelayanan dengan sistem pelayanan konvensional dan sistem pelayanan ETC.

Tabel 4.11. Waktu hilang rata-rata pada kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC

NO	TAHUN	WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI PINTU (JAM - KENDARAAN)/HARI			
	Eksisting Th 2005	11 : 0	10 : 1	9 : 2	8 : 3
1	2	3	4	5	6
1	2005	8,457.09	35,168.50	5.47	6.39
2	2006	13,618.17	46,923.16	16.54	19.27
3	2007	20,801.22	62,029.61	46.04	52.90
4	2008	31,112.98	81,322.34	118.72	134.12
5	2009	45,934.69	105,911.14	286.32	317.25
6	2010	65,322.56	137,107.55	651.49	706.75
7	2011	90,597.01	176,449.87	1,301.22	1,368.04
8	2012	124,017.57	225,932.02	2,491.85	2,516.82
9	2013	168,087.11	287,950.59	4,477.96	4,306.72
10	2014	225,677.29	365,385.51	7,652.47	7,074.22
11	2015	300,748.04	461,937.82	12,437.06	10,992.79
				29,485.14	

Sumber: perhitungan

Keterangan tabel:

Kolom 1 : nomor urut analisis berdasarkan tahun dimulainya analisis

Kolom 2 : tahun analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005

- Kolom 3 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan sepenuhnya menggunakan sistem pelayanan konvensional atau 11 : 0 terhadap sistem pelayanan ETC
- Kolom 4 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan kombinasi sistem pelayanan konvensional 10 pintu dan sistem pelayanan ETC 1 pintu.
- Kolom 5 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan kombinasi sistem pelayanan konvensional 9 pintu dan sistem pelayanan ETC 2 pintu.
- Kolom 6 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan kombinasi sistem pelayanan konvensional 8 pintu dan sistem pelayanan ETC 3 pintu.

Dari tabel diatas diperoleh gambaran pada kombinasi jumlah 10 : 1 terhadap pembandingnya (11 : 0) bahwa dengan volume kendaraan yang sama, kombinasi 10 : 1 pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 justru mengakibatkan waktu hilang yang makin besar atau antrian yang makin lama.

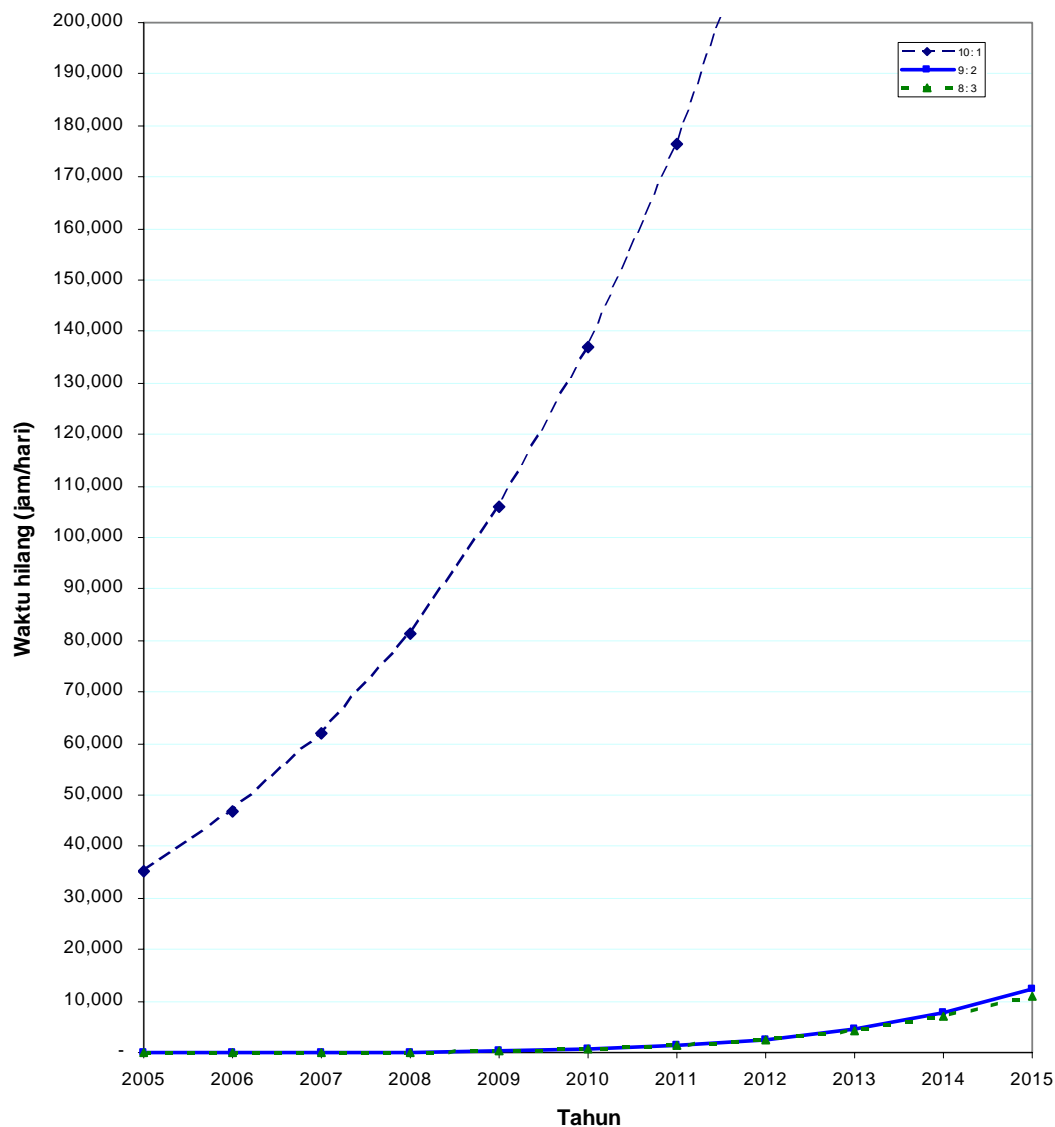
Berdasarkan kondisi diatas, maka kombinasi pintu pelayanan dengan jumlah pintu konvensional 10 dan pintu ETC 1 tidak berfungsi secara efektif dalam mereduksi antrian di pintu tol Pondok Gede Timur secara keseluruhan. Adapun hasil perhitungan pada kombinasi jumlah 9 : 2 terhadap pembandingnya (11 : 0) bahwa dengan volume kendaraan yang sama, kombinasi 9 : 2 pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 terjadi penurunan secara signifikan pada total waktu hilang per hari dalam jam-kendaraan atau antrian menjadi makin singkat.

Berdasarkan kondisi diatas, maka kombinasi pintu pelayanan dengan jumlah pintu konvensional 9 dan pintu ETC 2 berfungsi sangat efektif dalam mereduksi antrian di pintu tol Pondok Gede Timur secara keseluruhan. Adapun hasil perhitungan pada kombinasi jumlah 8 : 3 terhadap pembandingnya (11 : 0) bahwa dengan volume kendaraan yang sama, kombinasi 8 : 3 pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2012 terjadi penurunan namun masih lebih tinggi dibanding tahun yang sama pada kombinasi 9 : 2. Selebihnya dari tahun 2013 s/d 2015 kombinasi 8 : 3 menunjukkan penurunan waktu secara signifikan dibanding kombinasi 9 : 2.

Berdasarkan kondisi diatas, maka kombinasi pintu pelayanan dengan jumlah pintu konvensional 9 dan pintu ETC 2 berfungsi efektif dalam mereduksi antrian di pintu tol

Pondok Gede Timur secara keseluruhan. Sedangkan perubahan ke kombinasi 8 : 3 dengan asumsi pengguna 49,59% dapat dilihat dari gambar berikut

Gambar 4.9. Hubungan waktu hilang akibat antrian terhadap kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC



Dengan menggunakan volume kendaraan tetap, maka untuk berbagai variasi jumlah komuter yang menggunakan ETC dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini

Tabel 4.12. Waktu hilang rata-rata per hari pada berbagai jumlah komuter (pengguna ETC)

NO.	Data volume Eksisting Th 2005	WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI SISTEM (JAM-KENDARAAN) PER HARI VOLUME MAKSIMUM DENGAN KOMPOSISI PINTU SISTEM KONVENSIONAL : SISTEM ETC			
		SEMUA KONVENSIONAL	10 PINTU KONVENSIONAL	9 PINTU KONVENSIONAL	8 PINTU KONVENSIONAL
		11 : 0	10 : 1	9 : 2	8 : 3
1	1.0%	8,457.09	30,491.20	62,096.80	120,978.72
2	2.0%	8,457.09	27,914.37	57,720.79	113,223.61
3	3.0%	8,457.09	25,519.60	53,571.28	105,834.84
4	4.0%	8,457.09	23,293.39	49,639.96	98,815.72
5	5.0%	8,457.09	21,234.55	45,867.90	92,144.93
6	6.0%	8,457.09	19,325.43	42,253.33	85,810.65
7	7.0%	8,457.09	17,566.39	38,794.52	79,810.97
8	8.0%	8,457.09	15,923.19	35,498.43	74,103.94
9	9.0%	8,457.09	14,406.11	32,389.43	68,708.46
10	10.0%	8,457.09	12,958.77	29,495.75	63,618.25
11	11.0%	8,457.09	11,582.50	26,784.30	58,820.61
12	12.0%	8,457.09	10,337.43	24,274.66	54,298.95
13	13.0%	8,457.09	9,218.39	21,963.41	50,001.04
14	14.0%	8,457.09	8,161.18	19,838.46	45,965.64
15	15.0%	8,457.09	7,159.62	17,880.90	42,129.71
16	16.0%	8,457.09	6,257.49	16,095.29	38,479.48
17	17.0%	8,457.09	5,437.97	14,440.62	34,995.87
18	18.0%	8,457.09	4,710.16	12,924.23	31,694.30
19	19.0%	8,457.09	4,070.88	11,486.52	28,599.17
20	20.0%	8,457.09	3,495.40	10,134.46	25,747.12
21	21.0%	8,457.09	2,996.89	8,932.71	23,092.46
22	22.0%	8,457.09	2,527.96	7,846.08	20,666.78
23	23.0%	8,457.09	2,118.41	6,816.81	18,454.56
24	24.0%	8,457.09	1,770.53	5,882.58	16,442.25
25	25.0%	8,457.09	1,454.26	5,042.67	14,620.51
26	26.0%	8,457.09	1,194.13	4,301.63	12,953.74
27	27.0%	8,457.09	984.68	3,659.72	11,438.94
28	28.0%	8,457.09	823.47	3,091.18	10,006.92
29	29.0%	8,457.09	691.03	2,599.99	8,694.96
30	30.0%	8,457.09	614.26	2,145.31	7,545.38
31	31.0%	8,457.09	614.14	1,762.51	6,490.98
32	32.0%	8,457.09	697.34	1,428.69	5,511.30
33	33.0%	8,457.09	867.14	1,145.18	4,649.43
34	34.0%	8,457.09	1,156.83	914.82	3,892.09
35	35.0%	8,457.09	1,575.87	728.53	3,247.28
36	36.0%	8,457.09	2,128.10	559.19	2,687.51
37	37.0%	8,457.09	2,866.86	417.94	2,204.23
38	38.0%	8,457.09	3,808.92	308.56	1,771.76
39	39.0%	8,457.09	4,913.42	224.83	1,416.86
40	40.0%	8,457.09	6,270.88	161.50	1,107.97
1	41.0%	8,457.09	7,814.57	114.25	862.61

NO.	Data volume Eksisting Th 2005	WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI SISTEM (JAM-KENDARAAN) PER HARI VOLUME MAKSIMUM DENGAN KOMPOSISI PINTU SISTEM KONVENSIONAL : SISTEM ETC			
		SEMUA KONVENSIONAL	10 PINTU KONVENSIONAL	9 PINTU KONVENSIONAL	8 PINTU KONVENSIONAL
		11 : 0	10 : 1	9 : 2	8 : 3
2	42.0%	8,457.09	9,639.95	79.50	668.90
3	43.0%	8,457.09	11,804.87	54.35	498.99
4	44.0%	8,457.09	14,356.11	36.48	359.96
5	45.0%	8,457.09	17,288.94	24.11	255.67
6	46.0%	8,457.09	20,586.02	15.80	178.56
7	47.0%	8,457.09	24,184.36	10.56	122.45
8	48.0%	8,457.09	28,124.52	7.78	82.30
9	49.0%	8,457.09	32,486.80	7.02	54.11
10	50.0%	8,457.09	37,326.81	8.22	34.72
11	51.0%	8,457.09	42,696.79	11.60	21.70
12	52.0%	8,457.09	48,595.81	17.70	13.16
13	53.0%	8,457.09	55,078.03	27.37	7.72
14	54.0%	8,457.09	62,181.84	41.82	4.39
15	55.0%	8,457.09	69,930.63	62.79	2.40
16	56.0%	8,457.09	78,366.78	92.48	1.28
17	57.0%	8,457.09	87,543.16	133.72	0.67
18	58.0%	8,457.09	97,502.72	190.04	0.36
19	59.0%	8,457.09	108,289.92	265.85	0.20
20	60.0%	8,457.09	119,947.89	366.45	0.13
41	61.0%	8,457.09	132,508.80	498.27	0.12
42	62.0%	8,457.09	146,023.01	665.52	0.11
43	63.0%	8,457.09	160,535.66	844.57	0.11
44	64.0%	8,457.09	176,085.62	1,068.24	0.13
45	65.0%	8,457.09	192,735.86	1,346.18	0.17
46	66.0%	8,457.09	210,537.62	1,678.14	0.24
47	67.0%	8,457.09	229,543.50	2,060.38	0.37
48	68.0%	8,457.09	249,799.38	2,516.71	0.57
49	69.0%	8,457.09	271,356.63	3,012.62	0.88
50	70.0%	8,457.09	294,258.84	3,592.74	1.38
51	71.0%	8,457.09	318,561.49	4,247.36	2.12
52	72.0%	8,457.09	344,332.14	5,012.74	3.21
53	73.0%	8,457.09	371,628.56	5,873.80	4.78
54	74.0%	8,457.09	400,509.70	6,844.87	7.04
55	75.0%	8,457.09	431,035.68	7,894.28	10.12
56	76.0%	8,457.09	463,267.79	9,012.76	14.35
57	77.0%	8,457.09	497,268.50	10,277.67	20.10
58	78.0%	8,457.09	533,101.50	11,681.58	27.74
59	79.0%	8,457.09	570,831.66	13,152.14	37.79
60	80.0%	8,457.09	610,525.07	14,747.56	50.87
61	81.0%	8,457.09	652,249.07	16,477.60	67.73
62	82.0%	8,457.09	696,068.80	18,374.91	89.24
63	83.0%	8,457.09	742,045.95	20,446.56	116.46

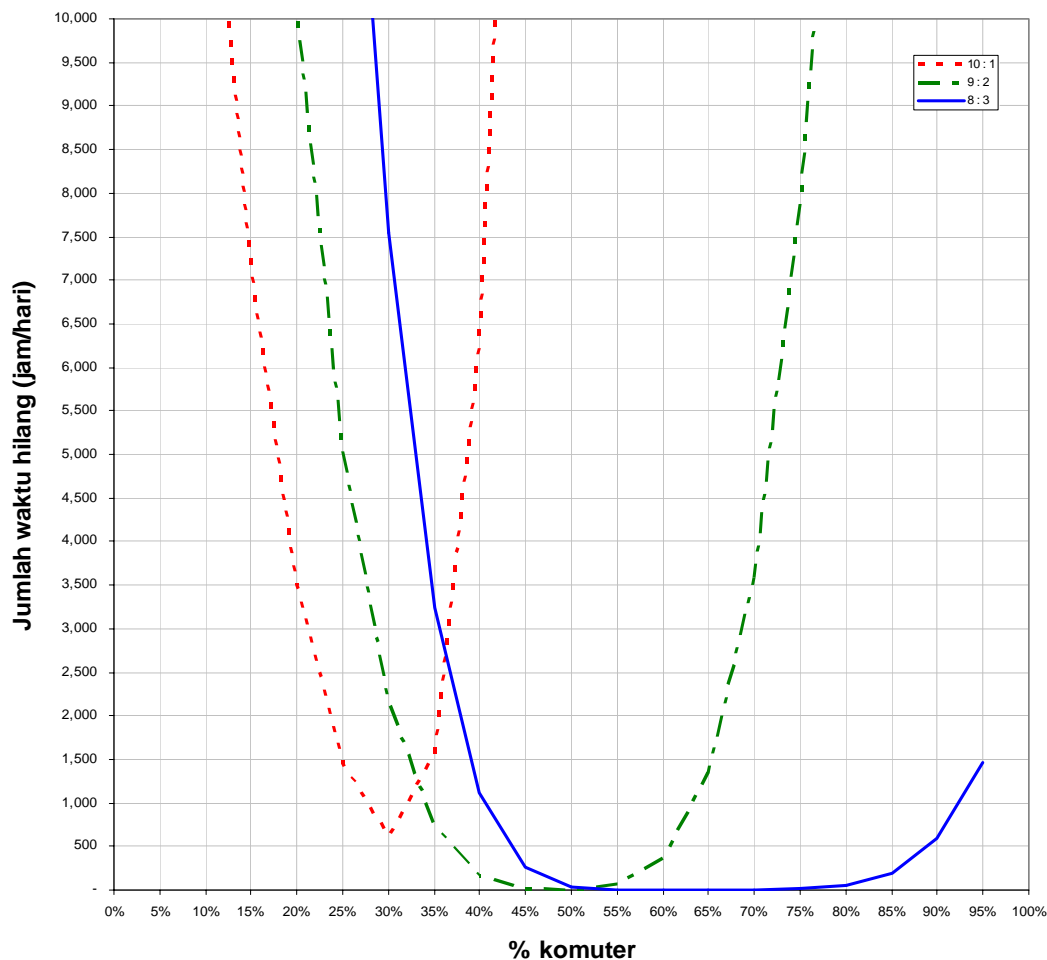
NO.	Data volume Eksisting Th 2005	WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI SISTEM (JAM-KENDARAAN) PER HARI VOLUME MAKSIMUM DENGAN KOMPOSISI PINTU SISTEM KONVENSIONAL : SISTEM ETC			
		SEMUA KONVENSIONAL	10 PINTU KONVENSIONAL	9 PINTU KONVENSIONAL	8 PINTU KONVENSIONAL
		11 : 0	10 : 1	9 : 2	8 : 3
64	84.0%	8,457.09	790,259.28	22,710.25	150.62
65	85.0%	8,457.09	840,772.88	25,177.01	193.17
66	86.0%	8,457.09	893,659.61	27,858.33	245.69
67	87.0%	8,457.09	948,997.78	30,721.62	310.19
68	88.0%	8,457.09	1,006,862.33	33,814.29	388.82
69	89.0%	8,457.09	1,067,329.42	37,101.99	484.10
70	90.0%	8,457.09	1,130,464.03	40,560.47	598.83
71	91.0%	8,457.09	1,196,341.23	44,178.04	736.28
72	92.0%	8,457.09	1,265,050.29	47,963.76	899.98
73	93.0%	8,457.09	1,336,671.41	51,919.66	1,067.33
74	94.0%	8,457.09	1,411,285.97	56,111.52	1,253.25
75	95.0%	8,457.09	1,488,954.10	60,526.06	1,469.34
76	96.0%	8,457.09	1,569,772.25	65,168.58	1,719.95
77	97.0%	8,457.09	1,653,819.57	70,077.25	2,009.85
78	98.0%	8,457.09	1,741,188.06	75,262.92	2,339.19
79	99.0%	8,457.09	1,831,963.86	80,736.73	2,688.85

Sumber: perhitungan

Keterangan tabel:

- Kolom 1 : nomor urut analisis berdasarkan % komuter dimulainya analisis
- Kolom 2 : Data analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005
- Kolom 3 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan sepenuhnya menggunakan sistem pelayanan konvensional atau 11 : 0 terhadap sistem pelayanan ETC (0 komuter, otomatis)
- Kolom 4 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan kombinasi sistem pelayanan konvensional 10 pintu dan sistem pelayanan ETC 1 pintu
- Kolom 5 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan kombinasi sistem pelayanan konvensional 9 pintu dan sistem pelayanan ETC 2 pintu.
- Kolom 6 : waktu hilang rata-rata sebagai akibat terjadinya antrian pada saat pintu menggunakan kombinasi sistem pelayanan konvensional 8 pintu dan sistem pelayanan ETC 3 pintu.

Gambar 4.10. Hubungan persentase komuter dengan waktu hilang di antrian pada penerapan kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC



Berdasarkan gambar dan tabel diatas dapat dilihat bahwa perbandingan waktu hilang pada semua pintu konvensional (eksisting) masih lebih efektif bila pengguna komuter di bawah 14%. Sedangkan pada kombinasi pintu 10 : 1 akan efektif bila pengguna ETC (komuter) berkisar antara 14% hingga 33%. Untuk kombinasi 9 : 2 akan efektif pada pengguna ETC antara 34% hingga 52%. Selanjutnya kombinasi 8 : 3 akan efektif pada pengguna ETC antara 53% hingga 76%. Apabila pengguna ETC melebihi 76% akan lebih efektif dengan kombinasi 7 : 4.

Kombinasi jumlah pintu yang memberikan waktu hilang akibat antrian paling akan tergantung pada jumlah volume lalu lintas yang menuju pintu tol dan persentase pengguna fasilitas ETC tersebut.

Selengkapnya peninjauan waktu hilang pada berbagai persentase komuter serta variasi jumlah pintu ETC dapat dilihat pada lampiran E.3

4.8.1. Akumulasi Nilai Waktu yang Hilang Akibat Pengaruh Antrian pada Kombinasi Jumlah Pintu pada Sistem Pengumpulan Konvensional : ETC

Jumlah yang ideal kombinasi antara jumlah pintu yang dioperasikan dengan sistem pelayanan konvensional dan jumlah pintu yang dioperasikan dengan sistem pelayanan ETC adalah kombinasi jumlah pintu yang menghasilkan jumlah antrian paling sedikit. Baik antrian pada pintu konvensional maupun pada pintu ETC.

Kombinasi jumlah pintu nantinya akan menjadi kombinasi yang berfungsi optimal untuk memecahkan masalah antrian panjang di pintu tol Pondok Gede Timur atau akan mereduksi antrian secara keseluruhan di semua pintu, baik pada pintu konvensional maupun pada pintu ETC itu sendiri. Reduksi antrian yang terbaik adalah kombinasi yang menghasilkan nilai waktu hilang yang paling kecil.

Tabel berikut adalah hasil perhitungan mengenai kombinasi jumlah dan pembandingnya (kombinasi 11 : 0) untuk menentukan kombinasi jumlah pintu yang paling ideal dan kontribusi yang bisa dilakukan dalam meningkatkan efisiensi nilai waktu yang hilang pada kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur.

Tabel 4.13. Nilai waktu hilang per tahun dan kumulatif nilai waktu hilang per tahun

TAHUN Eksisting Th 2005	NILAI WAKTU KEND- JAM	NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA (Rupiah/Hari)			NILAI WAKTU HILANG RATA- RATA KUMULATIF PER TAHUN (Rupiah)
	(Rupiah)	10 : 1	9 : 2	8 : 3	
1	2	3	4	5	6
2005	12,855.86	452,121,233.69	70,270.65	82,125.34	70,270.65
2006	13,498.65	633,399,330.98	223,334.27	260,062.29	293,604.92
2007	14,173.58	879,181,764.65	652,564.82	749,851.47	946,169.74
2008	14,882.26	1,210,260,352.09	1,766,777.18	1,995,947.63	2,712,946.93
2009	15,626.37	1,655,007,084.30	4,474,158.11	4,957,531.07	7,187,105.04
2010	16,407.69	2,249,618,615.84	10,689,525.14	11,596,216.78	17,876,630.18
2011	17,228.08	3,039,892,137.62	22,417,577.04	23,568,696.85	40,294,207.21
2012	18,089.48	4,086,993,158.59	45,076,239.05	45,527,884.96	85,370,446.26
2013	18,993.96	5,469,320,828.08	85,054,112.12	81,801,649.65	170,424,558.39
2014	19,943.65	7,287,122,095.66	152,618,248.01	141,085,731.43	323,042,806.39
2015	20,940.84	9,673,364,345.94	260,442,389.43	230,198,202.12	583,485,195.82
			583,485,195.82		

Sumber: perhitungan

Keterangan tabel:

Kolom 1 : tahun analisis berdasarkan data eksisting (*base year*) tahun 2005

- Kolom 2 : asumsi nilai waktu pada tahun analisis berdasarkan data nilai waktu tahun 1996 dikalikan faktor pertumbuhan.
- Kolom 3 : nilai waktu hilang akibat antrian per tahun (rupiah) pada tahun analisis (kolom 1) pada saat menerapkan kombinasi 10 pintu sistem pelayanan konvensional dan 1 pintu sistem pelayanan ETC
- Kolom 4 : nilai waktu hilang akibat antrian per tahun (rupiah) pada tahun analisis (kolom 1) pada saat menerapkan kombinasi 9 pintu sistem pelayanan konvensional dan 2 pintu sistem pelayanan ETC
- Kolom 5 : nilai waktu hilang akibat antrian per tahun (rupiah) pada tahun analisis (kolom 1) pada saat menerapkan kombinasi 8 pintu sistem pelayanan konvensional dan 3 pintu sistem pelayanan ETC
- Kolom 6 : akumulasi dari efisiensi (rupiah) yang dihasilkan dari penerapan kombinasi sistem pelayanan pada kolom 4, nilainya ditinjau sampai dengan tahun analisis pada kolom 1.

Dari tabel diatas, kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC yang menghasilkan nilai waktu hilang rata-rata per tahun (rupiah) paling kecil dibanding dengan kondisi semua pintu (11) sistem konvensional adalah kombinasi 9 : 2. Dalam kurun waktu analisa selama 10 tahun (Th 2005 s/d 2015) menunjukkan bahwa kombinasi 9 : 2 menghasilkan nilai waktu hilang rata-rata sebesar Rp. 583.485.195,82 (lima ratus delapan puluh tiga juta empat ratus delapan puluh lima ribu seratus sembilan puluh lima rupiah), sedangkan pada kombinasi 10 : 1 menghasilkan nilai waktu hilang sebesar Rp. 36.636.280.947,43 (tiga puluh enam miliar enam ratus tiga puluh enam juta dua ratus delapan puluh ribu sembilan ratus empat puluh tujuh rupiah) dan pada kombinasi 8 : 3 menghasilkan nilai waktu hilang sebesar Rp. 541.823.899,58 (lima ratus empat puluh satu juta delapan ratus dua puluh tiga ribu delapan ratus sembilan puluh sembilan rupiah).

Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi 8 : 3 menunjukkan jumlah nilai waktu hilang yang paling rendah setelah kombinasi 9 : 2. Namun sampai dengan tahun analisis 2013 kombinasi 9 : 2 lebih menunjukkan efisiensinya. Dengan demikian maka kombinasi pintu 9 : 2 merupakan kombinasi yang paling optimal untuk mereduksi antrian di pintu tol Pondok Gede Timur.

Perhitungan yang lebih rinci seperti pada tabel 4.12 diatas dapat dilihat pada Lampiran F.3. Rekapitulasi nilai waktu yang hilang dan efektifitas pada penerapan mix sistem konvensional : ETC

4.8.2. Efisiensi yang Paling Optimal pada Kombinasi Jumlah Pintu pada Sistem Pengumpulan Konvensional : ETC

Kombinasi jumlah pintu yang berfungsi paling optimal untuk memecahkan masalah antrian adalah kombinasi yang menghasilkan waktu hilang paling kecil. Kombinasi tersebut akan menghasilkan efisiensi nilai waktu yang paling besar dan akan mereduksi antrian secara keseluruhan di semua pintu, baik pada pintu konvensional maupun pada pintu ETC itu sendiri.

Tabel 4.14. Efisiensi nilai waktu pada kombinasi 9 : 2

TAHUN	NILAI WAKTU KEND-JAM	NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA KUMULATIF PER TAHUN (Rupiah)	NILAI WAKTU HILANG RATA-RATA KUMULATIF PADA SEMUA SISTEM KONVENSIONAL (11 PINTU) PER TAHUN (Rupiah)	EFISIENSI YANG DIHASILKAN OLEH KOMBINASI SISTEM KONVENSIONAL : ETC (9 : 2), PER TAHUN (Rupiah)
	(Rupiah)			
1	2	3	4	5
2005	12,855.86	70,270.65	12,724,069,163.42	12,723,998,892.77
2006	13,498.65	293,604.92	36,777,165,503.22	36,776,871,898.30
2007	14,173.58	946,169.74	79,889,581,405.50	79,888,635,235.76
2008	14,882.26	2,712,946.93	154,452,498,954.15	154,449,786,007.23
2009	15,626.37	7,187,105.04	279,350,880,991.07	279,343,693,886.03
2010	16,407.69	17,876,630.18	477,555,711,015.17	477,537,834,384.99
2011	17,228.08	40,294,207.21	778,484,423,198.37	778,444,128,991.16
2012	18,089.48	85,370,446.26	1,224,213,527,424.68	1,224,128,156,978.42
2013	18,993.96	170,424,558.39	1,873,683,412,276.07	1,873,512,987,717.69
2014	19,943.65	323,042,806.39	2,807,805,072,423.37	2,807,482,029,616.97
2015	20,940.84	583,485,195.82	4,138,238,760,266.67	4,137,655,275,070.84

Sumber: perhitungan

Tabel 4.14 kolom terakhir menunjukkan akumulasi nilai waktu hilang yang dialami oleh pengguna jalan tol per tahun dengan menggunakan kombinasi pintu optimal 9 pintu konvensional dan 2 pintu ETC. Efisiensi yang dapat dilakukan oleh penerapan kombinasi pintu 9 : 2 terhadap penerapan 11 pintu konvensional pada tahun 2005 sebesar Rp. 12.723.998.892,77 (dua belas miliar tujuh ratus dua puluh tiga juta sembilan ratus sembilan puluh delapan ribu delapan ratus sembilan puluh dua rupiah).

Apabila kombinasi pintu konvensional : ETC (9 : 2) diterapkan untuk perbaikan kapasitas pelayanan maka pada 5 tahun berikutnya (Tahun 2010) akan terakumulasi efisiensi sebesar Rp. 477.537.834.384,99 (empat ratus tujuh puluh tujuh miliar lima ratus tiga puluh tujuh juta delapan ratus tiga puluh empat ribu tiga ratus delapan puluh empat

rupiah). Apabila kombinasi pintu konvensional : ETC (9 : 2) diterapkan untuk perbaikan kapasitas pelayanan di pintu tol Pondok Gede Timur maka pada 10 tahun berikutnya (Tahun 2015), maka akan terakumulasi efisiensi sebesar Rp. 4.137.655.275.070,84 (empat triliun seratus tiga puluh tujuh miliar enam ratus lima puluh lima juta dua ratus tujuh puluh lima ribu tujuh puluh rupiah).

4.9. Analisa dan Pembahasan Antrian di Pintu dan di Ruas

Antrian dapat terjadi pada suatu *traffic control system* seperti pada persimpangan bersinyal, terminal dan pintu tol. Selain itu dapat juga terjadi di ruas sebagai akibat karena volume kendaraan yang mendekati atau melebihi kapasitas dasar jalan, pengaruh perbaikan ruas jalan atau karena adanya kecelakaan di ruas jalan bahkan dapat pula terjadi akibat adanya pengaruh pada suatu sistem kontrol lalu lintas seperti pintu tol yang mengakibatkan antrian tidak hanya terjadi di plasa tol saja tetapi memanjang hingga ke ruas jalan tol.

Antrian yang terjadi di pintu tol idealnya hanya terjadi atau ditampung di dalam sistem antrian di pintu tol atau di lokasi plasa tol.

Kinerja plasa tol atau tingkat pelayanan pada sistem antrian di pintu tol (plasa tol) telah disinggung di muka oleh Lin & Su bahwa kriteria tingkat pelayanan ditunjukkan seperti pada tabel berikut

Table 4.15. Kriteria Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Panjang rata-rata antrian, L (kendaraan)	Waktu rata-rata didalam sistem, T (detik/kendaraan)
A	≤ 1	≤ 15
B	$1 < L \leq 2$	$15 < T \leq 30$
C	$2 < L \leq 3$	$30 < T \leq 45$
D	$3 < L \leq 6$	$45 < T \leq 60$
E	$6 < L \leq 10$	$60 < T \leq 80$
F	> 10	> 80

Sumber: Alvinsyah (2001)

Kinerja plasa tol atau tingkat pelayanan pada sistem antrian di pintu tol (plasa tol) Pondok Gede Timur pada periode harian yang diperoleh berdasarkan data sekunder adalah

Table 4.16. Kriteria tingkat pelayanan pada pintu tol Pondok Gede Timur

Periode	Panjang rata-rata antrian		Waktu rata-rata didalam sistem	
	L (kendaraan) Rata-rata	Tingkat Pelayanan	T (detik/kendaraan) Rata-rata	Tingkat Pelayanan
Minggu	43	F	30	C
Senin	105	F	74	D
Selasa	119	F	82	F
Rabu	233	F	160	F
Kamis	333	F	276	F

Sumber: Alvinsyah Perhitungan

Tingkat pelayanan F untuk panjang antrian dan lama waktu kendaraan di dalam antrian bermakna bahwa antrian kendaraan yang cukup panjang dan waktu yang lama dapat mengakibatkan kapasitas sistem antrian (plasa tol) menjadi tidak mampu memuat lagi (*over load*). Kondisi tersebut mengakibatkan kendaraan yang melakukan antrian meluber ke ruas jalan yang menuju ke pintu tol.

Berdasarkan hasil pengamatan dan nara sumber, maka panjang antrian kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur pada jam-jam tertentu dapat mencapai 5 Kilometer dari pintu tol.

Dalam analisa dan perhitungan di dalam tesis ini, maka pengaruh karakteristik antrian di ruas jalan diabaikan karena akan terlalu kompleks (mikroskopik). Dalam hal ini dianggap bahwa pengaruh antrian berupa panjang kendaraan yang melakukan antrian merupakan satu kesatuan dengan antrian yang berada di sistem antrian atau plasa tol.

BAB V

KESIMPULAN, SARAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

Berdasar beberapa hal yang telah diolah dan dibahas, selanjutnya sebagai kesimpulan akhir disajikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengolahan data dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa pola distribusi waktu kedatangan kendaraan yang menuju pintu tol Pondok Gede Timur terdistribusi secara poisson sedangkan pola distribusi waktu pelayanan terhadap kendaraan yang memasuki pintu pelayanan Pondok Gede Timur terdistribusi secara eksponensial.
2. Model antrian yang sesuai untuk digunakan adalah model antrian deterministik dengan pendekatan simulasi. Model antrian tersebut merupakan model yang dikembangkan oleh Lin-Su dan berdasarkan kalibrasi terhadap kondisi riil yang ada di lapangan model tersebut sesuai untuk digunakan pada analisa antrian di pintu tol Pondok Gede Timur.
3. Nilai waktu hilang yang dialami oleh pengguna jalan tol, khususnya yang melewati pintu tol Pondok Gede Timur (dari arah Cikampek) pada tahun 2005 sebesar **Rp. 212.067.819,39** per minggu, **Rp. 1.060.339.096,95** per bulan dan **Rp. 12.724.069.163,42** per tahun. Apabila tidak ada perbaikan kapasitas pelayanan pada pintu tol Pondok Gede Timur, maka pada 5 tahun berikutnya yaitu Tahun 2010 akan terakumulasi menjadi sebesar **Rp. 477.555.711.015,17** (empat ratus tujuh puluh tujuh milyar lima ratus lima puluh lima juta tujuh ratus sebelas ribu lima belas rupiah). Apabila tetap tidak ada perbaikan kapasitas pelayanan di pintu tol Pondok Gede Timur, maka kerugian yang dialami oleh pengguna jalan tol pada 10 tahun berikutnya yaitu Tahun 2015 akan terakumulasi menjadi sebesar **Rp. 4.138.238.760.266,67** (empat triliun seratus tiga puluh delapan miliar dua ratus tiga puluh delapan juta tujuh ratus enam puluh ribu dua ratus enam puluh enam rupiah).
4. Makin banyak pintu yang disediakan, maka nilai waktu yang hilang makin kecil, namun penambahan yang dianggap paling efisien adalah penambahan 6 gardu menjadi 17 gardu. Efisiensi yang bisa dihasilkan pada penambahan pintu konvensional menjadi 17 pintu pada tahun 2005 sebesar **Rp. 12.724.069.139,58** (dua belas miliar tujuh ratus dua puluh empat juta enam puluh sembilan ribu seratus tiga puluh sembilan rupiah). Efisiensi kumulatif pada tahun 2010 sebesar **Rp. 477.555.046.402,18** (empat ratus

tujuh puluh tujuh miliar lima ratus lima puluh lima juta empat puluh enam ribu empat ratus dua rupiah) dan **Rp. 4.137.961.103.681,10** (empat triliun seratus tiga puluh tujuh miliar sembilan ratus enam puluh satu juta seratus tiga ribu enam ratus delapan puluh satu rupiah) pada tahun 2015.

5. Semakin banyak jumlah pintu yang menggunakan GPC, maka waktu hilang akibat antrian makin kecil. Demikian juga makin besar volume kendaraan yang memasuki pintu tol, maka waktu hilang akibat antrian makin besar. Untuk waktu hilang pada beberapa kombinasi pintu konvensional : GPC dengan asumsi pengguna GPC sebesar 50% diperoleh kesimpulan bahwa kombinasi 6 : 5 merupakan kombinasi yang menghasilkan waktu hilang paling kecil. Nilai waktu hilang yang dialami oleh pengguna jalan tol, khususnya yang melewati pintu tol Pondok Gede Timur (dari arah Cikampek) setelah adanya penerapan kombinasi pintu konvensional dengan GPC (6 : 5) pada tahun 2005 terjadi nilai waktu hilang sebesar **Rp. 941,647.42** dan pada tahun 2010 terjadi nilai waktu hilang sebesar **Rp. 358,559,068.34** dan pada tahun 2015 terjadi waktu hilang sebesar **Rp. 36,126,391,581.27**. Efisiensi yang bisa dihasilkan pada kombinasi pintu konvensional : GPC (6 : 5) untuk asumsi pengguna GPC sebanyak 50% pada tahun 2005 sebesar **Rp. 12.723.127.516,00** (dua belas miliar tujuh ratus dua puluh tiga juta seratus dua puluh tujuh ribu lima ratus enam belas rupiah). Sedangkan efisiensi yang dihasilkan pada tahun 2010 akan meningkat sebesar **Rp. 477.197.151.946,83** (empat ratus tujuh puluh tujuh miliar seratus sembilan puluh tujuh juta seratus lima puluh satu ribu sembilan ratus empat puluh enam rupiah) dan efisiensi sebesar **Rp. 4.102.112.368.685,40** (empat triliun seratus dua miliar seratus dua belas juta tiga ratus enam puluh delapan ribu enam ratus delapan puluh lima rupiah) pada tahun 2015.
6. Nilai waktu hilang dengan menerapkan kombinasi sistem pengumpulan konvensional dengan sistem ETC dalam kurun waktu analisa selama 10 tahun (Th 2005 s/d 2015) menunjukkan bahwa kombinasi 9 : 2 pada tahun 2005 menghasilkan nilai waktu hilang **Rp. 70,270.65** dan pada tahun 2010 menghasilkan nilai waktu hilang **Rp. 10,689,525.14** serta nilai waktu hilang sebesar **Rp. 260,442,389.43** pada tahun 2015. Efisiensi yang dapat dihasilkan oleh penerapan kombinasi pintu 9 : 2 terhadap penerapan 11 pintu konvensional pada tahun 2005 sebesar **Rp. 12.723.998.892,77** (dua belas miliar tujuh ratus dua puluh tiga juta sembilan ratus sembilan puluh delapan ribu delapan ratus sembilan puluh dua rupiah). Apabila kombinasi pintu konvensional : ETC (9 : 2) diterapkan untuk perbaikan kapasitas pelayanan maka pada 5 tahun

berikutnya (Tahun 2010) akan terakumulasi efisiensi sebesar **Rp. 477.537.834.384,99** (empat ratus tujuh puluh tujuh miliar lima ratus tiga puluh tujuh juta delapan ratus tiga puluh empat ribu tiga ratus delapan puluh empat rupiah). Apabila kombinasi pintu konvensional : ETC (9 : 2) diterapkan untuk perbaikan kapasitas pelayanan di pintu tol Pondok Gede Timur maka pada 10 tahun berikutnya (Tahun 2015), maka akan terakumulasi efisiensi sebesar **Rp. 4.137.655.275.070,84** (empat triliun seratus tiga puluh tujuh miliar enam ratus lima puluh lima juta dua ratus tujuh puluh lima ribu tujuh puluh rupiah).

7. Dengan asumsi berbagai persentase jumlah pengguna komuter atau pengguna ETC mulai dari 1% sampai dengan 99%, maka dapat disimpulkan bahwa perbandingan waktu hilang pada semua pintu konvensional (eksisting) masih lebih efektif bila pengguna komuter di bawah 14%. Sedangkan bila pengguna ETC (komuter) berkisar antara 14% hingga 33%, maka pada kombinasi pintu 10:1 akan efektif. Untuk pengguna ETC antara 34% hingga 52%, maka kombinasi 9:2 akan efektif. Selanjutnya pada pengguna ETC antara 53% hingga 76%, maka kombinasi 8:3 akan efektif. Apabila pengguna ETC melebihi 76% akan lebih efektif dengan kombinasi 7:4.

5.2. Rekomendasi

Penerapan kombinasi sistem pelayanan konvensional dan ETC tidak hanya mereduksi panjang antrian dan lama waktu antrian (waktu hilang) pada pintu pelayanan ETC saja, tetapi juga mereduksi panjang antrian dan lama waktu antrian kendaraan yang berada pada sistem pelayanan konvensional.

Penerapan sistem pengumpulan ETC pada pintu tol Pondok Gede Timur tidak mungkin berdiri sendiri. Hal ini disebabkan pintu tol Pondok Gede Timur dioperasikan dengan sistem tertutup, artinya pelanggan akan masuk (*entrance*) dari pintu tol sebelumnya dan akan keluar (*exit*) dari pintu tol Pondok Gede Timur atau akan melanjutkan perjalanan melewati jalan tol berikutnya dengan sistem tertutup atau terbuka yang lain.

Untuk dapat melayani pelanggan yang menggunakan sistem pelayanan ETC, maka perlu pula diterapkan sistem pelayanan ETC pada beberapa pintu entrance yang menyuplai kendaraan menuju pintu tol Pondok Gede Timur. Berdasarkan analisa terhadap OD, dari ke-13 pintu tersebut, terdapat 5 pintu yang menjadi penyuplai terbesar, artinya bila dilakukan penerapan sistem pelayanan ETC di pintu tol Pondok Gede Timur, maka harus juga disertai dengan penerapan pintu ETC pada beberapa pintu masuknya, terutama pada kelima pintu entrance tersebut.

Sementara itu perbandingan nilai waktu yang hilang dibandingkan dengan nilai investasi bagi pembangunan sistem pelayanan ETC adalah sebagai berikut:

- Nilai investasi per line (pintu) ETC sebesar \$3,009,340 atau Rp. 27.535.461.000,00
- Bila dibangun 5 pintu ETC sebagai pintu entrance pada beberapa pintu penyupali arus lalu lintas sebelum pintu tol Pondok Gede Timur dan 2 pintu ETC sebagai pintu exit di pintu tol Pondok Gede Timur, maka investasi sebesar Rp. 192.748.227.000.00
- Nilai waktu hilang apabila pintu pelayanan konvensional tetap dioperasikan sampai dengan Tahun 2008 sebesar Rp. 154.452.498.954,00 dan akan meningkat menjadi Rp. 279.350.880.991,00 pada Tahun 2009.

Dengan demikian, apabila antara Tahun 2008-2009 dibangun sistem ETC di pintu tol Pondok Gede Timur dan 5 pintu sebelumnya, maka nilai ekonomisnya akan melebihi kerugian nilai waktu yang dialami oleh para pengguna jalan sampai dengan tahun 2008-2009.

5.3. Saran

Bagi rekan peneliti yang berminat melakukan penelitian sejenis sebaiknya perlu juga meninjau kerugian lain yang disebabkan oleh antrian di pintu tol. Misalnya masalah kerugian lingkungan akibat polusi udara dan polusi suara yang ditimbulkan oleh antrian terhadap daerah di sekitar pintu tol atau pada daerah yang lebih luas. Kerugian lingkungan dapat pula menjadi pertimbangan untuk sesegera mungkin dilakukan perbaikan kapasitas pelayanan di pintu tol.

Pengaruh antrian panjang kendaraan lamanya waktu antrian yang mengakibatkan kapasitas sistem antrian (plasa tol) menjadi tidak mampu memuat lagi (*over load*) dan mengakibatkan kendaraan yang melakukan antrian meluber ke ruas jalan yang menuju ke pintu tol perlu diteliti secara lebih terperinci secara mikroskopik seperti bagaimana karakteristik dan kecenderungan manuver kendaraan pada saat melakukan antrian di ruas dan pada saat memasuki plasa tol, bagaimana pengaruh panjang antrian di ruas terhadap kinerja pelayanan di pintu tol dan lain sebagainya.

Bagi pengelola Jalan Tol (PT Jasa Marga) dan pemerintah, sebaiknya kerugian yang dialami oleh para pengguna jalan akibat lemahnya sistem pelayanan di pintu tol sebaiknya segera ditanggapi dengan meningkatkan kapasitas pelayanan di pintu tol dengan menggunakan teknologi seperti ETC. Penambahan pintu secara paralel maupun pengalihan pintu tol akan kurang efektif dalam memecahkan permasalahan antrian di pintu secara komprehensif dan prospektus.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvinsyah dan Sutanto Soehodho, 2001, *Penentuan Jumlah Gerbang Tol yang Dioperasikan Berdasarkan Hibrida Model Tingkat Pelayanan dengan Logika Fuzzy*, Simposium IV FSTPT, Udayana-Bali
- Berita Jalan Tol, No. 37 Th IV 1985
- Bronson, R. 1988, *Operations Research*, Schaum Series, edisi Kesatu, Erlangga-Jakarta
- Burris, M.W. 2003, *Application of Variable Tolls on Congested Toll Road*, Journal of Transportation Engineering, ASCE/July/August
- Hobbs, F. D. 1995, *Perencanaan dan Teknik lalu Lintas*, cetakan pertama, Gadjah Mada University Press-Yogyakarta
- Info Tol, 2005, <http://www.JasaMarga.or.id>, 9 Oktober 2005
- Lin, F. B. and Su, C. W. 1994. *Level of Service Analysis of Toll Plazas on Freeway Main Lines*, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 2, March/April, 246-263 pp.
- Majalah Teknik Jalan dan Transportasi, No. 078 Jan/Februari Thn IX, PT. Jasa Marga
- Martin, B.V. and Wohl, M. 1967, *Traffic System Analysis for Engineers and Planner*, McGraw-Hill Book Company
- Morlok, E.K. 1995, *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Cetakan Keempat, Erlangga-Jakarta
- Oglesby, C.H dan Hick R.G. 1991, *Teknik Jalan Raya*, Erlangga, Jakarta
- Salter, R.J. 1980, *Highway Traffic Analysis and Design*, The MacMillan Press Ltd-London
- San Diego State University Foundation (SDSU), 1998, *I-15 Congestion Pricing Project-Monitoring and Evaluation Services-Task 3.1.12 Phase I Cost of Delay Study*, San Diego Association of Government, San Diego, California
- Schrank, D., and Lomax, T. 2001, *Urban Mobility Study*, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Tex
- Sodikin, 1996, *Analisa dan Pemecahan Masalah Kemacetan lalu lintas di Pintu Tol (Studi Kasus di Jalan Tol Jakarta-Cikampek dan Pintu Tol Jatibening)*, Skripsi, Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Sodikin, 2003, *Penanggulangan Kemacetan Lalu lintas di Pintu Tol dengan Konfigurasi Gardu Pelayanan Paralel-Seri (Laporan Akhir Penelitian Dosen Muda)*, Jurnal Widyatama, Univet Bantara Sukoharjo Press

- Smith, L. 2003, *ITS Decision, Electronic Toll Collection (ETC)*, Institute of Transportation Studies at University of California at Berkeley and Caltrans.
- Sweroad, 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Bina Marga
- Taha, A.H. 1993, *Operations Research : An Introduction*, Fourth Editions, MacMillan Publishing Company, USA
- Tamin, O.Z. 2000, *Perencanaan dan Pemodelan Tranportasi*, Edisi Kedua, Departemen Teknik Sipil, ITB, Bandung
- Tamin, O.Z. 2003, *Perencanaan dan Pemodelan Tranportasi : contoh soal dan aplikasi*, Edisi Kesatu, Departemen Teknik Sipil, ITB, Bandung
- Taiwan Area National Freeway Bureau, <http://www.freeway.gov.tw> , 9 Oktober 2004
- Transportation Research Board, 1985, *Highway Capacity Manual, Special Report : 209*, National Research Council-Washington, D.C
- Warpani, S. 1985, *Rekayasa Lalu lintas*, Edisi Kesatu, Bhratara Aksara-Jakarta