

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

Sodikin, Bambang Riyanto, Bambang Pudjianto

### ABSTRACT

*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 analytical 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*

### Pendahuluan

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.

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.

1. PILAR Volume,
2. Alumnus S2 Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro
- 3,4 Dosen S2 Magister Teknk Sipil Universitas Diponegoro  
Jl. Hayam Wuruk No. 5 Semarang

Oleh karena itu kemungkinan yang dapat dilakukan yaitu dengan mempersingkat lama waktu pelayanan pada sistem pelayananan di pintu tol.

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.

*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.

### Konsep Analisis Antrian pada Sistem Pengumpulan Tol

Proses terjadinya antrian terdiri dari 4 (empat) tahap

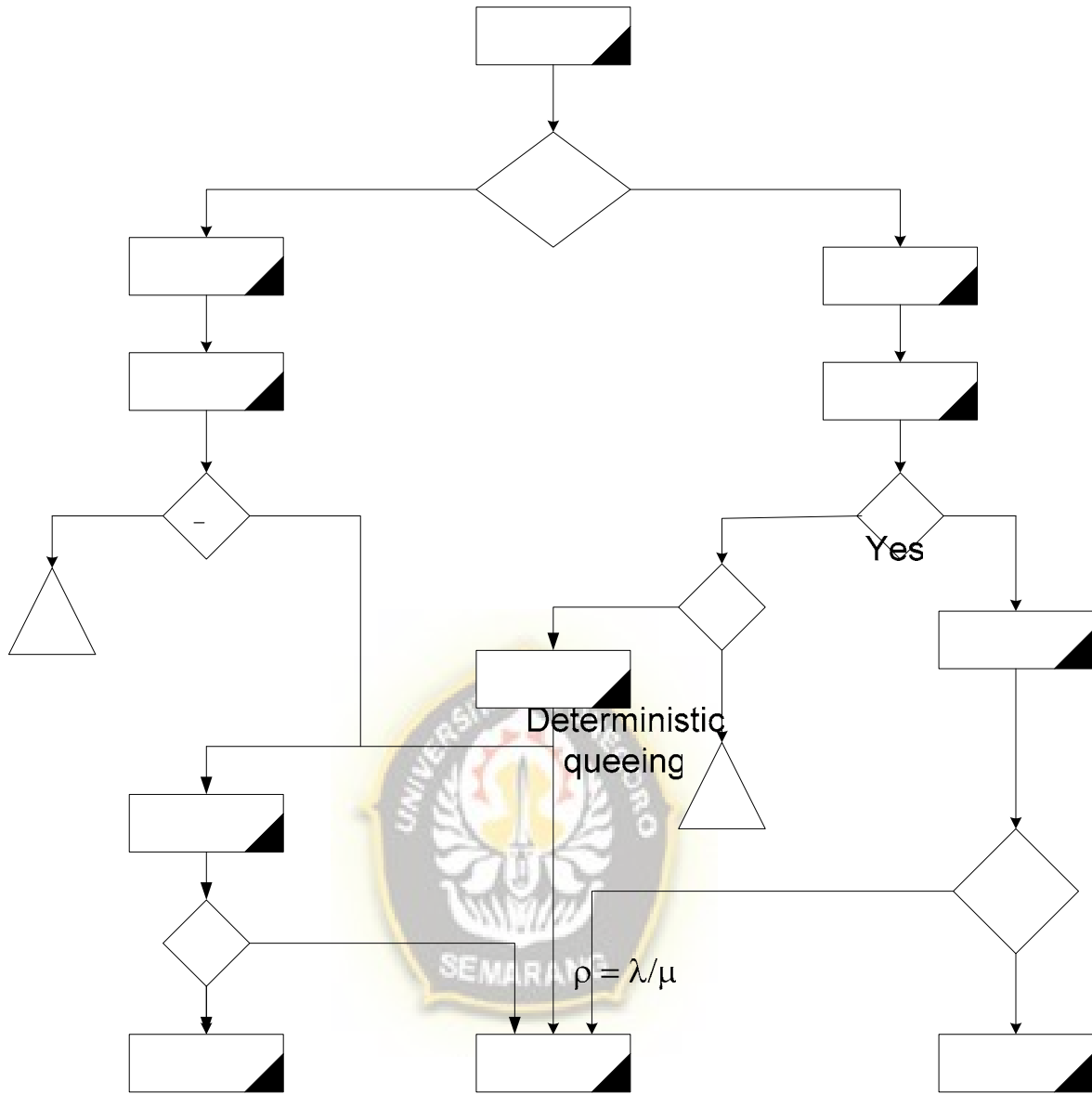
- a. Tahap I: tahap dimana arus lalu lintas (kendaraan) bergerak dengan suatu kecepatan tertentu menuju suatu tempat pelayanan. Besarnya arus lalu lintas yang datang disebut tingkat kedatangan ( $\lambda$ ). Jika digunakan disiplin antrian FIFO dan terdapat lebih dari 1 (satu) tempat pelayanan (multilajur),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



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. Suatu perkiraan mengenai klasifikasi diperlukan untuk dapat mengakses karakteristik masukan untuk suatu analisa antrian, apakah termasuk dalam analisa deterministik atautkah 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.

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



Deter  
servic

det

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

$$T = \frac{1605 + 3250L}{C}$$

dimana,  
 $T$  = waktu rata-rata didalam sistem, detik.  
 $L$  = panjang rata-rata antrean, kendaraan.  
 $\rho = \lambda/\mu$

$L \leq 15$   
 $C$  = kapasitas gerbang, kendaraan per jam.  
 $ST$  = waktu pelayanan, detik.

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

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

$$L \approx 0 \quad \text{jika } \frac{v}{c} \leq 0.5$$

$$L = 7\frac{v}{c} - 3.5 \quad \text{jika } 0.5 \leq \frac{v}{c} \leq 0.93$$

$$L = 3 \left[ 1 + 6.29 \left( \frac{v}{c} - 0.93 \right) \left( \frac{c}{360} - 1 \right) \right] \left[ 1 + \left( 14 \frac{v}{c} - 13 \right)^2 t \right]$$

dimana,

$$\text{jika } \frac{v}{c} \geq 0.93$$

$V/C$  = rasio volume-kapasitas gerbang

$t$  = durasi arus, jam.

## Metodologi dan Asumsi

### Metodologi

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.

### Asumsi Sebelum Penerapan ETC (eksisting)

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

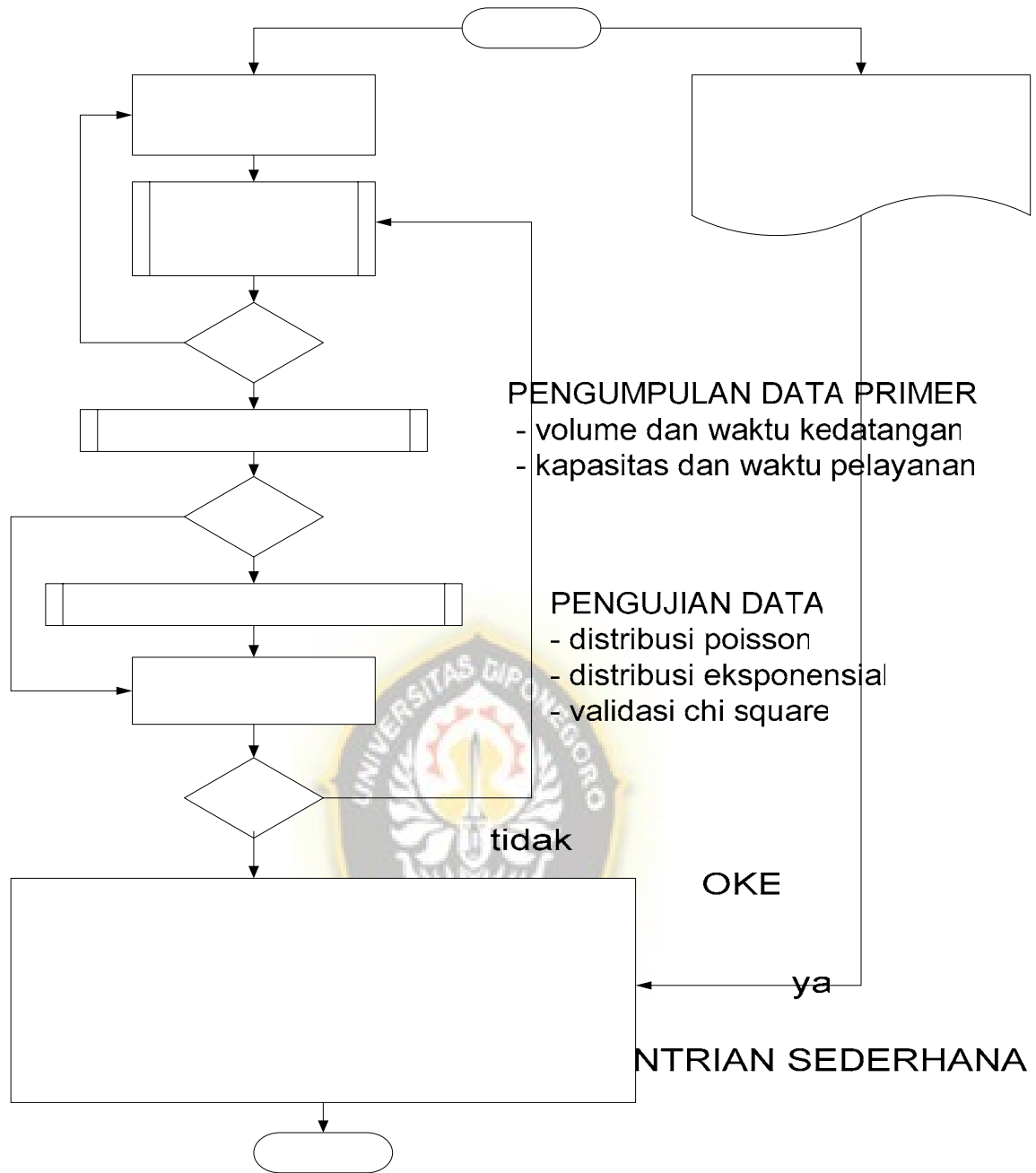
- Kendaraan yang masuk ke sistem antrian dianggap akan membagi secara merata ke 11 pintu yang ada sesuai teori antrian, sehingga dianggap saluran kedatangan tunggal dan fasilitas pelayanan tunggal (*single channel-single phase*)
- Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO
- Tingkat kedatangan dianggap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

### 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*)



**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.

ya

OKE

- 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 dikalkulasi memiliki 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

**MODEL ANTRIAN DENGAN SIMULASI**

**KALIBRASIMODEL ANTRIAN**

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.

#### **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 menit 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) diasum-

sikan 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.

**Analisis**

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

menitan 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).

Analisa dan perhitungan dengan menggunakan model simulasi antrian Lin & Su menunjukkan bahwa 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.

**Tabel waktu hilang rata-rata yang dialami oleh kendaraan perhari**

Ekisting Th 2005	VOLUME KENDARAAN YG MENUJU PINTU TOL PD. GEDE TIMUR ARAH KE JAKARTA					WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI PINTU (JAM - KENDARAAN)				
	(minggu)	(senin)	(selasa)	(rabu)	(kamis)	(minggu)	(senin)	(selasa)	(rabu)	(kamis)
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: Analisis, 2006

Nilai waktu yang hilang adalah nilai biaya (dalam rupiah/jam/kendaraan) yang seharusnya tidak dialami oleh kendaraan atau pengguna jalan tol. 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

**Tabel 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)	
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: Analisis, 2006

Berdasarkan kondisi diatas, dengan asumsi pengguna ETC (komuter) sebanyak 49,59% per hari, maka kombinasi pintu pelayanan dengan jumlah pintu konvensional 9 dan pintu ETC 2 berfungsi efektif dalam mereduksi antrian di pintu tol.

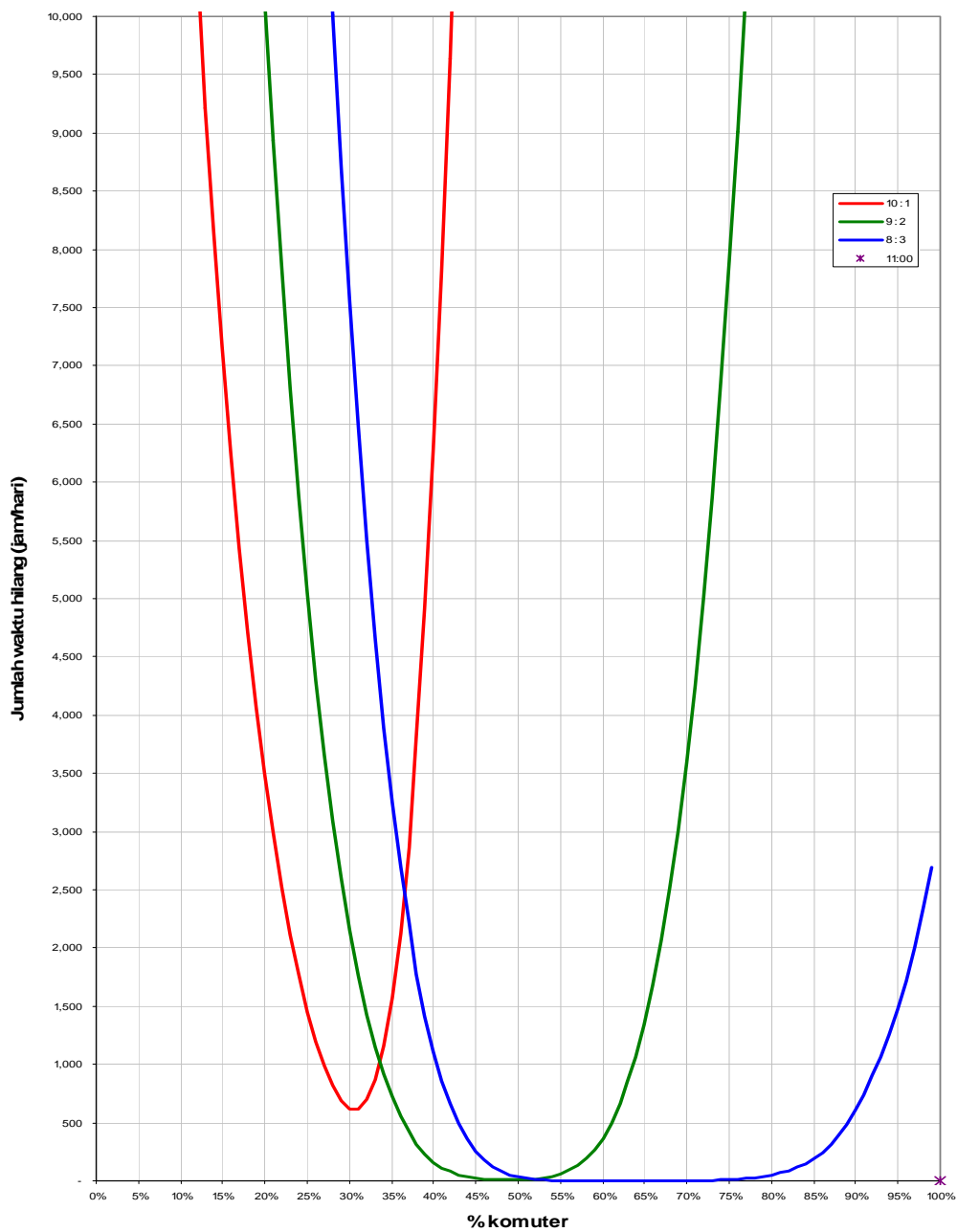
**Tabel waktu hilang rata-rata pada kombinasi jumlah pintu konvensional : ETC**

Eksisting Th 2005	WAKTU HILANG RATA-RATA AKIBAT ANTRIAN DI PINTU (JAM - KENDARAAN)/HARI			
	11 : 0	10 : 1	9 : 2	8 : 3
2005	8,457.09	35,168.50	5.47	6.39
2006	13,618.17	46,923.16	16.54	19.27
2007	20,801.22	62,029.61	46.04	52.90
2008	31,112.98	81,322.34	118.72	134.12
2009	45,934.69	105,911.14	286.32	317.25
2010	65,322.56	137,107.55	651.49	706.75
2011	90,597.01	176,449.87	1,301.22	1,368.04
2012	124,017.57	225,932.02	2,491.85	2,516.82
2013	168,087.11	287,950.59	4,477.96	4,306.72
2014	225,677.29	365,385.51	7,652.47	7,074.22
2015	300,748.04	461,937.82	12,437.06	10,992.79

Sumber: Analisis, 2006

Sedangkan jumlah pengguna komuter variatif, maka kombinasi pintu pelayanan dengan jumlah pintu konvensional dan jumlah pintu

ETC yang paling berfungsi efektif dalam mereduksi antrian di pintu tol adalah seperti grafik berikut



Berdasarkan gambar 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.

### Kesimpulan dan Saran

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).

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. Hal ini dapat terjadi karena pengguna jalan tol (kendaraan) yang biasanya memanfaatkan sistem pelayanan konvensional, khususnya bagi pengguna jalan tol komuter akan beralih menggunakan sistem pelayanan ETC. Besarnya jumlah kendaraan yang beralih ke sistem pelayanan ETC akan mengurangi kepadatan di sistem pelayanan konvensional.

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).

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 survey OD (atau hasil

pembacaan tiket) yang dilaksanakan oleh PT. Jasa Marga pada Tahun 2003 sampai dengan Tahun 2005, terdapat 13 pintu entrance yang menyumbang jumlah kendaraan yang cukup besar menuju pintu exit tol Pondok Gede Timur. Berdasarkan analisa terhadap OD tersebut, dari ke-13 pintu tersebut, terdapat 5 pintu yang menjadi penyuplai terbesar (sekitar 75% dari total jumlah kendaraan yang berasal dari ke-13 pintu diatas). 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 dengan melakukan perbandingan antara nilai investasi per line (pintu) ETC sebesar \$3,009,340 atau Rp. 27.535.461.000,00 atau dengan membangun 5 pintu ETC pada beberapa pintu entrance penyuplai arus lalu lintas sebelum pintu tol Pondok Gede Timur dan 2 pintu ETC sebagai pintu exit di pintu tol Pondok Gede Timur, maka total investasi sebesar Rp. 192.748.227.000,00 dibandingkan dengan nilai waktu yang hilang akibat besarnya antrian di pintu tol Pondok Gede sampai dengan Tahun 2008 sebesar Rp. 154.452.498.954,00 dan akan meningkat menjadi Rp. 279.350.880.991,00 pada Tahun 2009, maka semestinya penggunaan pintu ETC sudah saatnya dipikirkan.

#### 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
- 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.
- Taha, A.H. 1993, *Operations Research : An Introduction*, Fourth Editions, MacMillan Publishing Company, USA
- Tamin, O.Z. 2000, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Edisi Kedua, Departemen Teknik Sipil, ITB, Bandung
- Tamin, O.Z. 2003, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi : 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