

Perencanaan Gerbang Tol Serang - Panimbang

Satrio Luhur Wicaksono, Wahyu Herijanto dan Anak Agung Gde Kartika
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)
e-mail: herijanto@ce.its.ac.id

Abstrak—Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar. Sedangkan, arti dari tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol. Jalan tol dibuat bertujuan untuk mempersingkat waktu tempuh perjalanan dari suatu tempat ke tempat lain. Oleh karena itu, jalan tol harus menyediakan arus yang bebas hambatan agar tujuan dari dibuatnya jalan tol dapat tercapai sebagaimana mestinya. Untuk mencapai tujuannya dibutuhkan gerbang tol sebagai penghubung jalan arteri dan jalan tol yang dapat berfungsi secara optimum. Perencanaan gerbang tol Serang - Panimbang ini merencanakan jumlah gerbang tol pada tahun 2021. Metode yang digunakan dalam perencanaan gerbang tol Serang - Panimbang adalah First In First Out untuk disiplin antrian dan Single Channel - Single Phase sebagai struktur dasar dalam proses antrian dengan menggunakan 2 sistem gerbang tol Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit (OBU). Metode survei yang digunakan adalah menghitung durasi waktu pelayanan menggunakan alat pengukur waktu stopwatch. Perencanaan gerbang tol ini mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol dan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014. Di dalam penelitian ini juga merencanakan Multi Lane Free Flow (MLFF). Perencanaan MLFF menghitung data masukan lalu lintas pada jam puncak, menghitung kapasitas jalan, dan juga menghitung derajat kejenuhan. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberi alternatif perancangan gerbang tol untuk rute jalan tol Serang - Panimbang yang efisien dan optimal. Selain itu dalam penelitian ini juga memberikan data dan perhitungan yang optimal dalam menentukan jumlah gardu yang dibutuhkan sesuai dengan tingkat volume kendaraan. Selain itu juga memberikan kajian tentang MLFF untuk perencanaan pada gerbang tol ini.

Kata Kunci—Gerbang Tol, Gerbang Tol Serang - Panimbang, Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit (OBU), Multi Lane Free Flow (MLFF).

I. PENDAHULUAN

JALAN tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar. Sedangkan, arti dari tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol [1]. Jadi, dapat disimpulkan bahwa jalan tol merupakan lintas alternatif dari ruas jalan umum yang ada dan memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang. Jalan tol diselenggarakan dengan tujuan untuk meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi, meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan, serta meringankan beban dana pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan [2].

Pada Desember 2017 sedang diadakan pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang. Jalan Tol Serang-Panimbang adalah jalan tol yang menghubungkan Serang dan Kawasan

Ekonomi Khusus Pariwisata Tanjung Lesung, Banten. Jalan Tol Serang-Panimbang akan tersambung dengan Jalan Tol Jakarta-Merak. Pembangunan jalan tol sepanjang 83,6 km ini bertujuan untuk menyediakan akses ke Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Tanjung Lesung dan Taman Nasional Ujung Kulon. Proyek direncanakan akan terdiri dari tiga seksi, yakni Seksi 1 Ruas Serang- Rangkasbitung (26,50 kilometer), Seksi 2 Ruas Rangkasbitung-Cileles (24,17 kilometer), dan Seksi 3 Ruas Cileles-Panimbang (33 kilometer). Jalan tol ini nantinya akan melintasi 50 desa di 14 kecamatan yang berada mulai dari Walantaka hingga Panimbang.

Salah satu komponen penting jalan bebas hambatan adalah gerbang tol. Gerbang tol adalah tempat pelayanan transaksi tol bagi pemakai tol yang terdiri dari beberapa gardu dan sarana perlengkapan lainnya. Gerbang tol berfungsi sebagai penghubung antara Jalan tol dengan jalan lainnya. Pada pembangunan Jalan Tol Serang-Panimbang akan dibangun sebanyak 7 simpang susun yang menghubungkan jalan tol ini dengan empat kabupaten atau kota.

Pada kenyataannya, sering kali terjadi kemacetan di jalan tol karena panjangnya antrian di gerbang tol dan kurang seimbang jumlah gerbang tol yang dioperasikan dengan jumlah kendaraan yang masuk ke jalan tol. Seharusnya gerbang tol tidak menyebabkan kemacetan di jalan tol, karena jalan tol merupakan jalan bebas hambatan. Maka dari itu dibutuhkan perancangan gerbang tol untuk rute jalan tol Serang - Panimbang yang efisien dan optimal.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahapan Perumusan Masalah

Dalam tahapan perumusan masalah dan penetapan tujuan dalam perencanaan gerbang tol, permasalahan dirumuskan pada keadaan yang terjadi di lapangan dimana dibutuhkan gerbang tol yang efisien untuk menghubungkan jalan tol dan jalan arteri.

B. Tahapan Penentuan Lokasi

Lokasi studi yang ditinjau terletak di jalan tol Serang – Panimbang seksi 1. Pada trase jalan tol Serang – Panimbang seksi 1 terdapat tiga buah *interchange* dan 1 *junction* yang nantinya akan direncanakan gerbang tol. Gerbang tol tersebut meliputi Gerbang Tol Cikeusal, Gerbang Tol Walantaka, Gerbang Tol Petir, dan Gerbang Tol Rangkas Bitung.

C. Literatur Studi

Mencari literature studi atau acuan yang dapat menunjang penulisan penelitian Perencanaan Gerbang Tol Serang - Panimbang, baik berupa jurnal, informasi-informasi dari internet, maupun buku yang berhubungan dengan penelitian perencanaan gerbang tol.

D. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang digunakan untuk mendukung pengerjaan studi ini sebagai berikut:

1) Data Primer

Data primer meliputi data yang didapatkan langsung dari lapangan dengan survei lapangan. Data yang dibutuhkan adalah data survei waktu pelayanan gerbang tol. Data primer berfungsi untuk mengetahui waktu pelayanan di lapangan dan dibandingkan dengan peraturan yang sudah ada.

Pengambilan data primer dilakukan langsung dilapangan dengan mengadakan survei lapangan. Survei dilakukan pada tiap gardu masuk yang beroperasi di Gerbang Tol Cibubur. Data data yang diambil sewaktu melaksanakan survei merupakan waktu pelayanan (service time), dilakukan pada disaat kendaraan berhenti di depan gardu (loket) buat mengandakan transaksi hingga kendaraan tersebut bergerak meninggalkan gardu. Pengambilan data waktu pelayanan dihitung memakai stopwatch.

2) Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari PT. Wijaya karya Serang Panimbang selaku Kontraktor pelaksana. Data yang diambil adalah data – data yang berhubungan dengan penelitian ini diantaranya data lalu lintas jalan, peta jalan tol, konfigurasi dan pelataran gerbang.

E. Perencanaan Gerbang Tol

Perencanaan gerbang tol ini direncanakan sesuai dengan standar yang berlaku. Perencanaan gerbang tol ini dibutuhkan beberapa analisis:

1) Analisis Volume Kendaraan

Analisis Volume kendaraan menggunakan data lalu lintas harian untuk mengetahui pembebanan kendaraan tiap ruas gerbang tol.

2) Analisis Tingkat Kedatangan

Analisis tingkat kedatangan menggunakan jumlah kendaraan yang diperkirakan masuk dan keluar pada setiap gerbang tol yg direncanakan.

3) Analisis Waktu Pelayanan

Analisis waktu pelayanan menggunakan data waktu pelayanan tiap kendaraan yang melintas pada gardu tol sesuai dengan golongan kendaraan yang ada untuk melihat tingkat pelayanan yang ada.

4) Analisis Intensitas Gerbang

Analisis intensitas gerbang adalah rangkaian hitungan yang meliputi Tingkat kedatangan (λ), tingkat pelayanan (μ), dan Perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkatpelayanan (ρ).

5) Analisis Antrian Gerbang

Pada analisis antrian gerbang melakukan perhitungan antrian pada gerbang tol menggunakan metode antrian *First In First Out* (FIFO).

F. Perencanaan Pelataran Tol

Menurut Standar Konstruksi dan Bangunan Nomor 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga poin 8.2 ada beberapa hal yang harus

diperhatikan.

Lebar lajur lalu lintas pada gerbang tol 2,90 m dan lebar pulau tol (toll island) 2,10 m. Untuk dapat melayani sesuatu yang bersifat khusus, seperti misalnya angkutan dengan kendaraan khusus yang ekstra lebar maka pada lajur paling luar (kiri) dibuat dengan minimal lebar 3,50 m.

G. Perencanaan Multi Line Free Flow

Dalam perhitungan perencanaan Multi Lane Free Flow (MLFF) menghitung data masukan lalu lintas, kapasitas jalan bebas hambatan, dan derajat kejenuhan. Perhitungan perencanaan ini beracuan pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 (PKJI 2014) untuk jalan bebas hambatan.

III. ANALISIS DATA

A. Analisis Volume Kendaraan

Data volume kendaraan diperoleh berupa lalu lintas harian rata-rata jalan nasional. Maka perlu dilakukan *trip assignment* dengan metode Davidson untuk mengetahui pembebanan kendaraan tiap ruas. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data per satuan mobil penumpang. Setelah mendapatkan lalu lintas harian rata-rata tiap ruas makan menghitung matriks asal – tujuan untuk mengetahui jumlah keluar masuk monil tiap gerbang tol. Perhitungan matriks asal – tujuan dihitung dengan metode Tsygalnitzky.

B. Analisis Tingkat Kedatangan

Tingkat kedatangan adalah jumlah kendaraan atau manusia yang dapat dilayani oleh satu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau orang/menit [3].

Dalam analisis tingkat kedatangan menghitung jumlah kendaraan yang melewati ruas jalan pada saat jam puncak. Untuk mendapatkan arus jam puncak, dihitung dengan mengalikan hasil dari perhitungan matriks asal tujuan dengan faktor K (0,11).

C. Analisis Waktu Pelayanan

Analisis waktu pelayanan adalah menganalisa waktu pelayanan saat melakukan transaksi pembayaran pada gerbang tol. Dalam perencanaan sistem pelayanan gerbang tol Walantaka - Cikeusal menggunakan sistem gerbang tol otomasi (GTO) dan gerbang tol On Board Unit (OBU) sehingga perlu diadakannya analisis waktu pelayanan untuk tiap jenis gerbang.

D. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Analisis intensitas gerbang tol rangkaian hitungan yang meliputi Tingkat kedatangan (λ), tingkat pelayanan (μ), dan Perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkatpelayanan (ρ). Analisis intensitas gerbang bertujuan untuk menentukan jumlah gardu masuk dan gardu keluar dalam suatu rangkain gebang tol. Digunakan rumusan sebagai berikut.

$$WP = \frac{1}{\mu} \quad (1)$$

Dimana:

WP = Waktu pelayanan

μ = Tingkat pelayanan

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{2}$$

Dimana:

ρ = Perbandingan antara tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan

μ = Tingkat pelayanan

λ = Tingkat kedatangan

E. Analisis Antrian Gerbang Tol

Analisis antrian gerbang tol digunakan untuk menghitung analisis antrian dengan metode antrian FIFO (*First In First Out*) dimana kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama [3]. Perhitungan ini bertujuan mendapatkan panjang antrian dan waktu antrian pada gerbang tol. Berikut persamaan yang digunakan dari metode antrian FIFO.

$$n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \tag{3}$$

$$q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \tag{4}$$

$$d = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \tag{5}$$

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

- n = Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem
- q = Jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian
- d = Waktu rata-rata kendaraan dalam sistem
- w = Waktu rata-rata kendaraan dalam antrian
- λ = Tingkat kedatangan
- μ = Tingkat pelayanan
- ρ = Perbandingan antara tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan

F. Perencanaan Multi Lane Free Flow

Dalam perencanaan *Multi Lane Free Flow* ditinjau dari:

1) Data Masukan Lalu Lintas

Dalam menghitung data masukan lalu lintas menghitung arus lalu lintas pada jam puncak. Untuk mendapatkan arus jam puncak kendaraan maka volume kendaraan harus dikalikan dengan faktor K (0,11) dan untuk penyeragaman analisis harus dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan (skr) dengan dikalikan nilai ekr untuk jalan bebas hambatan [4].

2) Kapasitas Jalan Bebas Hambatan (C)

Pada perhitungan jalan bebas hambatan menghitung kapasitas maksimum jalan. Pada jalan bebas hambatan terbagi, C adalah arus maksimum per lajur. Dalam menghitung kapasitas jalan bebas hambatan adalah dengan menggunakan rumusan sebagai berikut.

$$C = C_0 \times FC_L \tag{7}$$

Dimana:

C = Arus maksimum per lajur

C_0 = Kapasitas dasar

FC_L = Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar efektif jalur lalu lintas

3) Derajat Kejenuhan (DJ)

Nilai D_j digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan kinerja lalu lintas suatu simpang dan juga segmen jalan.

Tabel 1.
Tabel LHR pakai dengan satuan kendaraan/hari arah 1

Golongan	Walantaka-Cikeusal	Cikeusal-Petir	Petir-Rangkasbitung
I	5723	3020	1908
II	297	157	99
III	976	515	325
IV	558	295	186
V	163	86	54

Tabel 2.
Tabel LHR pakai dengan satuan kendaraan/hari arah 2

Golongan	Cikeusak-Walantaka	Petir-Cikeusal	Rangkasbitung-Petir
I	2534	1086	483
II	209	90	40
III	86	37	16
IV	1108	475	211
V	323	138	61

Tabel 3.
Perhitungan MAT kendaraan pada Golongan I

MAT	Walantaka	Cikeusal	Petir	Rangkas-bitung
Walantaka	0	5000	579	130
Cikeusal	2256	0	1921	430
Petir	231	665	0	1348
Rangkas-bitung	47	135	300	0

Nilai D_j menunjukkan apakah segmen jalan mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Persamaan umum derajat kejenuhan sebagai berikut.

$$DJ = \frac{q}{c} \tag{8}$$

Dimana:

D_j = Derajat Kejenuhan

Q = Arus lalu lintas untuk perencanaan (kend./jam)

C = Arus maksimum per lajur

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Volume Kendaraan

Dihitungan trip assignment dengan metode Davidson pada setiap rute, volume yang digunakan merupakan volume kendaraan golongan I-V pada setiap rute tol (Tabel 1 dan Tabel 2). Setelah menghitung Trip Assignment lalu menghitung Matriks asal tujuan dengan metode metode Tsygalnitzky (Tabel 3).

B. Analisis Tingkat Kedatangan

Dilakukan analisis tingkat kedatangan. Hasil dari matriks asal – tujuan dihitung dalam satuan kend/hari. Setelah itu dikalikan dengan faktor K untuk mendapat arus jam puncak dengan rumus Q_{JP} (Tabel 4).

Setelah mendapatkan hasil matriks asal tujuan pada arus jam puncak, maka langkah selanjutnya mendistribusikan kendaraan ke dalam masing-masing golongan disetiap gerbang tol yang direncanakan, yaitu dengan menggunakan sistem tertutup. Hasil perhitungan jumlah kendaraan di masukan pada tabel sesuai dengan ruas jalan dan arah yang dilalui. Hasil data tersebut dimasukan dalam Tabel 5 dan Tabel 6.

C. Analisis Waktu Pelayanan

Analisis waktu pelayanan adalah menganalisa waktu pelayanan saat melakukan transaksi pembayaran pada

Tabel 4.
Matriks asal tujuan arus jam puncak golongan I

	Walantaka	Cikeusal	Petir	Rangkas bitung
Walantaka	0	550	64	14
Cikeusal	248	0	211	47
Petir	25	73	0	148
Rangkasbitung	5	15	33	0

Tabel 5.
Distribusi Kendaraan Arah 1 Golongan I

Arah 1	Jumlah kendaraan
Walantaka → Cikeusal	550
Walantaka → Petir	64
Walantaka → Rangkasbitung	14
Cikeusal → Petir	211
Cikeusal → Rangkasbitung	47
Petir → Rangkasbitung	148

Tabel 6.
Distribusi Kendaraan Arah 2 Golongan I

Arah 2	Jumlah kendaraan
Rangkasbitung → Petir	33
Rangkasbitung → Cikeusal	15
Rangkasbitung → Walantaka	5
Petir → Cikeusal	73
Petir → Walantaka	25
Cikeusal → Walantaka	248

gerbang tol (Gambar 1). Dalam perencanaan sistem pelayanan gerbang tol Walantaka - Cikeusal menggunakan sistem gerbang tol otomatis (GTO) dan gerbang tol On Board Unit (OBU) sehingga perlu diadakannya analisis waktu pelayanan untuk tiap jenis gerbang yang akan ditampilkan pada Tabel 7.

Kemudian data waktu pelayanan tiap golongan, diolah untuk dihitung frekuensi, frekuensi kumulatif, persentase frekuensi dan persentase kumulatif tiap detik. Berikut adalah contoh perhitungan waktu pelayanan pada gerbang tol setiap golongan kendaraan.

Gerbang Tol OBU

- Rata-rata : 6.06 detik
- Median : 6 detik
- Modus : 4 detik
- Kumulatif 50% : 5.6 detik
- Kumulatif 75% : 7.8 detik
- Waktu Pelayanan : 6 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan On Board Unit dilihat dari nilai rata-rata, dan tidak boleh kurang dari persentase kumulatif 50% dan melebihi presentase kumulatif 75%. Selain itu aspek yang perlu diperhatikan adalah dari nilai median dan modus untuk dapat melihat nilai yang paling mendekati. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai yang mendekati adalah 6 detik.

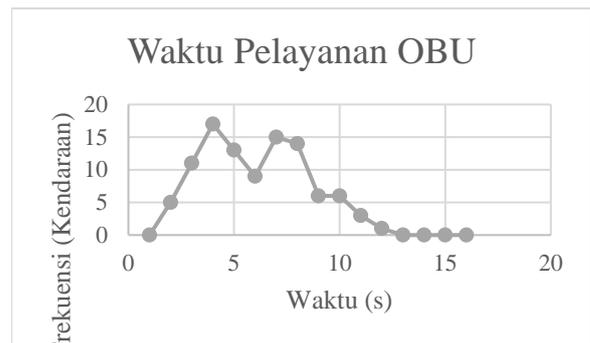
D. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Analisis intensitas gerbang adalah rangkaian hitungan yang meliputi Tingkat kedatangan (λ), tingkat pelayanan (μ), dan Perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkatpelayanan (ρ). Analisis intensitas gerbang bertujuan untuk menentukan jumlah gardu masuk dan gardu keluar dalam suatu rangkain gerbang tol.

Direncanakan rencana Awal jumlah gardu tol terdapat dalam Tabel 8 dengan N adalah jumlah gardu.

Tabel 7.
Frekuensi Waktu Pelayanan On Board Unit (OBU)

Waktu Pelayanan (detik)	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	%	% Kumulatif
1	0	0	0%	0%
2	5	5	5%	5%
3	11	16	11%	16%
4	17	33	17%	33%
5	13	46	13%	46%
6	9	55	9%	55%
7	15	70	15%	70%
8	14	84	14%	84%
9	6	90	6%	90%
10	6	96	6%	96%
11	3	99	3%	99%
12	1	100	1%	100%



Gambar 1. Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan.

Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan melalui survei secara langsung di gerbang tol, dapat diasumsikan proporsi penggunaan gerbang sebagai berikut, yang akan dijelaskan pada Tabel 9.

Untuk mendapatkan Tingkat kedatangan (λ) maka dibutuhkan perhitungan jumlah kendaraan dikalikan dengan proporsi penggunaan gerbang. Berikut adalah contoh perhitungan untuk Tingkat kedatangan (λ).

$$\begin{aligned} \lambda 1 \text{ (GTO Khusus)} &= 70\% \times \text{kendaraan Gol. I} \\ &= 70\% \times 628 \\ &= 440 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda 2 \text{ (GTO)} &= (20\% \times \text{kendaraan Gol. I}) + \text{Gol.2} \\ &= (20\% \times 628) + 217 \\ &= 343 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda 3 \text{ (OBU)} &= 10\% \times \text{kendaraan Gol. I} \\ &= 10\% \times 628 \\ &= 63 \end{aligned}$$

Waktu pelayanan (WP):

$$\begin{aligned} \text{WP GTO khusus} &= \text{Waktu pelayanan Golongan I} \\ &= 11 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WP GTO} &= (\text{Waktu pelayanan Golongan I-V}) / 5 \\ &= (11+ 12 + 13 +14 +16) / 5 \\ &= 13.2 \approx 13 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WP OBU} &= \text{Waktu pelayanan OBU} \\ &= 6 \text{ detik} \end{aligned}$$

Tingkat Pelayanan (μ):

$$\begin{aligned} \mu 1 &= 3600/11 \\ &= 327 \text{ kendaraan/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu 2 &= 3600/13 \\ &= 277 \text{ kendaraan/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu 3 &= 3600/6 \\ &= 600 \text{ kendaraan/jam} \end{aligned}$$

Tabel 8.
Jumlah Gardu Tol Rencana

Gerbang Tol	Jenis Gardu	N
Walantaka	GTO Khusus	2
	GTO	Masuk
	OBU	
	GTO Khusus	2
	GTO	Keluar
	OBU	
Cikeusal	GTO Khusus	2
	GTO	Masuk
	OBU	
	GTO Khusus	2
	GTO	Keluar
	OBU	
Petir	GTO Khusus	1
	GTO	Masuk
	OBU	
	GTO Khusus	1
	GTO	Keluar
	OBU	
Rangkas bitung	GTO Khusus	1
	GTO	Masuk
	OBU	
	GTO Khusus	1
	GTO	Keluar
	OBU	

Tabel 9.
Proporsi Pengguna Gerbang

Proporsi Pengguna Gerbang	
GTO Khusus	70%
GTO	20%
OBU	10%

Intensitas Kendaraan (ρ):

Dikarenakan ada beberapa tipe gardu tol yang direncanakan memiliki gardu lebih dari satu maka Tingkat kedatangan rata-rata jumlah kendaraan (λ) harus dibagi dengan jumlah gardu (N). Maka dari itu rumusan Perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan (ρ) adalah $\rho = (\lambda / N) / \mu < 1$.

Berikut adalah perhitungannya:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu_1} < 1 = \frac{440/2}{327} < 1$$

$$= 0.657 < 1 \text{ (OK)}$$

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu_2} < 1 = \frac{343/2}{277} < 1$$

$$= 0.619 < 1 \text{ (OK)}$$

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3/N_3}{\mu_3} < 1 = \frac{63/1}{600} < 1$$

$$= 0.105 < 1 \text{ (OK)}$$

Setelah melakukan perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan dan menganalisis nilai dari intensitas gerbang tol di setiap gardu, maka didapatkan hasil bahwa ρ_1, ρ_2 dan $\rho_3 < 1$ sesuai dengan ketentuan intensitas gerbang tol.

E. Analisis Antrian Gerbang Tol

Pada analisis antrian gerbang melakukan perhitungan antrian pada gerbang tol menggunakan metode antrian *First In First Out* (FIFO). Pada perhitungan ini mendapatkan hasil perhitungan berupa jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem

dan antrian. Selain itu dalam perhitunagn ini mendapatkan waktu rata-rata kendaraan dalam sistem dan antrian.

- Jumlah (N1) = 2 gardu
- Jumlah (N2) = 2 gardu
- Jumlah (N3) = 1 gardu
- λ_1 GTO Khusus = 440 kend/jam
- λ_2 GTO = 343 kend/jam
- λ_3 OBU = 63 kend/jam
- μ_1 GTO Khusus = 327 kend/jam
- μ_2 GTO = 227 kend/jam
- μ_3 OBU = 600 kend/jam
- $\rho_1 = 0.673$
- $\rho_2 = 0.619$
- $\rho_3 = 0.105$

1) Gardu Tol Otomatis Khusus

$$n_1 = \frac{\rho_1}{1-\rho_1} = \frac{0.673}{1-0.673} = 2.056 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

$$q_1 = \frac{\rho_1^2}{1-\rho_1} = \frac{0.673^2}{1-0.673} = 2.056 \approx 3 \text{ kendaraan} < 10 \text{ (OK)}$$

$$d_1 = \frac{1}{\mu_1 - \frac{\lambda_1}{N_2}} \times 3600 = \frac{1}{327 - \frac{440}{2}} \times 3600 = 33.644 \text{ detik} \approx 34 \text{ detik}$$

$$w_1 = d_1 - \frac{1}{\mu_1} \times 3600 = 33.644 - \frac{1}{327} \times 3600 = 22.635 \approx 23 \text{ detik}$$

2) Gardu Tol Otomatis

$$n_2 = \frac{\rho_2}{1-\rho_2} = \frac{0.619}{1-0.619} = 1.628 \approx 2 \text{ kendaraan}$$

$$q_2 = \frac{\rho_2^2}{1-\rho_2} = \frac{0.619^2}{1-0.619} = 1.008 \approx 2 \text{ kendaraan} < 10 \text{ (OK)}$$

$$d_2 = \frac{1}{\mu_2 - \frac{\lambda_2}{N_2}} \times 3600 = \frac{1}{277 - \frac{343}{2}} \times 3600 = 34.155 \text{ detik} \approx 35 \text{ detik}$$

$$w_2 = d_2 - \frac{1}{\mu_2} \times 3600 = 34.155 - \frac{1}{277} \times 3600 = 21.519 \approx 22 \text{ detik}$$

3) Gardu Tol On Board Unit

$$n_3 = \frac{\rho_3}{1-\rho_3} = \frac{0.105}{1-0.105} = 0.117 \approx 1$$

$$q_3 = \frac{\rho_3^2}{1-\rho_3} = \frac{0.105^2}{1-0.105} = 0.012 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ (OK)}$$

$$d_3 = \frac{1}{\mu_3 - \frac{\lambda_3}{N_3}} \times 3600 = \frac{1}{600 - \frac{63}{1}} \times 3600 = 6.703 \text{ detik} \approx 7 \text{ detik}$$

$$w_3 = d_3 - \frac{1}{\mu_3} \times 3600 = 6.703 - \frac{1}{600} \times 3600 = 0.703 \approx 1 \text{ detik}$$

Dikarenakan hasil ρ_1, ρ_2 dan $\rho_3 < 1$ sesuai dengan ketentuan intensitas gerbang tol dan juga nilai $q < 10$ kendaraan pada setiap gerbang tol [5], maka rancangan awal gerbang tol dapat dinyatakan aman yang berarti tidak terjadi penumpukan antrian.

F. Perencanaan Multi Lane Free Flow

Dalam perhitungan perencanaan *Multi Lane Free Flow* (MLFF) menghitung data masukan lalu lintas, kapasitas jalan bebas hambatan, dan derajat kejenuhan. Perhitungan perencanaan ini menggunakan acuan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) untuk jalan bebas hambatan [4]. Dalam menghitung data masukan lalu lintas akan

Tabel 10.
Tabel LHR Jam Puncak Arah 1

Golongan	Walantaka-Cikeusal	Cikeusal-Petir	Petir-Rangkasbitung
I	630	332	210
II	33	17	11
III	107	57	36
IV	61	32	20
V	18	9	6

Tabel 11.
Tabel LHR Jam Puncak Arah 2

Golongan	Cikeusak-Walantaka	Petir-Cikeusal	Rangkasbitung-Petir
I	279	119	53
II	23	10	4
III	9	4	2
IV	122	52	23
V	36	15	7

Tabel 12.
Kapasitas dasar JBH (PJKI 2014)

Tipe JBH/Tipe Alinemen JBH 4/2 dan JBH 6/2	Kapasitas dasar (skr/jam/lajur)
Datar	2300
Bukit	2250
Gunung	2150

Tabel 13.
Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas (FC_L)

Tipe Jalan	Lebar efektif jalur lalu lintas (L_{LE}), m	FC_L
JBH 4/2	3,25	0,96
dan	Per lajur	1,00
JBH 6/2	3,75	1,03

menghitung arus lalu lintas pada jam puncak. Untuk cara menghitung arus lalu lintas pada jam puncak dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini.

1) *Data Masukan Lalu Lintas*

$$q_{jp} = k \times LHRT \quad (9)$$

Dimana:

q_{jp} = Arus lalu lintas untuk perencanaan (kend./jam)

k = digunakan untuk JBH yaitu sebesar 11%.

$LHRT$ = Lalu lintas harian rata-rata

Jumlah kendaraan golongan I arah Walantaka – Cikeusal adalah 5723 kendaraan jadi LHRT adalah 5000 maka q_{jp} adalah sebagai berikut.

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

$$q_{jp} = 0,11 \times 5723$$

$$= 630 \text{ kendaraan/jam}$$

Hasil perhitungan Trips assignment golongan I – V pada tahun 2021 (dengan satuan kendaraan/hari) setelah di kalikan dengan faktor arus jam puncak dapat di lihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

2) *Kapasitas Jalan Bebas Hambatan (C)*

Penentuan nilai C_0 dan FC_L untuk jalan bebas hambatan dengan lajur lebih dari 6, agar disamakan nilainya dengan tipe JBH untuk 6 lajur. Pemilihan konstanta ditentukan

Tabel 14.
Total Derajat Kejenuhan

Ruas	Arah 1	Arah 2
Walantaka-Cikeusal	0.358	0.198
Cikeusal-Petir	0.189	0.085
Petir-Rangkasbitung	0.119	0.038

berdasarkan dengan tipe jalan bebas hambatan dan alinemen. Dan penentuan nilai FC_L didasarkan pada Tabel 12. Penentuan nilai FC_L sebagai fungsi lebar efektif jalur lalu lintas.

Secara umum wilayah Kabupaten Serang berada pada ketinggian kurang dari 500 meter dpl dan tersebar pada semua wilayah. Dataran rendah merupakan bagian permukaan bumi dengan ketinggian 0 – 500 meter di atas permukaan air laut. Dari data teknis trase perencanaan tipe jalan untuk Jalan Tol Serang – Panimbang adalah enam lajur dua arah terbagi. Dari Tabel 12 dan Tabel 13 diambil perhitungan sebagai berikut.

$$C = C_0 \times FC_L$$

$$C = 2300 \times 1.03$$

$$C = 2369$$

Dari perhitungan diatas didapat bahwa kapasitas jalan bebas hambatan Jalan Tol Serang – Panimbang adalah sebesar 2369 skr/jam.

3) *Derajat Kejenuhan (DJ)*

Arus lalu lintas untuk perencanaan Walantaka - Cikeusal adalah 630 kendaraan/jam yang tertera pada dan derajat kejenuhan perencanaan Jalan Tol Serang-Panimbang adalah 2369 seperti yang tertera pada perhitungan kapasitas. Maka perhitungan D_j adalah sebagai berikut.

$$D_j = \frac{q}{C}$$

$$D_j = \frac{630}{2369}$$

$$D_j = 0.266$$

Derajat kejenuhan dinyatakan tanpa satuan, dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas yang masing-masing dinyatakan dalam skr/jam. Derajat kejenuhan digunakan untuk analisis kinerja lalu lintas berupa kecepatan tempuh dan untuk perhitungan Derajat Iringan.

Berikut adalah jumlah total derajat kejenuhan untuk setiap ruas jalan tol yang ditampilkan dalam Tabel 14.

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 tentang Jalan Bebas Hambatan, Analisis kapasitas JBH eksisting atau yang akan ditingkatkan harus selalu mempertahankan $DJ \leq 0.85$, [4] pada hasil perhitungan derajat kejenuhan total tidak ada yang melebihi 0.85 jadi derajat kejenuhan rencana pada perhitungan diatas tidak memiliki masalah untuk kapasitas.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan data, analisis, dan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan untuk menjawab permasalahan di Gerbang Tol Serang-Panimbang berupa jumlah gardu pada Gerbang Tol Serang-Panimbang pada tahun 2021 dan perencanaan *Multi Line Free Flow* sebagai berikut.

Jumlah gardu pada Gerbang Tol Serang-Panimbang pada tahun 2021 adalah:

1) Gerbang Walantaka

a. Arah masuk

1. Gardu tol otomatis khusus = 2 gardu
2. Gardu tol otomatis = 2 gardu
3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

b. Arah Keluar

1. Gardu tol otomatis khusus = 2 gardu
2. Gardu tol otomatis = 1 gardu
3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

2) Gerbang Cikeusal

a. Arah masuk

1. Gardu tol otomatis khusus = 2 gardu
2. Gardu tol otomatis = 2 gardu
3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

b. Arah Keluar

1. Gardu tol otomatis khusus = 2 gardu
2. Gardu tol otomatis = 2 gardu
3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

3) Gerbang Petir

a. Arah masuk

1. Gardu tol otomatis khusus = 1 gardu
2. Gardu tol otomatis = 1 gardu
3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

b. Arah Keluar

1. Gardu tol otomatis khusus = 1 gardu
2. Gardu tol otomatis = 1 gardu
3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

4) Gerbang Rangkasbitung

a. Arah masuk

1. Gardu tol otomatis khusus = 1 gardu
2. Gardu tol otomatis = 1 gardu

3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

b. Arah Keluar

1. Gardu tol otomatis khusus = 1 gardu
2. Gardu tol otomatis = 1 gardu
3. Gardu tol On Board Unit = 1 gardu

Gerbang Tol Serang-Panimbang dapat menggunakan perencanaan Multi Line Free Flow (MLFF) dan dinyatakan aman, karena tidak memiliki masalah untuk kapasitas pada perhitungan derajat kejenuhan rencana.

B. Saran

Berdasarkan hasil Berdasarkan hasil survei, analisis, dan perhitungan perencanaan Gerbang Tol Serang-Panimbang, saran yang dapat diberikan kepada perencana gerbang tol, badan pengelola jalan tol ataupun pemerintah agar tercapainya gerbang tol yang sesuai dengan standar pelayanan minimum dan efektif adalah sebagai berikut: (1)Dibutuhkannya survei waktu pelayanan dengan jumlah kendaraan yang lebih agar analisis waktu pelayanan lebih baik dan akurat; (2)Peninjauan lebih untuk analisis kedatangan mengenai penggunaan OBU untuk setiap golongan kendaraan; (3)Memberikan sosialisasi lebih kepada pengendara golongan 1 untuk menggunakan alat On Board Unit, serta menambahkan fasilitas OBU di gerbang tol yang belum memiliki fasilitas ini; (4)Meninjau dan membuat standar untuk perencanaan Multi Line Free Flow di gerbang tol Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah No. 15 Tahun 2005 tentang Jalan Tol*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia, 2005.
- [2] Badan Pengatur Jalan Tol, "Tujuan dan Manfaat Jalan Tol," Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021. [Online]. Available: <https://bpjt.pu.go.id/konten/jalan-tol/tujuan-dan-manfaat>.
- [3] Ofyar Z Tamin, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2000.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil: Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014.
- [5] Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor. 16/PRT/M/2014 Tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2014.