

Perencanaan Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi

Alfian Ravi Roshan, Hera Widyastuti dan Data Iranata
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
email: hera@ce.its.ac.id

Abstrak—Kemacetan lalu lintas menjadi permasalahan sehari – hari dalam ruas jalan nasional Ciawi – Sukabumi. Hal ini mendorong Pemerintah Pusat untuk membangun jaringan jalan bebas hambatan atau jalan tol Ciawi – Sukabumi. Jalan tol ini dibangun untuk membantu meningkatkan konektivitas dan mengembangkan potensi ekonomi daerah sekitar untuk Provinsi Jawa Barat. Jalan tol ini diharapkan dapat mendukung program pemerintah yang telah ditetapkan didalam Peraturan Daerah Kota Sukabumi Nomor 8 tahun 2008 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah (RPJPD) Kota Sukabumi Tahun 2005 – 2025 tentang pembangunan jalan tol yang berdampak pada upaya pertumbuhan ekonomi kota. Jalan tol merupakan fasilitas transportasi dengan tujuan untuk memperlancar lalu lintas daerah dan meningkatkan mobilitas orang dan barang. Jalan tol sendiri memiliki gerbang tol yang merupakan tempat proses pelayanan transaksi tol terjadi. Gerbang tol terdiri dari beberapa gardu tol. Sistem yang dapat digunakan pada gerbang tol yaitu sistem gardu tol otomatis (GTO), On Board Unit (OBU), dan Multi Lane Free Flow (MLFF). Perencanaan ini akan merencanakan Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi pada tahun 2021, 2026, dan 2031. Metodologi yang digunakan sebagai disiplin antrian adalah First In First Out untuk disiplin antrian dan Single Channel – Single Phase sebagai struktur dasar antrian pada perencanaan gerbang tol ini. Serta mempertimbangkan gerbang tol otomatis dan On Board Unit, dan Multi Lane Free Flow (MLFF). Setelah dilakukan pengolahan data, didapatkan hasil untuk perencanaan gerbang tol pada tahun 2021 untuk gerbang tol Ciawi hingga Sukabumi Timur terdapat 1 GTO Khusus, 1 GTO, dan 1 OBU. Pada perencanaan gerbang tol tahun 2026 untuk gerbang tol Ciawi terdapat 2 GTO Khusus, 2 GTO, dan 1 OBU dan Pada perencanaan gerbang tol tahun 2031 untuk gerbang tol Ciawi terdapat 2 GTO Khusus, 3 GTO, dan 1 OBU. Hasil perencanaan MLFF pada tahun 2021 untuk gerbang tol Ciawi didapatkan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,172.

Kata Kunci—Perencanaan Gerbang Tol, Gerbang Tol Ciawi – Sukabumi, Gardu Tol Otomatis (GTO), On Board Unit (OBU), dan Multi Lane Free Flow (MLFF).

I. PENDAHULUAN

JALAN tol adalah sistem jalan yang dirancang tanpa memiliki persilangan dengan jalan lain dan rintangan alam dengan konstruksi yang lebih rigid agar mampu dilewati dengan kecepatan yang telah ditetapkan. Pengguna jalan tol dikhususkan untuk kendaraan roda empat atau lebih. Sedangkan jumlah pembayaran disesuaikan dengan jarak tempuh yang dilewati.

Dalam perencanaan ini, dibahas mengenai perencanaan gerbang tol tol Ciawi – Sukabumi yang menjadi rangkaian Proyek Strategis Nasional yang ditetapkan didalam Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian RI No 7 Tahun 2021 tentang Perubahan Daftar Proyek Strategis Nasional. Ada beberapa titik kemacetan pada Jalan Nasional rute Sukabumi. Titik kemacetan tersebut antara lain: Simpang Ciawi, Simpang Teluk Pinang, Simpang Cimande, Simpang Cikereteg, Pasar Caringin, Simpang Cijeruk, Pasar

Cigombong, Pasar Cicurug, Pasar Parungkuda, Pasar Cibadak, Simpang Cibadak menuju Pelabuhan Ratu dan Sukabumi Kota. Tempat yang disebutkan sebelumnya adalah tempat dengan lalu lintas yang selalu merayap karena lalu lintas manusia yang padat. Dengan adanya pembangunan tol ini dapat berguna sebagai jalan alternatif. Jalan tol ini direncanakan akan terus bersambung dengan rencana jalan tol Sukabumi – Cianjur dan jalan tol Cianjur – Padalarang. Pembangunan jalan tol ini juga akan membantu pengembangan kawasan Jawa Barat bagian selatan karena meningkatkan kualitas berkendara dengan menghilangkan persilangan sebidang dan hambatan (pasar, pabrik, dan sekolah) di sepanjang Ciawi - Sukabumi. Sehingga, tercipta efek positif terhadap pertumbuhan ekonomi dan pemerataan pembangunan di Jawa Barat bagian selatan.

Dalam pelaksanaannya, jalan tol seharusnya menjadi jalan bebas hambatan. Namun dalam kondisi tertentu, kemacetan kadang kala pada jalan tol karena volume kendaraan yang melintas tidak mampu ditampung dan dilayani di gerbang tol yang dioperasikan. Oleh karena itu, perencanaan ini memiliki tujuan untuk merencanakan suatu desain Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi. Kehadiran jalan tol yang terhubung dengan kawasan – kawasan produktif akan dapat mengurangi biaya logistic dan meningkatkan daya saing produk dalam negeri.

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 menjadi tinjauan terletak di jalan tol Ciawi - Sukabumi. Pada rute jalan tol Ciawi - Sukabumi terdapat 5 gerbang tol. Gerbang tol tersebut meliputi Gerbang Tol Ciawi, Gerbang Tol Cigombong, Gerbang Tol Cibadak, dan Gerbang Tol Sukabumi Barat, Gerbang Tol Sukabumi Timur.

C. Literatur Studi

Mencari materi – materi yang berkaitan dengan perencanaan ini. Materi didapatkan dari buku, jurnal dan perencanaan sebelumnya yang berhubungan dengan perencanaan gerbang tol.

D. Tahap Pengumpulan Data

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

1) Data Primer

Dalam pengerjaan perencanaan ini dibutuhkan data primer yaitu waktu pelayanan Gardu Tol Otomatis (GTO). Untuk

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

Golongan	Ciawi – Cigombong	Cigombong – Cibadak	Cibadak – Sukabumi Barat	Sukabumi Barat – Sukabumi Timur
I	3371	2232	1791	1593
II	694	619	274	270
III	308	186	63	27
IV	56	14	3	3
V	95	14	3	3

Tabel 2.
Perhitungan MAT kendaraan pada Golongan I

MAT	Ciawi	Cigombong	Cibadak	Sukabumi Barat	Sukabumi Timur
Ciawi	0	1300	500	472	332
Cigombong	1300	0	450	424	298
Cibadak	500	450	0	954	671
Sukabumi Barat	472	424	954	0	198
Sukabumi Timur	332	298	671	198	0

Tabel 3.
Matriks asal tujuan arus jam puncak golongan I

MAT	Ciawi	Cigombong	Cibadak	Sukabumi Barat	Sukabumi Timur
Ciawi	0	143	55	52	37
Cigombong	143	0	49	47	33
Cibadak	55	49	0	105	74
Sukabumi Barat	52	47	105	0	22
Sukabumi Timur	37	33	74	22	0

Tabel 4.
Distribusi kendaraan Golongan I

	Arah Kendaraan		Jumlah kendaraan
Ciawi	→	Cigombong	143
Ciawi	→	Cibadak	55
Ciawi	→	Sukabumi Barat	52
Ciawi	→	Sukabumi Timur	37
Cigombong	→	Cibadak	49
Cigombong	→	Sukabumi Barat	47
Cigombong	→	Sukabumi Timur	33
Cibadak	→	Sukabumi Barat	105
Cibadak	→	Sukabumi Timur	74
Sukabumi Barat	→	Sukabumi Timur	22

mengambil data waktu pelayanan dilaksanakan pada gerbang tol Sidoarjo. Tempat ini dipilih karena pada gerbang tol Sidoarjo terdapat gardu tol dengan sistem gardu tol otomatis (GTO).

2) *Data Sekunder*

Pengambilan data sekunder, diperoleh dari pihak PT. Waskita Toll Road selaku kontraktor yang membangun jalan tol Ciawi-Sukabumi. Data yang dibutuhkan adalah data – data yang berhubungan dengan perencanaan ini diantaranya adalah Data volume lalu lintas jalan dan waktu pelayanan On Board Unit (OBU).

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 Matriks Asal Tujuan*

Untuk mengetahui tingkat pembebanan tiap – tiap gerbang tol maka dilakukan analisis matriks asal tujuan. Dalam analisis matriks asal tujuan digunakan metode tsygalitzky.

3) *Analisis Tingkat Kedatangan*

Matriks asal tujuan yang sebelumnya sudah didapatkan masih berupa lalu lintas harian rata -rata tahunan, matriks ini perlu dikalikan dengan faktor K yaitu faktor pengubah LHRT menjadi arus jam puncak supaya dapat digunakan dalam perhitungan selanjutnya.

4) *Analisis Waktu Pelayanan*

Analisis waktu pelayanan menggunakan frekuensi kendaraan yang melintas sehingga didapatkan frekuensi kumulatif dan presentase setiap detikanya.

5) *Analisis Intensitas Gerbang Tol*

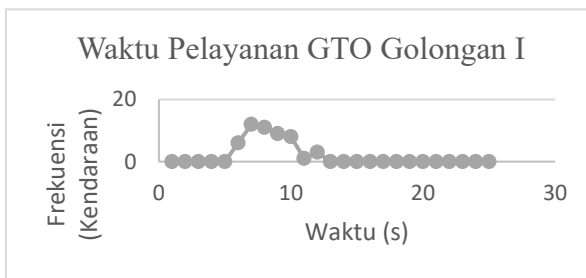
Analisis intensitas diperlukan untuk mengetahui perbandingan tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan. Nilai dari intensitas tiap gerbang tol harus lebih kecil dari satu dimana jika nilai intensitas lebih dari satu maka dapat dipastikan bahwa tingkat kedatangan lebih besar disbanding tingkat pelayanan sehingga terjadi antrian yang akan selalu bertambah.

6) *Analisis Antrian Gerbang Tol*

Analisis antrian bertujuan untuk mengetahui jumlah antrian dan lama waktu mengantri dengan kondisi yang sama dengan analisis data lalu lintas sebelumnya, metode yang digunakan adalah metode First In First Out (FIFO) dimana pengantri yang lebih dahulu akan dilayani terlebih dahulu.

Tabel 5.
Frekuensi waktu pelayanan GTO Golongan I

Waktu Pelayanan (detik)	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	%	% Kumulatif
1	0	0	0%	0%
2	0	0	0%	0%
3	0	0	0%	0%
4	0	0	0%	0%
5	0	0	0%	0%
6	6	6	12%	12%
7	12	18	24%	36%
8	11	29	22%	58%
9	9	38	18%	76%
10	8	46	16%	92%
11	1	47	2%	94%
12	3	50	6%	100%



Gambar 1. Grafik frekuensi dan waktu pelayanan.

F. Perencanaan Pelataran Tol

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 angkutan dengan kendaraan ekstra lebar maka pada lajur paling luar dibuat dengan minimal lebar 3,50 m

Ketentuan ini didapatkan dari Standar Konstruksi dan Bangunan Nomor 007/BM/2009 tentang Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol Departemen Pekerjaan Uum Direktorat Jenderal Bina Marga poin 8.2.

G. Perencanaan Multi Lane Free Flow

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

III. ANALISIS DATA

A. Analisis Volume Kendaraan

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

B. Analisis Tingkat Kedatangan

Tingkat kedatangan merupakan jumlah kendaraan yang dapat dilayani oleh satu tempat pelayanan dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam [1].

Tabel 6.
Jumlah gardu tol rencana

Gerbang Tol	Jenis Gardu	N	
Ciawi	GTO Khusus	1	
	GTO	Masuk	1
	OBU		1
	GTO Khusus		1
	GTO	Keluar	1
	OBU		1
Cigombong	GTO Khusus	1	
	GTO	Masuk	1
	OBU		1
	GTO Khusus		1
	GTO	Keluar	1
	OBU		1
Cibadak	GTO Khusus	1	
	GTO	Masuk	1
	OBU		1
	GTO Khusus		1
	GTO	Keluar	1
	OBU		1
Sukabumi Barat	GTO Khusus	1	
	GTO	Masuk	1
	OBU		1
	GTO Khusus		1
	GTO	Keluar	1
	OBU		1
Sukabumi Timur	GTO Khusus	1	
	GTO	Masuk	1
	OBU		1
	GTO Khusus		1
	GTO	Keluar	1
	OBU		1

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 yaitu dengan menganalisa waktu pelayanan saat melakukan transaksi pembayaran pada gerbang tol. Dalam perencanaan sistem pelayanan gerbang tol Ciawi - Sukabumi 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

Rangkaian hitungan analisis intensitas gerbang tol yang meliputi tingkat kedatangan (λ), tingkat pelayanan (μ), dan perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan (ρ). Analisis intensitas gerbang bertujuan untuk menentukan jumlah gardu masuk dan gardu keluar dalam suatu rangkaian gerbang tol. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

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

Dimana:
 WP = Waktu pelayanan
 μ = Tingkat pelayanan

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

Dimana:
 P = Perbandingan antara tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan
 μ = Tingkat pelayanan
 λ = Tingkat kedatangan

Tabel 7.
Proporsi pengguna gerbang

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

Tabel 8.
LHR jam puncak

Golongan	Ciawi – Cigombong	Cigombong – Cibadak	Cibadak – Sukabumi	
			Sukabumi Barat	Sukabumi Timur
I	296	206	169	172
II	61	57	26	29
III	27	17	6	3
IV	5	1	1	1
V	8	1	0	0

Tabel 9.
Kapasitas dasar JBH (PJKI 2014)

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

E. Analisis Antrian Gerbang Tol

Analisis antrian gerbang tol dihitung menggunakan metode antrian FIFO (*First In First Out*) dimana kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama [2]. Perhitungan ini bertujuan mendapatkan panjang antrian dan waktu antrian pada gerbang tol. Berikut persamaan yang digunakan dari metode antrian FIFO:

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

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

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

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

Dimana:

- 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

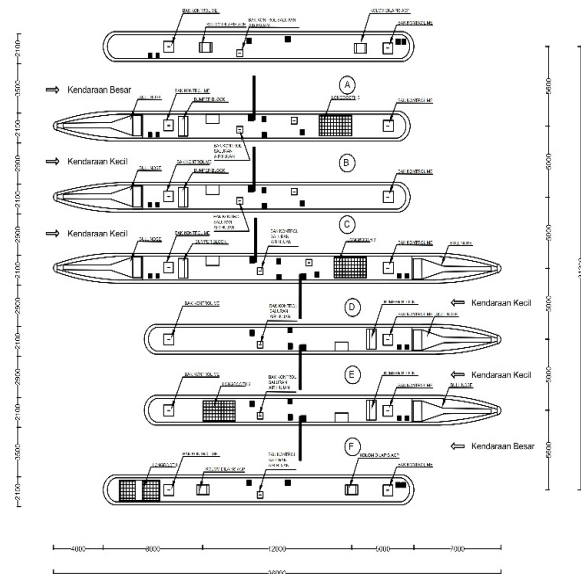
Dalam menghitung data masukan lalu lintas menghitung arus lalu lintas pada jam puncak. Untuk mendapatkan arus jam puncak kendaraan maka volume kendaraan harus dikalikan dengan faktor K (0,11) dan untuk penyeragaman analisis harus dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan (skr) dengan dikalikan nilai ekr untuk jalan bebas hambatan [2].

Tabel 10.

Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas (FCL)			
Tipe Jalan	Lebar efektif jalur lalu lintas (LLj-E), m	FCL	
JBH 4/2 dan JBH 6/2	3,25	0,96	1,00
	Per lajur	3,50	1,00
		3,75	1,03

Tabel 11.
Total derajat kejenuhan

Ruas	Total
Ciawi - Cigombong	0,172
Cigombong - Cibadak	0,122
Cibadak - Sukabumi Barat	0,087
Sukabumi Barat - Sukabumi Timur	0,089



Gambar 2. Denah gerbang tol Ciawi – Sukabumi tahun 2021.

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.

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

Dimana:

- C = Arus maksimum per lajur
- C₀ = Kapasitas dasar
- FCL = Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar efektif jalur lalu lintas

3) Derajat Kejenuhan (D_j)

Nilai D_j digunakan dalam penentuan kinerja lalu lintas suatu simpang dan juga segmen jalan. Nilai D_j menunjukkan apakah segmen jalan mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Persamaan umum derajat kejenuhan sebagai berikut.

$$D_j = \frac{Q}{C} \tag{8}$$

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

Dalam analisis volume kendaraan perhitungan yang pertama adalah perhitungan *trip assignment*, dalam perhitungan ini dibutuhkan data volume lalu-lintas harian jalan eksisting. Perhitungan *trip assignment* bertujuan untuk meramalkan permintaan volume kendaraan yang masuk jalan tol baru dan mendapat data volume lalu-lintas harian untuk jalan tol. Tabel LHR dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Analisis Matriks Asal Tujuan

Setelah menghitung *trip assignment* lalu menghitung matriks asal tujuan dengan metode Tsygalsitzky. Dalam perhitungan ini menggunakan perbandingan kemungkinan maksimal suatu kendaraan yang turun pada suatu gerbang di bandingkan dengan realitas kenyataan yang turun pada gerbang tersebut. Perhitungan MAT kendaraan pada golongan I dapat dilihat dari Tabel 2.

C. Analisis Tingkat Kedatangan

Dalam analisis tingkat kedatangan akan menghitung jumlah kendaraan yang akan melewati ruas jalan pada saat jam puncak. Untuk mendapatkan arus jam puncak, yaitu dengan mengalikan hasil dari perhitungan matriks asal tujuan dengan faktor K untuk mendapat arus jam puncak dengan rumus Q_{JP} .

Setelah mendapatkan hasil matriks asal tujuan pada arus jam puncak yang tertera pada Tabel 3, maka langkah selanjutnya mendistribusikan kendaraan kedalam masing-masing golongan disetiap gerbang tol yang direncanakan, yaitu dengan menggunakan sistem tertutup. Hasil perhitungan jumlah kendaraan akan di masukan pada tabel sesuai dengan ruas jalan dan arah yang dilalui. Hasil data tersebut akan dimasukan dalam Tabel 4.

D. Analisis Waktu Pelayanan

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

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. Frekuensi waktu pelayanan GTO golongan I tertera pada Tabel 5. Sedangkan grafik dan waktu pelayanan tertera pada Gambar 1.

Gerbang Tol GTO Golongan I

Rata-rata	: 8.32 detik
Median	: 8 detik
Modus	: 7 detik
Kumulatif 50%	: 7.6 detik
Kumulatif 75%	: 8.7 detik
Waktu Pelayanan	: 8 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan Gardu Tol Otomatis Golongan I 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 8 detik

E. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Analisis intensitas gerbang adalah rangkaian hitungan yang meliputi Tingkat kedatangan (λ), tingkat pelayanan (μ), dan Perbandingan tingkat kedatangan dengan tingkat pelayanan (ρ). Analisis intensitas gerbang bertujuan untuk menentukan jumlah gardu masuk dan gardu keluar dalam suatu rangkaian gerbang tol. Direncanakan rencana Awal jumlah gardu tol terdapat dalam Tabel 6 dengan N adalah jumlah gardu.

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 7.

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

$$\begin{aligned} \lambda 1 \text{ (GTO Khusus)} &= 70\% \times \text{kendaraan Gol. I} \\ &= 70\% \times 286 \\ &= 200 \\ \lambda 2 \text{ (GTO)} &= (20\% \times \text{kendaraan Gol. I}) + \text{Gol.2} \\ &= (20\% \times 286) + 99 \\ &= 156 \\ \lambda 3 \text{ (OBU)} &= 10\% \times \text{kendaraan Gol. I} \\ &= 10\% \times 286 \\ &= 29 \end{aligned}$$

1) Waktu pelayanan (WP):

$$\begin{aligned} \text{WP GTO khusus} &= \text{Waktu pelayanan Golongan I} \\ &= 8 \text{ detik} \\ \text{WP GTO} &= (\text{Waktu pelayanan Golongan I-V}) / 5 \\ &= (8 + 10 + 11 + 12 + 16) / 5 \\ &= 1.4 \approx 12 \text{ detik} \\ \text{WP OBU} &= \text{Waktu pelayanan OBU} \\ &= 6 \text{ detik} \end{aligned}$$

2) Tingkat Pelayanan (μ):

$$\begin{aligned} \mu 1 &= 3600/8 \\ &= 450 \text{ kendaraan/jam} \\ \mu 2 &= 3600/12 \\ &= 300 \text{ kendaraan/jam} \\ \mu 3 &= 3600/4 \\ &= 900 \text{ kendaraan/jam} \end{aligned}$$

3) 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:

$$\begin{aligned} \rho 1 &= \frac{\lambda 1 / N1}{\mu 1} < 1 = \frac{200 / 1}{450} < 1 \\ &= 0.444 < 1 \text{ (OK)} \\ \rho 2 &= \frac{\lambda 2 / N2}{\mu 2} < 1 = \frac{156 / 1}{300} < 1 \\ &= 0.520 < 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3/N_3}{\mu_3} < 1 = \frac{29/1}{900} < 1$$

$$= 0.032 < 1 \text{ (OK)}$$

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.

F. 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 perhitungagn ini mendapatkan waktu rata-rata kendaraan dalam sistem dan antrian.

- Jumlah (N1) = 1 gardu
- Jumlah (N2) = 1 gardu
- Jumlah (N3) = 1 gardu
- λ_1 GTO Khusus = 200 kend/jam
- λ_2 GTO = 156 kend/jam
- λ_3 OBU = 29 kend/jam
- μ_1 GTO Khusus = 450 kend/jam
- μ_2 GTO = 300 kend/jam
- μ_3 OBU = 900 kend/jam
- ρ_1 = 0.444
- ρ_2 = 0.520
- ρ_3 = 0.032

1) Gardu Tol Otomatis Khusus

$$n_1 = \frac{\rho_1}{1 - \rho_1} = \frac{0.444}{1 - 0.444} = 0.8 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$q_1 = \frac{\rho_1^2 \cdot 1}{1 - \rho_1} = \frac{0.197}{1 - 0.444} = 0.355 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ (OK)}$$

$$d_1 = \frac{1}{\mu_1 - \frac{\lambda_1}{N_2}} \times 3600 = \frac{1}{450 - \frac{200}{1}} \times 3600 = 14.4 \text{ detik}$$

$$\approx 15 \text{ detik}$$

$$w_1 = d_1 - \frac{1}{\mu_1} \times 3600 = 14.4 - \frac{1}{450} \times 3600 = 6.4 \approx 7 \text{ detik}$$

2) Gardu Tol Otomatis

$$n_2 = \frac{\rho_2}{1 - \rho_2} = \frac{0.520}{1 - 0.520} = 1.082 \approx 2 \text{ kendaraan}$$

$$q_2 = \frac{\rho_2^2}{1 - \rho_2} = \frac{0.270}{1 - 0.520} = 0.562 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ (OK)}$$

$$d_2 = \frac{1}{\mu_2 - \frac{\lambda_2}{N_2}} \times 3600 = \frac{1}{300 - \frac{156}{1}} \times 3600 = 24.985 \text{ detik}$$

$$\approx 25 \text{ detik}$$

$$w_2 = d_2 - \frac{1}{\mu_2} \times 3600 = 24.985 - \frac{1}{300} \times 3600 = 12.985$$

$$\approx 13 \text{ detik}$$

3) Gardu Tol On Board Unit

$$n_3 = \frac{\rho_3}{1 - \rho_3} = \frac{0.032}{1 - 0.032} = 0.033 \approx 1$$

$$q_3 = \frac{\rho_3^2}{1 - \rho_3} = \frac{0.001}{1 - 0.032} = 0.001 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ (OK)}$$

$$d_3 = \frac{1}{\mu_3 - \frac{\lambda_3}{N_3}} \times 3600 = \frac{1}{900 - \frac{29}{1}} \times 3600 = 4.133 \text{ detik}$$

$$\approx 5 \text{ detik}$$

$$w_3 = d_3 - \frac{1}{\mu_3} \times 3600 = 4.133 - \frac{1}{900} \times 3600 = 0.133 \approx 1 \text{ detik}$$

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 [3], maka rancangan awal gerbang tol dapat dinyatakan aman yang berarti tidak terjadi penumpukan antrian.

G. 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 [2].

Dalam menghitung data masukan lalu lintas akan 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

$$q_{jp} = k \times LHRT \tag{9}$$

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 Ciawi - Sukabumi adalah 1300 kendaraan jadi LHRT adalah 1300 maka q_{jp} adalah

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

$$q_{jp} = 0,11 \times 1300$$

$$= 143 \text{ kendaraan/jam}$$

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 8.

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. Nilai C_0 ditentukan dengan menggunakan Tabel 9. Pemilihan konstanta ditentukan berdasarkan dengan tipe jalan bebas hambatan dan alinemen. Dan penentuan nilai FC_L didasarkan pada Tabel 9. Penentuan nilai FC_L sebagai fungsi lebar efektif jalur lalu lintas.

Secara umum wilayah Kabupaten Ciawi berada pada ketinggian kurang dari 518 meter dpl dan wilayah Sukabumi berada pada ketinggian 584 meter dpl. Bukit merupakan bagian dari permukaan bumi dengan ketinggian 200 – 500 meter diatas permukaan air laut. Dari data teknis trase perencanaan tipe jalan untuk Jalan Tol Ciawi – Sukabumi adalah enam lajur dua arah terbagi. Dari Tabel 9 dan Tabel 10 diambil perhitungan sebagai berikut.

$$C = C_0 \times FC_L$$

$$C = 2250 \times 1.03$$

$$C = 2317,5$$

Dari perhitungan diatas didapat bahwa kapasitas jalan bebas hambatan Jalan Tol Ciawi - Sukabumi adalah sebesar 2317,5 skr/jam.

3) Derajat Kejenuhan (D_j)

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

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

$$D_j = \frac{296}{2317,5}$$

$$D_j = 0.127$$

Derajat kejenuhan dinyatakan tanpa satuan, dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas yang masing-masing dinyatakan dalam skt/jam. Derajat kejenuhan digunakan untuk analisis kinerja lalu lintas berupa kecepatan tempuh dan untuk perhitungan Derajat Iringan. Jumlah total derajat kejenuhan untuk setiap ruas jalan tol yang ditampilkan dalam Tabel 11.

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 tentang Jalan Bebas Hambatan, Analisis kapasitas JBH eksisting atau yang akan ditingkatkan harus selalu mempertahankan $D_j \leq 0.85$ [2], 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 Ciawi - Sukabumi berupa jumlah gardu pada Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi pada tahun 2021 dan perencanaan *Multi Line Free Flow* sebagai berikut.

1) Jumlah gardu pada Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi pada tahun 2021

a. Gerbang Ciawi - Gerbang Sukabumi

Arah masuk

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

Arah Keluar

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

2) Jumlah gardu pada Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi pada tahun 2026

a. Gerbang Ciawi - Gerbang Cibadak

Arah masuk

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

Arah Keluar

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

b. Gerbang Sukabumi Barat – Sukabumi Timur

Arah masuk

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

Arah Keluar

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

3) Jumlah gardu pada Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi pada tahun 2031

a. Gerbang Ciawi – Gerbang Cibadak

Arah masuk

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

Arah Keluar

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

b. Gerbang Sukabumi Barat – Sukabumi Timur

Arah masuk

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

Arah Keluar

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

Desain denah Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi pada tahun 2021 tertera pada Gambar 2. Gerbang Tol Ciawi - Sukabumi 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 perencanaan berikut saran yang dapat diberikan penyusun kepada perencana gerbang tol, badan pengelola jalan tol ataupun pemerintah agar tercapainya gerbang tol yang baik dan sesuai dengan standar pelayanan minimum: (1) Meningkatkan sosialisasi terkait penggunaan alat On Board Unit; (2) Meninjau dan membuat standar untuk perencanaan *Multi Lane Free Flow* di gerbang tol Indonesia; (3) Perlunya kendaraan golongan II hingga V untuk mulai menggunakan alat On Board Unit (OBU).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Tamin, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2000.
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum, *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2014.
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor. 16/PRT/M/2014 Tentang Standar Pelayanan Minimal Jalan Tol*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014.