

Perencanaan Gerbang Tol pada Jalan Tol Serpong-Cinere Ruas JORR 2 Jakarta

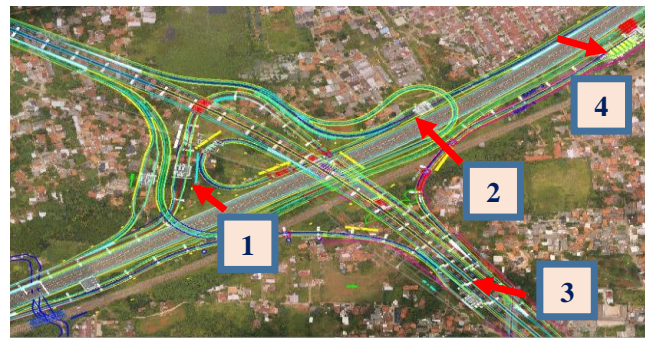
Anggrainy Septianingrum dan Hera Widyastuti
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hera@ce.its.ac.id

Abstrak— Jalan tol merupakan bagian dari suatu sistem jaringan jalan nasional yang dikhususkan untuk kendaraan minimal 2 gandar (truk, mobil, bis, dll) dan sebelum para pengguna memasuki jalan tol tersebut terdapat gerbang tol dimana pengguna harus membayar sesuai golongan dan tarif yang berlaku. Dalam perhitungan ini, metode disiplin antrian yang digunakan yaitu metode *First In First Out* dan sistem struktur yang digunakan yaitu *Single Channel-Single Phase*. Perhitungan perencanaan gerbang tol ini nantinya akan merencanakan gerbang tol otomatis dan *On Board Unit*. Dari hasil perhitungan perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere ini didapatkan 5 gerbang tol, yaitu gerbang tol Jakarta (Ramp 3 dan Ramp 4), gerbang tol Serpong (Ramp 1 dan Ramp 2) dan gerbang tol RE Martadinata. Pada perhitungan di tahun 2019, gerbang tol Jakarta arah masuk dan arah keluar terdapat 3 gardu tol dimana masing-masing 1 gardu tol (GTO, GTO khusus dan *On Board Unit*). Untuk gerbang tol Serpong arah masuk dan arah keluar terdapat 3 gardu tol dimana masing-masing 1 gardu tol (GTO, GTO khusus dan *On Board Unit*). Untuk gerbang tol RE Martadinata terdapat 6 gardu tol dengan masing-masing 3 gardu tol keluar dan 3 gardu tol masuk. Kemudian untuk tahun 2024, dan 2029 adanya penambahan jumlah gardu tol dari perhitungan tahun 2019.

Kata Kunci—Perencanaan Gerbang Tol, Jalan Tol Serpong-Cinere, Gardu Tol Otomatis dan *On Board Unit*.

I. PENDAHULUAN

TRANSPORTASI didefinisikan sebagai kegiatan pemindahan penumpang dan barang dari suatu tempat ke tempat yang lain, dimana didalamnya terdapat unsur pergerakan (*movement*). Transportasi sangat memegang peranan penting dalam pembangunan dan pengembangan infrastruktur kawasan perkotaan. Wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang (Jabodetabek) sebagai bagian dari provinsi-provinsi tersebut tidak lepas dari pertumbuhan penduduk sehingga kebutuhan dalam melakukan perpindahan terus meningkat dan akan menurunkan kinerja jalan. Pembangunan Jakarta *Outer Ring Road* (JORR) I dan Jakarta *Outer Ring Road* (JORR) II merupakan salah satu solusi mengatasi penurunan kinerja jalan tersebut, sehingga diharapkan akan mengurangi kemacetan di wilayah Jabodetabek dan meningkatkan sektor ekonomi dan sosial di wilayah tersebut. Suatu interaksi yang baik dan ideal antara komponen-komponen transportasi (penumpang, barang, sarana, dan prasarana) membentuk suatu sistem transportasi yang komprehensif, efisien dan efektif sehingga diharapkan mampu mengoptimalkan fungsi transportasi dalam suatu kawasan perkotaan. Jalan tol sebagai jalan bebas hambatan memberikan perbedaan yang nyata dengan jalan biasa[1]. Pembangunan jalan tol merupakan salah satu bentuk usaha Pemerintah dalam memudahkan masyarakat di Indonesia



Gambar 1. Gerbang Ramp 1,2,3,4, Serpong-Cinere

untuk bisa melakukan mobilitas mereka baik dalam hal ekonomi maupun sosial dengan baik dan cepat.

Salah satu jalan tol yang akan penulis tinjau adalah jalan tol Serpong-Cinere yang merupakan bagian dari Jalan Tol Lingkar Luar Jakarta 2 yang rencananya akan menyambung dengan Jalan Tol Kunciran-Serpong di bagian barat dan Jalan Tol Cinere-Jagorawi di bagian timur. Jalan tol yang menghubungkan Tangerang Selatan dengan Kota Depok ini melintasi beberapa kawasan, seperti Jombang, Ciputat, Pamulang, Pondok Cabe, dan Cinere. Jalan tol ini secara total memiliki panjang 10,14 km[2]. Jalan tol Serpong-Cinere dibagi dalam 2 seksi, dimana seksi 1 ruas Serpong Junction-Pamulang/Martadinata Interchange dengan panjang 6,5 km dan seksi 2 ruas Cinere-Pamulang dengan panjang 3,64 km. Pengelola jalan tol Serpong-Cinere yaitu PT Cinere Serpong Jaya. Jalan tol ini akan berperan sebagai alternatif akses menuju Jakarta dari wilayah di luar Jakarta. Dengan menggunakan akses jalan tol ini pengendara jalan akan memakan waktu yang lebih sedikit.

Target yang menjadi sasaran pelayanan jasa jalan tol terhadap pemakai jasa adalah kelancaran, keamanan, dan kenyamanan. Untuk dapat mencapai sasaran tersebut, ditetapkan sebagai tolak ukur operasionalnya adalah berupa waktu pelayanan di gardu, waktu tempuh jalan tol, tingkat kelancaran, tingkat fasilitas, tingkat keluhan pelanggan dan standar kerataan jalan. Penerapan sistem transaksi pada gerbang tol juga menjadi faktor pertimbangan dalam mengurangi kepadatan antrian pada transaksi gerbang tol. Penentuan lokasi pintu tol juga harus disesuaikan dengan ke arah mana nantinya kendaraan banyak yang masuk dan keluar. Oleh karena itu, penulis akan merencanakan jumlah gerbang tol dimana sistem pembayaran pada jalan tol Serpong-Cinere JORR 2 menggunakan sistem transaksi tertutup terintegrasi. Berikut merupakan lokasi perencanaan gerbang tol pada jalan tol Serpong-Cinere.

Jumlah gerbang tol direncanakan berjumlah 5. Dimana 4 gerbang tol berada di Serpong Junction dan 1 gerbang tol



Gambar 2. Gerbang RE Martadinata

barrier pada gerbang RE Martadinata[3]. Berikut merupakan lokasi perencanaan gerbang tol pada jalan tol Serpong-Cinere seperti pada gambar 1.

Berikut merupakan uraian penjelasan dari 4 gerbang tol Serpong-Cinere yang berada di Serpong Junction:

- Ramp 1 merupakan gerbang masuk dari jalan tol Jakarta Serpong arah BSD menuju jalan tol Serpong-Cinere. Konsep belok kanan pada Ramp 1 ini dengan tipe *semidirect*.
- Ramp 2 merupakan gerbang keluar dari jalan tol Serpong-Cinere menuju jalan tol Jakarta-Serpong arah Jakarta. Konsep belok kanan pada Ramp 2 ini dengan tipe *loop*.
- Ramp 3 merupakan gerbang keluar tol Serpong-Cinere dan akan menuju jalan tol Jakarta-Serpong arah BSD
- Ramp 4 merupakan gerbang masuk jalan tol Serpong-Cinere dari jalan tol Jakarta-Serpong arah Jakarta.

Gerbang RE. Martadinata merupakan gerbang barrier pada Interchange Pamulang. Dimana gerbang ini merupakan gerbang masuk dan keluar pengendara yang akan menuju kawasan Pamulang, Ciputat atau yang akan menuju daerah Cinere, Depok maupun yang akan menuju ke BSD, Jakarta atau Kunciran.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Dalam tahap ini mencari acuan dari literatur-literatur berupa jurnal, peraturan-peraturan maupun internet yang membahas tentang jalan tol maupun perencanaan gerbang tol yang dapat menunjang pelaksanaan perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere. Salah satu yang menjadi acuan dalam perencanaan ini adalah Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370/KPTS/M2007 tentang golongan jenis kendaraan bermotor pada ruas jalan tol yang sudah beroperasi, golongan jenis kendaraan bermotor [4]. Golongan jenis kendaraan dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

B. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam perencanaan ini terdiri dari 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Berikut 2 jenis data yang diperlukan dalam perencanaan ini:

1) Data Primer

Data primer dilakukan dengan pengambilan data secara langsung di lapangan berupa metode observasi yaitu pengamatan dan pencatatan secara langsung di lapangan yaitu pada gerbang tol Cengkareng dan Kapuk. Data primer berupa:

Tabel 1.

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

- 1) Waktu pelayanan (*service time*), merupakan waktu yang dibutuhkan oleh satu tempat pelayanan untuk dapat melayani satu kendaraan dinyatakan dalam satuan menit/kendaraan.

$$WP = \frac{1}{\mu} \tag{1}$$

Dimana:

WP = waktu pelayanan

μ = tingkat pelayanan, dengan persyaratan

$$\rho = \frac{\lambda}{WP} < 1 \tag{2}$$

Dimana:

ρ = intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian

λ = tingkat kedatangan

μ = tingkat pelayanan

- 2) Panjang antrian, dilakukan dengan cara mengukur berapa panjang antrian yang sedang terjadi dimulai dari mobil yang berada dibelakang mobil yang sedang melakukan transaksi pembayaran.

2) Data Sekunder

Data sekunder merupakan sumber data penelitian yang diperoleh melalui media perantara. Data sekunder umumnya berupa bukti catatan atau laporan historis yang telah ada didalam arsip. Dalam studi ini data sekunder didapat dari PT Cinere Serpong Jaya selaku *owner* dari pembangunan jalan tol Serpong-Cinere Ruas JORR 2. Data yang diperoleh yaitu data volume kendaraan yang melewati tol tersebut, konfigurasi jalan tol serta peta jalan tol.

C. Analisis Data

Tahap ini data diolah dari pengumpulan data yang telah dilakukan untuk menganalisis objek penelitian. Dari waktu pelayanan yang didapatkan pada survey lapangan tersebut dapat menjadi acuan untuk waktu pelayanan pada perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere. Sedangkan data volume kendaraan yang didapat dari data primer tersebut dapat selanjutnya dihitung analisis data.

D. Survey Waktu Pelayanan

Melakukan survey waktu pelayanan pada gerbang tol otomatis pada gerbang tol Cengkareng dan gardu tol *On Board Unit* (OBU) pada gerbang tol Kapuk.

E. Analisis Data Lalu Lintas

Analisis ini dihitung menggunakan data sekunder yang didapat sebelumnya dari PT Cinere Serpong Jaya. Perhitungan data menggunakan metode *all or nothing* dikombinasikan dengan matriks furness untuk mengetahui berapa jumlah kendaraan asal tujuan pada jalan tol Serpong-Cinere.

Tabel 2.
Matriks asal tujuan golongan 1 tahun 2019

A/T	Kunciran	BSD	Jakarta	Serpong	IC Martadinata	Cinere
Kunciran	0	616	1950	4346	1362	4553
BSD	309	0	138	308	96	322
Jakarta	2962	417	0	2945	923	3086
Serpong	5003	705	2232	0	1559	5213
IC Martadinata	778	110	347	774	0	811
Cinere	4152	585	1853	4129	1294	0

Tabel 3.
Arus jam puncak golongan 1 tahun 2019

A/T	Kunciran	BSD	Jakarta	Serpong	IC Martadinata	Cinere
Kunciran	0	68	214	478	150	501
BSD	34	0	15	34	11	35
Jakarta	326	46	0	324	102	339
Serpong	550	78	246	0	172	573
IC Martadinata	86	12	38	85	0	89
Cinere	457	64	204	454	142	0

F. Analisis Tingkat Kedatangan

Setelah mendapatkan nilai matriks asal tujuan dilakukan analisis tingkat kedatanga. Dimana nilai matriks asal tujuan tersebut masih merupakan satuan kendaraan/hari. Data arus lalu lintas rencana digunakan sebagai dasar untuk menetapkan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, berupa arus lalu lintas jam desain (Q_{jp}) yang ditetapkan dari LHRT, menggunakan faktor k[5].

$$Q_{jp} = LHRT \times k \tag{3}$$

- Q_{jp} = arus lalu lintas dalam satuan kend/jam, yang digunakan untuk desain
- LHRT = volume lalu lintas rata-rata tahunan yang ditetapkan dari survey perhitungan lalu lintas
- K = faktor jam rencana. Nilai k yang dapat digunakan untuk jalan bebas hambatan yaitu sebesar 11%.

G. Analisis Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol

Dalam perhitungan jumlah kendaraan masuk dan keluar gerbang dihitung dengan cara penjumlahan dari hasil matriks asal tujuan yang sudah dihitung sebelumnya. Perhitungan jumlah kendaraan masuk dihitung dengan cara penjumlahan secara horizontal dari tabel matriks asal tujuan. Sedangkan untuk jumlah kendaraan keluar didapatkan dengan cara penjumlahan secara vertikal pada perhitungan matriks asal tujuan.

H. Analisis Intensitas Lalu Lintas

Pada perhitungan intensitas lalu lintas digunakan untuk merencanakan jumlah gerbang tol untuk jalan tol Serpong-Cinere. Sebelumnya sudah didapatkan nilai waktu pelayanan yang digunakan untuk perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere dari survey yang dilakukan pada gerbang tol Cengkareng dan Kapuk. Perencanaan gerbang tol dihitung untuk tahun 2019, 2024, dan 2029. Perhitungan perencanaan gerbang tol ini menggunakan disiplin antrian *First In First Out* (FIFO), yaitu kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama [6]. Berikut merupakan rumus yang digunakan pada disiplin antrian FIFO[4]:

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \tag{4}$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \tag{5}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \tag{6}$$

$$\bar{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \tag{7}$$

Dimana :

- \bar{n} = jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem (kendaraan/ satuan waktu)
- \bar{q} = jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian (kendaraan/ satuan waktu)
- \bar{d} = waktu rata-rata kendaraan dalam system

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Volume Lalu Lintas

Data sekunder yang merupakan volume lalu lintas yang sudah didapatkan dari instansi terkait sebelumnya diolah menjadi matriks asal tujuan dengan menggunakan metode *all or nothing* dikombinasikan dengan matriks furness. Berikut merupakan hasil matriks asal tujuan untuk golongan 1 jalan tol Serpong-Cinere pada tahun 2019 pada tabel 2.

Perhitungan matriks tersebut bertujuan untuk mengetahui pembebanan kendaraan dari zona asal ke zona tujuan. Data yang dimasukkan pada perhitungan matriks asal tujuan tersebut menggunakan data volume lalu lintas (kend/hari) yang didapatkan dari dati sekunder.

B. Analisis Tingkat Kedatangan

Pada perhitungan sebelumnya, matriks asal tujuan yang didapat merupakan satuan kendaraan harian rata-rata tahunan. Mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia dimana volume kend/hari harus dikalikan dengan nilai faktor k yaitu sebesar 11% agar menjadi data lalu lintas volume kendaraan/jam [5]. Hasil rekapitulasi tingkat kedatangan golongan 1 pada jalan tol Serpong-Cinere tahun 2019 seperti pada tabel 3.

Pada perhitungan diatas didapatkan volume kendaraan untuk arah Kunciran menuju BSD yaitu sebesar 68 kend/jam. Hasil tersebut didapatkan dari matriks perhitungan sebelumnya dimana arah Kunciran menuju BSD didapatkan sebanyak 616 kend/hari. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Q_{jp} = LHRT \times k$$

$$Q_{jp} = 616 \text{ kend/hari} \times 0.11$$

$$Q_{jp} = 68 \text{ kend/jam}$$

C. Analisis Distribusi Kendaraan

Setelah didapatkan matriks arus jam puncak, selanjutnya dilakukan analisis distribusi kendaraan masing-masing golongan ke setiap gerbang tol untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang masuk pada jalan tol Serpong-Cinere. Karena

Tabel 4.

Jumlah kendaraan masuk gerbang

Gol.	Kunci ran	BS D	Jaka rta	IC			Jumlah Kendaraan
				Serpong	Martad inata	Cinere	
1	1411	129	1137	1618	310	1321	5927
2	53	5	61	39	13	50	222
3	14	1	12	17	7	13	64
4	11	2	9	13	4	10	49
5	7	1	6	8	1	7	29
Total	1497	138	1224	1695	335	1402	6291

Tabel 5.

Jumlah kendaraan keluar gerbang

Golongan	Kunci ran	BSD	Jakarta	IC			Jumlah Kendaraan
				Serpong	Martad inata	Cinere	
1	2821	394	1046	2557	277	2558	9653
2	107	15	40	97	37	97	392
3	29	4	11	26	16	26	111
4	22	3	8	20	9	20	82
5	14	2	5	13	6	13	54
Total	2993	418	1110	2712	344	2714	10292

Tabel 6.

Jumlah kendaraan keluar gerbang

WP	Frekuensi	Frekuensi kumulatif	Presentase	Presentase Kumulatif
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	5	5	10	10
6	6	11	12	22
7	10	21	20	42
8	5	26	10	52
9	19	45	38	90
10	5	50	10	100

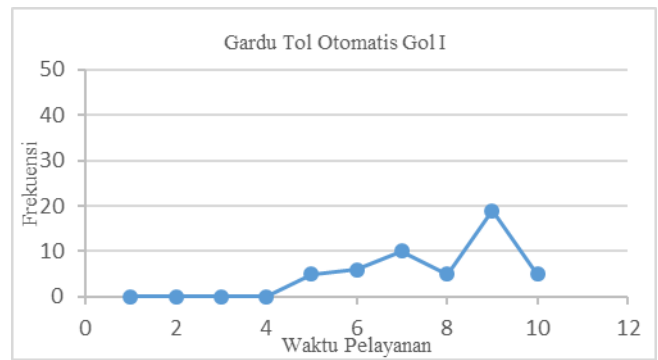
pada jalan tol Serpong-Cinere ini menggunakan sistem tertutup terintegrasi, maka distribusi kendaraan bisa didapatkan dari hasil penjumlahan matriks asal tujuan. Berikut merupakan banyaknya jumlah kendaraan masuk maupun keluar pada jalan tol Serpong-Cinere ditujukan pada tabel 4 dan 5 dibawah ini:

Hasil rekapitulasi diatas merupakan hasil penjumlahan dari tabel matriks arus jam puncak yang sudah dihitung sebelumnya. Contohnya untuk golongan 1 kendaraan yang masuk Kunciran berjumlah 1411 kendaraan didapatkan dari hasil penjumlahan secara horizontal pada perhitungan arus jam puncak, dimana kendaraan yang masuk kunciran yaitu $68 + 214 + 478 + 150 + 501 = 1411$ kendaraan.

Sedangkan untuk perhitungan kendaraan keluar gerbang didapatkan dari hasil penjumlahan secara vertikal pada hitungan arus jam puncak. Contohnya untuk golongan 1 kendaraan yang keluar dari Kunciran yaitu sebanyak 1452 kendaraan yang merupakan hasil penjumlahan secara vertikal pada perhitungana arus jam puncak, dimana kendaraan yang keluar Kunciran yaitu $34 + 326 + 550 + 86 + 457 = 1452$ kendaraan.

D. Analisis Waktu Pelayanan

Waktu pelayanan yang digunakan untuk perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere merupakan hasil perhitungan survey di gerbang tol Cengkareng untuk gardu tol otomatis dan gerbang Kapuk untuk gardu tol *On Board Unit* (OBU). Dari hasil survey waktu pelayanan dengan maing-masing



Gambar 3. Waktu pelayanan gardu tol otomatis golongan 1

Tabel 7.

Waktu pelayanan gerbang tol Serpong-Cinere

Gardu Tol Otomatis (GTO)	Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5
		8	10	10	11
Gardu Tol <i>On Board Unit</i> (OBU)	Gol 1				
	8				

golongan 1-5 diperlukan 50 kendaraan, maka didapatkan hasil rekapitulasi waktu pelayanan dari 50 sampel tersebut. Hasil rekapitulasi waktu pelayanan gardu tol otomatis golongan 1 seperti pada tabel 6.

Setelah mendapatkan hasil rekapitulasi tersebut kemudian diambil nilai presentase kumulatif 50% dan 80% kemudian periksa presentase kumulatif tersebut dengan nilai modus dan median waktu pelayanan tersebut. Untuk mendapatkan waktu pelayanan yang digunakan pada perencanaan gerbang tol maka pilih presentase kumulatif yang paling mendekati dengan nilai modus dan median tersebut. Berikut merupakan grafik waktu pelayanan pada gardu tol otomatis golongan 1 seperti pada gambar 6.

Untuk perhitungan waktu pelayanan golongan 2-5 dan gardu tol *On Board Unit* (OBU) dilakukan perhitungan yang sama dengan membandingkan presentase kumulatif 50% dan 80% pada nilai median, modus dan rata-rata. Sehingga didapatkan hasil rekapitulasi waktu pelayanan untuk perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere mengacu pada hasil survey di gerbang tol Cengkareng dan kapuk seperti pada tabel 7 berikut.

E. Analisis Tingkat Pelayanan

Pada perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere selanjutnya setelah mendapatkan tingkat kedatangan setiap gerbang tol adalah menganalisis intensitas lalu lintas untuk mengetahui intensitas setiap gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit* (OBU). Untuk menganalisis intensitas lalu lintas menggunakan waktu pelayanan berdasarkan survey waktu pelayanan yang telah dilakukan di gerbang tol Cengkareng dan Kapuk. Nantinya sistem gerbang tol yang digunakan pada jalan tol Serpong-Cinere menggunakan sistem tertutup terintegrasi.

F. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Analisis intensitas gerbang digunakan untuk menganalisis perbandingan tingkat pelayanan dan tingkat kedatangan untuk mengetahui intensitas setiap gardu tol yaitu gardu tol otomatis dan gardu tol *On Board Unit* (OBU). Perhitungan intensitas gerbang ditujukan pada tabel 8.

Tabel 8.

Intensitas gerbang tol					
Intensitas Gerbang BSD					
GTO Masuk	Gol 1	Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5
μ (detik)	8	10	10	11	14
λ (kend/jam)	450	360	360	327	257
λ total			41		
$\sum(\mu * \lambda)$	14528,25	1742,4	475,2	684	169,71429
μ (kend/jam)			427		

Tabel 9.

Intensitas gerbang tol					
Jumlah Kendaraan Masuk BSD					
Golongan	1	2	3	4	5
Jumlah kend (λ)	129	5	1	2	1

Dalam perencanaan ini direncanakan proporsi kendaraan yang masuk dan keluar setiap gardu tol. Gardu tol yang direncanakan yaitu gardu tol otomatis, gardu tol otomatis khusus dan gardu tol *On Board Unit* (OBU). Dalam perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere tahun 2019, direncanakan kendaraan golongan 1 menggunakan proporsi 30% masuk ke gardu tol otomatis khusus golongan 1, 25% masuk ke gardu tol otomatis dan 45% masuk ke gardu tol *On Board Unit*. Sedangkan untuk kendaraan golongan 2-5 hanya masuk ke gardu tol otomatis. Berikut jumlah kendaraan yang masuk gerbang BSD dapat ditunjukkan pada tabel 9.

Contoh perhitungan:

$$\lambda_1 \text{ GTO gol I} : 129 \times 25\% = 32 \text{ kend}$$

$$\text{Waktu pelayanan Golongan 1} : 8 \text{ detik}$$

$$\mu_1 \text{ GTO Gol 1} : \frac{3600}{8} = 450 \text{ detik}$$

$$\lambda_1 \text{ GTO golongan 2-5} : 5 + 1 + 2 + 1 = 9 \text{ kend}$$

$$\lambda_1 \text{ GTO gol 1-5} : 32 + 9 = 41 \text{ kend}$$

$$\lambda_2 \text{ GTO khusus gol I} : 129 \times 30\% = 39 \text{ kend}$$

$$\text{Waktu pelayanan Golongan 1} : 8 \text{ detik}$$

$$\mu_2 \text{ GTO Khusus Gol 1} : \frac{3600}{8} = 450 \text{ detik}$$

$$\lambda_3 \text{ OBU khusus gol I} : 129 \times 45\% = 58 \text{ kend}$$

$$\text{Waktu pelayanan OBU} : 3 \text{ detik}$$

$$\mu_3 \text{ GTO Khusus Gol 1} : \frac{3600}{3} = 1200 \text{ detik}$$

Berikut perhitungan untuk perencanaan jumlah gardu tol masuk:

Jumlah (N1) gardu tol otomatis khusus Gol I : 1 gardu

Jumlah (N2) gardu tol otomatis : 1 gardu

Jumlah (N3) gardu *On Board Unit* : 1 gardu

λ_1 gardu tol otomatis khusus Gol. I : 39 kend

λ_2 gardu tol otomatis : 41 kend

λ_3 gardu *On Board Unit* : 58 kend

μ_1 gardu tol otomatis khusus Gol. I : 450 kend/jam

μ_2 gardu tol otomatis : 427 kend./jam

Tabel 10.

Rekapitulasi gerbang BSD (gardu masuk)				
Gerbang BSD (gardu masuk)				
Gardu Tol Otomatis (GTO)	ardu	μ (kend/jam)	λ (kend/jam)	ρ_1
Gardu Tol Otomatis (GTO khusus)	1	423	41	0.097
Gardu Tol <i>On Board Unit</i> (OBU)	1	1200	58	0.048

$$\mu_3 \text{ gardu } \textit{On Board Unit} : 1200 \text{ kend./jam}$$

- Gardu tol otomatis khusus :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1 / N_1}{\mu_1}$$

$$\rho_1 = \frac{39 / 1}{450}$$

$$\rho_1 = 0.086$$

- Gardu tol otomatis :

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2 / N_2}{\mu_2}$$

$$\rho_2 = \frac{41 / 1}{423}$$

$$\rho_2 = 0.097$$

- Gardu tol *On Board Unit* :

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3 / N_3}{\mu_3}$$

$$\rho_2 = \frac{58 / 1}{1200}$$

$$\rho_2 = 0.048$$

Setelah di analisis, nilai ρ_1, ρ_2 dan $\rho_3 < 1$, maka intensitas lalu lintas pada gerbang tol BSD untuk masuk aman.

G. Analisis Antrian Pada Gerbang Tol

Analisis antrian pada gerbang tol Serpong-Cinere menggunakan analisis antrian *First In First Out* (FIFO). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui panjang antrian yang terjadi dan waktu mengantri pada gerbang tol. Berikut merupakan perhitungan analisis antrian FIFO pada gerbang tol BSD (gardu masuk) pada tahun 2019. Berikut merupakan hasil rekapitulasi gerbang BSD (gardu masuk) dapat dilihat pada tabel 10.

- Gardu tol otomatis:

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0.097}{1 - 0.097} = 0.108 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0.097^2}{1 - 0.097} = 0.11 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kend}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda N} \times 3600 = \frac{1}{423 - 41 / 1} \times 3600 = 9.43 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \times 3600 = 9.43 - \frac{1}{423} \times 3600 = 0.918 \text{ detik}$$

• **Gardu tol otomatis khusus:**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0.086}{1-0.086} = 0.094 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0.086^2}{1-0.086} = 0.008 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kend}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda N} x3600 = \frac{1}{450 - 39 / 1} x3600 = 8.75 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} x3600 = 8.75 - \frac{1}{450} x3600 = 0.754 \text{ detik}$$

• **Gardu tol On Board Unit (OBU):**

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0.048}{1-0.048} = 0.051 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0.048^2}{1-0.048} = 0.002 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kend}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda N} x3600 = \frac{1}{1200 - 58 / 1} x3600 = 3.15 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} x3600 = 3.15 - \frac{1}{1200} x3600 = 0.15 \text{ detik}$$

Dari hasil perhitungan perencanaan jumlah gardu diatas, dengan ketentuan panjang antrian harus kurang dari 10 kendaraan dan $p < 1$, maka perencanaan gardu tol sejumlah 3 dengan masing-masing 1 gardu pada GTO, GTO khusus dan OBU aman dan dapat digunakan.

IV. KESIMPULAN

A. *Kesimpulan*

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya yang sudah dijelaskan, maka dapat disimpulkan pada perencanaan gerbang tol Serpong-Cinere sebagai berikut:

- a. Pada tahun 2019 terdapat 3 gardu pada gerbang BSD arah masuk maupun arah keluar. Masing-masing 1 gardu pada GTO, GTO khusus dan OBU. Untuk

gerbang Jakarta arah masuk maupun arah keluar juga terdapat 3 gardu tol, dan untuk gerbang RE Martadinata juga terdapat 3 gardu tol masing-masing 1 gardu pada GTO, GTO khusus dan OBU.

- b. Pada perencanaan tahun 2024 dan 2029 terdapat penambahan gardu pada gerbang jakarta arah masuk dimana pada tahun 2024 menjadi 4 gardu dan tahun 2029 juga terdapat penambahan jumlah gardu menjadi 5. Pertambahan jumlah gardu dikarenakan adanya perubahan lalu lintas, dan perencanaan proporsi.
- c. Panjang antrian yang sudah dihitung dalam perencanaan ini sudah sesuai dengan ketentuan dimana harus kurang dari 10 kendaraan.

B. *Saran*

Diharapkan untuk segera diberlakukan transaksi tol menerus atau *Multilane Free Flow* (MLFF) guna meningkatkan efisiensi sistem transaksi tol menuju pembayaran tol tanpa henti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Cinere Serpong Jaya yang telah mengizinkan penulis untuk permohonan data guna mengerjakan penulisan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Jasa Marga Learning Institut yang telah memberikan izin survey pada gerbang tol Cengkareng dan Kapuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fahza and H. Widyastuti, "Analisis daerah rawan kecelakaan lalu lintas pada ruas jalan tol Surabaya-Gempol.," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 1, pp. E54-E59, 2019.
- [2] "Jalan Tol Serpong – Cinere (10,14km) - KPPIP." [Online]. Available: <https://kppip.go.id/proyek-strategis-nasional/a-proyek-pembangunan-infrastruktur-jalan-tol/jalan-tol-serpong-cinere-1014km/>. [Accessed: 29-Jan-2020].
- [3] "Kajian Lalu Lintas Jalan Tol Serpong-Cinere," 2019.
- [4] "BPJT - Badan Pengatur Jalan Tol." [Online]. Available: <http://bpjt.pu.go.id/>.
- [5] Kementerian PU, *Kapasitas Jalan Bebas Hambatan*. 2014, p. vol. 2.
- [6] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan pemodelan transportasi*. Penerbit ITB. 2000.