

Konfigurasi Gerbang Tol Pemalang – Batang

Videla Denastyan Agpenta Putra, Wahyu Herijanto, dan Catur Arif P.

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Corresponding Author: catur_ap@ce.its.ac.id

ARTIKEL INFO

Informasi Artikel

Artikel masuk: 1-8-19

Artikel revisi: 26-12-19

Artikel diterima: 26-12-19

Kata Kunci

Gerbang Tol,
Tol Pemalang - Batang

ABSTRAK

Jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian dari sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan untuk membayar tol. Pembuatan jalan tol bertujuan untuk mempersingkat waktu tempuh perjalanan dari suatu tempat ke tempat lain. Oleh sebab itu, sebagaimana fungsinya jalan tol harus menyediakan arus yang bebas hambatan agar tujuan jalan tol untuk mempersingkat waktu tempuh perjalanan tercapai. Untuk menikmatinya, para pengguna jalan tol harus membayar sesuai tarif yang berlaku. Perencanaan Konfigurasi Gerbang Tol Pemalang – Batang merencanakan gerbang tol untuk tahun 2019 dan 2034. Metode yang digunakan yaitu *Multi Channel Single Phase* sebagai struktur dasar proses antrian dan *First In First Out* sebagai pelayanan antrian. Perencanaan ini diharapkan dapat menghasilkan gerbang tol yang dapat bekerja dengan optimal. Hasil dari Perencanaan Konfigurasi Gerbang Tol Pemalang – Batang pada tahun 2019 untuk gardu tol otomatis khusus terdapat 1 gardu pada setiap arah masuk dan keluar. Untuk gardu tol otomatis gerbang Pemalang terdapat 2 arah masuk dan 3 arah keluar. Gerbang Beji arah masuk dan keluar terdapat 4 gardu. Gerbang Bojong arah masuk dan keluar terdapat 4 gardu. Gerbang Tulis arah masuk dan keluar terdapat 3 gardu. Gerbang Batang arah masuk dan keluar terdapat 2 gardu. Sedangkan untuk gardu tol *On Board Unit* terdapat 1 pada semua arah masuk dan arah keluar gerbang tol. Pada tahun 2034 terdapat peningkatan jumlah gardu tol sesuai dengan pertumbuhan volume kendaraan.

PENDAHULUAN

Jalan tol adalah jalan bebas hambatan yang dikhususkan untuk kendaraan dengan 2 gandar atau lebih. Pembuatan jalan tol bertujuan untuk mempersingkat waktu tempuh perjalanan dari suatu tempat ke tempat lain. Oleh sebab itu, sebagaimana fungsinya jalan tol harus menyediakan arus yang bebas hambatan agar tujuan jalan tol untuk mempersingkat waktu tempuh perjalanan tercapai.

Jalan tol juga merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk mengatasi kemacetan yang semakin meningkat di Indonesia. Pengguna jalan tol dikenakan kewajiban membayar tol yang digunakan untuk pengembalian investasi, pemeliharaan dan pengembangan jalan tol. Proyek pembangunan jalan tol semakin ditingkatkan guna mengimbangi pergerakan masyarakat yang selalu mengalami perpindahan dari satu tempat ke tempat lain. Langkah nyata yang dilakukan pemerintah saat ini adalah dengan menjalankan program pembangunan tol Trans Jawa.

Jalan Tol Trans Jawa adalah jaringan jalan tol yang menghubungkan kota-kota di pulau Jawa. Jalan tol ini merupakan salah satu program pemerintah. Jalan tol ini menghubungkan Provinsi Banten sampai Kota Banyuwangi, Jawa Tengah. Tol trans Jawa sepanjang \pm 1.200 kilometer tersebut melanjutkan jalan-jalan tol yang sekarang sudah ada.

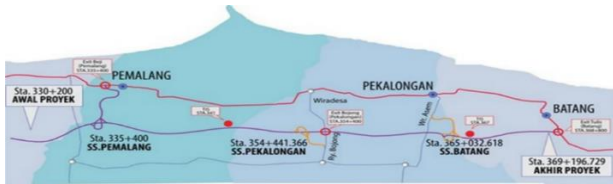
Salah satu bagian dari program tol Trans Jawa adalah proyek pembangunan jalan tol Pemalang - Batang. Untuk mewujudkan pembangunan tol trans jawa, khususnya jalan tol Pemalang - Batang, dibutuhkan perencanaan yang matang serta efektif dan efisien. Tol Pemalang-Batang dibagi menjadi 2 seksi yaitu Seksi I (Pemalang-Pekalongan) dengan panjang 20,05 km dan seksi II (Pekalongan-Batang) dengan panjang 16,7 km.

Di dalam pelaksanaannya jalan tol yang seharusnya jalan bebas hambatan tetapi sering kali terjadi kemacetan dikarenakan panjangnya antrian di gerbang tol dan kurang seimbangnya antara gerbang tol yang dioperasikan dengan jumlah kendaraan yang masuk ke jalan tol. Melihat fungsi dari jalan tol untuk mempersingkat jarak dan waktu salah satu penunjang fungsi tersebut ialah mengoptimalkan fungsi gerbang tol. Dengan tujuan agar perpindahan barang dan jasa tidak terhambat sehingga meningkatkan perekonomian suatu daerah.

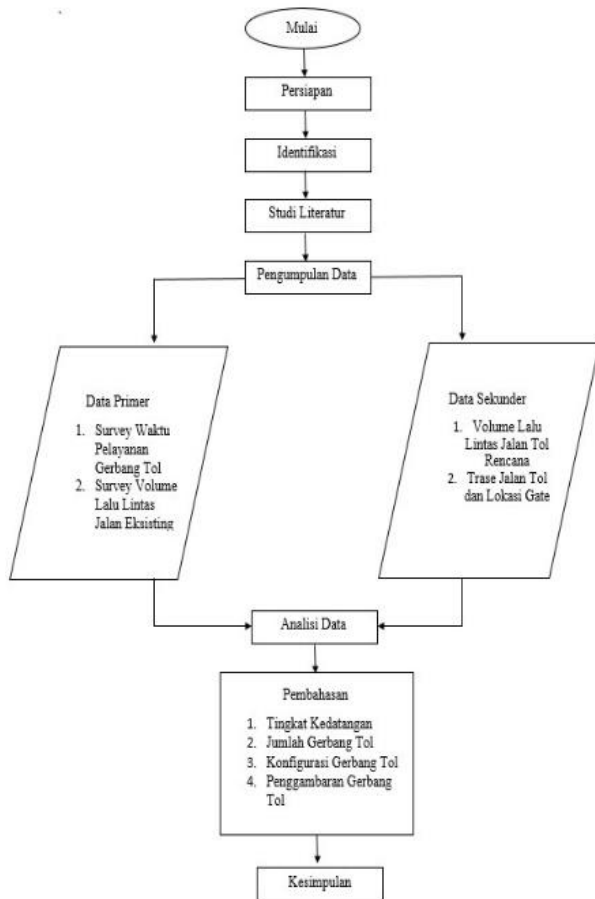
Studi ini memiliki tujuan untuk membuat suatu desain perencanaan jalan tol, khususnya pada perencanaan gerbang tol. Jalan tol yang menjadi objek perencanaan adalah jalan tol Pemalang - Batang.

A. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang sudah dipaparkan di atas, permasalahan yang akan di bahas dalam studi ini adalah:



Gambar 1. Lokasi Pintu Tol.



Gambar 2. Diagram Alir Studi.

1. Berapa volume kendaraan yang keluar masuk pintu tol sehingga dapat digunakan untuk merencanakan gerbang tol ?
2. Berapa lama waktu pelayanan pada gerbang tol sehingga dapat digunakan untuk merencanakan gerbang tol ?
3. Berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan apabila semua gerbang tol direncanakan dengan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit pada tahun 2019 ?
4. Berapa jumlah gardu tol yang dibutuhkan apabila semua gerbang tol direncanakan dengan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit pada tahun 2034 ?
5. Bagaimana Lay-out gerbang tol pada tahun 2019 ?

B. Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan dari penyusunan studi ini adalah:

1. Mengetahui lay-out dan jumlah gardu tol yang dibutuhkan serta panjang antrian berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua gerbang tol direncanakan dengan sistem Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit.
2. Mengetahui jumlah gardu tol yang dibutuhkan serta panjang antrian berdasarkan tingkat kedatangan

kendaraan apabila semua gerbang tol direncanakan dengan Gardu Tol Otomatis (GTO) dan On Board Unit pada tahun 2034.

C. Batasan Masalah

Agar dalam studi ini dapat terarah dan mempunyai ruang lingkup yang jelas sehingga tidak menimbulkan kesalahpahaman, serta mempermudah dalam memahami masalah yang akan dibahas, maka perlu adanya suatu batasan masalah. Adapun batasan masalah tersebut adalah:

- a. Kendaraan yang di tinjau hanya kendaraan roda 4 atau lebih.
- b. Penulis tidak meninjau perkerasan jalan tol
- c. Penulis tidak menghitung segi ekonomi dan finansial .
- d. Penulis tidak meninjau geometrik jalan tol
- e. Penulis tidak membahas perilaku pengendara.

1. Lokasi

Lokasi jalan tol yang telah ditentukan oleh PT.Pemalang-Batang Toll Road terletak di Provinsi Jawa Tengah tepatnya melintasi Kota Pemalang hingga Kota Batang sejauh +39,2 kilometer. Proyek ini merupakan bagian dari proyek pembangunan Tol Trans Jawa. Lokasi Gerbang tol ditunjukkan pada Gambar 1.

METODOLOGI

Metodologi dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 2.

PENGUMPULAN DATA DAN ANALISIS DATA

A. Data Primer

Survei waktu pelayanan untuk gardu tol otomatis di gerbang tol Waru 2 Ramp. Sedangkan waktu pelayanan On Board Unit di gerbang tol Cililitan.

B. Data Sekunder

Data yang di peroleh dari PT.Jasa Marga Pemalang - Batang berupa volume lalu lintas, trase jalan, lokasi gerbang tol Pemalang - Batang.

Tahun	Pemalang - SS Pemalang	SS Pemalang - SS Pekalongan	SS Pekalongan - SS Batang	SS Batang - Batang
GOL 1	8475	8386	8563	8544
GOL 2	4157	4159	4055	4050
GOL 3	1711	1870	1854	1829
GOL 4	890	756	693	707
GOL 5	333	327	320	307
TOTAL	15566	15498	15485	15437

C. Analisis Data

Data volume lalu lintas di olah menjadi matrik asal tujuan dengan metode matriks demand and load factor.

Tabel 1. Matrik asal tujuan golongan 1

golongan 1	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	996	1523	806	913
Beji	996	0	470	249	282
Bojong	1523	470	0	938	1062
Tulis	806	249	938	0	2000
Batang	913	282	1062	2000	0

Tabel 2. Matrik asal tujuan golongan 2

golongan 2	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	1791	216	20	61
Beji	1791	0	1283	119	365
Bojong	216	1283	0	361	1109
Tulis	20	119	361	0	490
Batang	61	365	1109	490	0

Tabel 3. Matrik asal tujuan golongan 3

golongan 3	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	808	36	7	6
Beji	808	0	655	120	101
Bojong	36	655	0	377	318
Tulis	7	120	377	0	500
Batang	6	101	318	500	0

Tabel 4. Matrik asal tujuan golongan 4

golongan 4	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	360	30	13	11
Beji	360	0	186	79	67
Bojong	30	186	0	108	91
Tulis	13	79	108	0	184
Batang	11	67	91	184	0

Tabel 5. Matrik asal tujuan golongan 5

golongan 5	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	149	16	2	1
Beji	149	0	122	18	6
Bojong	16	122	0	101	32
Tulis	2	18	101	0	116
Batang	1	6	32	116	0

PEMBAHASAN

A. Analisis Tingkat Kedatangan

Untuk mendapatkan arus jam puncak matrik asal tujuan di kali dengan faktor *k*. Berikut hasil arus jam puncak jalan tol Pemalang - Batang.

Tabel 6. Arus Jam Puncak Golongan I pada Tahun 2019

	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	110	168	89	100
Beji	110	0	52	27	31
Bojong	168	52	0	103	117
Tulis	89	27	103	0	220
Batang	100	31	117	220	0

Tabel 7. Arus Jam Puncak Golongan 2 pada Tahun 2019

	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	197	24	2	7
Beji	197	0	141	13	40
Bojong	24	141	0	40	122
Tulis	2	13	40	0	54
Batang	7	40	122	54	0

Tabel 8. Arus Jam Puncak Golongan 3 pada Tahun 2019

	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	89	4	1	1
Beji	89	0	72	13	11
Bojong	4	72	0	41	35
Tulis	1	13	41	0	55
Batang	1	11	35	55	0

Tabel 9. Arus Jam Puncak Golongan 4 pada Tahun 2019

	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	40	3	1	1
Beji	40	0	20	9	7
Bojong	3	20	0	12	10
Tulis	1	9	12	0	20
Batang	1	7	10	20	0

Tabel 10. Arus Jam Puncak Golongan 5 pada Tahun 2019

	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	0	16	2	0	0
Beji	16	0	13	2	1
Bojong	2	13	0	11	4
Tulis	0	2	11	0	13
Batang	0	1	4	13	0

B. Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang Tol

Di bawah ini contoh tabel distribusi kendaraan masuk dan keluar golongan 1.

Tabel 11. Distribusi Kendaraan ke Gerbang Tol untuk Golongan 1

Golongan 1					
Zona	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
Pemalang	Beji	110	110		
Pemalang	Bojong	168		168	
Pemalang	Tulis	89			89
Pemalang	Batang	100			100
Beji	Bojong		52	52	
Beji	Tulis		27		27
Beji	Batang		31		31
Bojong	Pemalang	110	110		
Bojong	Tulis			103	103
Bojong	Batang			117	117
Bojong	Beji		52	52	
Bojong	Pemalang	168		168	
Tulis	Batang				220
Tulis	Bojong			103	103
Tulis	Beji		27		27
Tulis	Pemalang	89			89
Batang	Tulis				220
Batang	Bojong			117	117
Batang	Beji		31		31
Batang	Pemalang	100			100

Tabel 12. Jumlah Kendaraan Masuk Gerbang

Jumlah Kendaraan Masuk gerbang					
Golongan	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
1	466	220	439	439	468
2	122	391	327	109	223
3	94	185	152	111	102
4	46	76	46	42	39
5	18	32	30	26	17
Total	746	905	994	728	849

Tabel 13. Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang

Jumlah Kendaraan Keluar Gerbang					
Golongan	Pemalang	Beji	Bojong	Tulis	Batang
1	466	110	439	439	468
2	230	283	327	109	223
3	95	185	152	110	102
4	46	76	46	42	39
5	18	32	30	26	17
Total	855	687	994	727	849

C. Analisa Waktu Pelayanan

Waktu pelayanan yang digunakan untuk perencanaan gerbang tol Pemalang - Batang dari hasil pelaksanaan survei di gerbang tol.



Gambar 3. Waktu Pelayanan Golongan 1.



Grafik 4. Waktu Pelayanan Golongan 2.



Grafik 5. Waktu Pelayanan Golongan 3.



Grafik 6. Waktu Pelayanan Golongan 4.



Grafik 7. Waktu Pelayanan Golongan 5.

Dalam menentukan waktu pelayanan dari setiap golongan kendaraan dilihat dari nilai rata-rata (mean), persentase kumulatif 50%, dan persentase kumulatif 80%. Dan untuk menentukannya dari 3 nilai yang disebutkan sebelumnya diperiksa dengan nilai median dan modus. Setelah itu dicari nilai yang lebih dekat dengan nilai median dan modus. Sehingga setelah dianalisis waktu pelayanan untuk golongan I 8 detik, golongan II 10 detik, golongan III 11 detik, golongan IV 12 detik, golongan V 15 detik dan untuk gardu *On Board Unit* 5 detik.

Tabel 14. Tingkat Pelayanan Gerbang Tol

Gerbang Tol	Gardu	μ (kend/jam)	
Pemalang	GTO	Masuk	254
		Keluar	276
	GTO Khusus	Masuk	450
		Keluar	450
	OBU	Masuk	720
		Keluar	720
Beji	GTO	Masuk	227
		Keluar	192
	GTO Khusus	Masuk	450
		Keluar	450
	OBU	Masuk	720
		Keluar	720
Bojong	GTO	Masuk	258
		Keluar	258
	GTO Khusus	Masuk	450
		Keluar	450
	OBU	Masuk	720
		Keluar	720
Tulis	GTO	Masuk	234
		Keluar	234
	GTO Khusus	Masuk	450
		Keluar	450
	OBU	Masuk	720
		Keluar	720
Batang	GTO	Masuk	276
		Keluar	276
	GTO Khusus	Masuk	450
		Keluar	450

D. Analisis Tingkat Pelayanan

Pada perencanaan gerbang tol Pemalang-Batang memerlukan tingkat pelayanan untuk keseluruhan gardu tol yang direncanakan pada tiap gerbang. Analisis tingkat pelayanan ini menggunakan data waktu pelayanan dari tiap golongan yang sudah dianalisis sebelumnya dan tingkat kedatangan dari masing-masing golongan kendaraan pada tiap gerbang. (Tabel 14)

E. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Menggunakan rumus:

$$N = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

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

dengan persyaratan bahwa nilai tersebut selalu harus lebih kecil dari 1 (May, 1990:361) [1]

Gardu Tol Masuk

- Jumlah (N) gardu tol otomatis khusus Gol I : 1 gardu
- Jumlah (N) gardu tol otomatis : 2 gardu
- Jumlah gardu On Board Unit : 1 gardu
- λ_1 gardu tol otomatis khusus Gol. I : 233 kend./jam
- λ_2 gardu tol otomatis : 397 kend./jam
- λ_3 gardu On Board Unit : 117 kend./jam
- μ_1 gardu tol otomatis khusus Gol. I : 450 kend./jam
- μ_2 gardu tol otomatis : 254 kend./jam
- μ_3 gardu On Board Unit : 720 kend./jam

1. Gardu tol otomatis khusus:

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

$$\rho_1 = \frac{233/1}{450}$$

$$\rho_1 = 0.517 < 1 (OK)$$

2. Gardu tol otomatis:

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

$$\rho_2 = \frac{397/2}{254}$$

$$\rho_2 = 0.779 < 1 (OK)$$

3. Gardu tol On Board Unit:

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

$$\rho_3 = \frac{117/1}{720}$$

$$\rho_3 = 0.162 < 1 (OK)$$

Dikarenakan ρ_1 , ρ_2 dan ρ_3 yang dianalisis < 1 , maka intensitas lalu lintas pada gerbang tol Pemalang arah masuk aman.

Tabel 15 adalah intensitas gerbang tol Pemalang - Batang.

F. Analisis Antrian pada Gerbang Tol Tahun 2019

Analisis antrian pada gerbang dilakukan untuk mengetahui panjang antrian dan waktu antrian pada gerbang tol yang di rencanakan. Dibawah ini table hasil perhitungan analisis antrian FIFO Menurut A.K. Erlang dan Kakiay [2][3].

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Tabel 15. Intensitas Lalu Lintas Gerbang Tol Pemalang -Batang Tahun 2019

Gerbang Tol	Gardu	N	λ	μ	ρ	
Pemalang	GTO	Masuk	2	397	254	0.779
		Keluar	3	506	276	0.609
	GTO Khusus	Masuk	1	233	450	0.518
		Keluar	1	233	450	0.518
	OBU	Masuk	1	117	720	0.162
		Keluar	1	117	720	0.162
Beji	GTO	Masuk	4	740	228	0.813
		Keluar	4	604	192	0.785
		Masuk	1	110	450	0.244
	GTO Khusus	Keluar	1	55	450	0.122
		Masuk	1	55	720	0.076
	OBU	Keluar	1	27	720	0.038
Bojong	GTO	Masuk	4	664	258	0.644
		Keluar	4	665	258	0.644
	GTO Khusus	Masuk	1	220	450	0.488
		Keluar	1	220	450	0.488
	OBU	Masuk	1	110	720	0.153
		Keluar	1	110	720	0.152
Tulis	GTO	Masuk	3	398	233	0.568
		Keluar	3	398	234	0.566
	GTO Khusus	Masuk	1	220	450	0.488
		Keluar	1	220	450	0.488
	OBU	Masuk	1	110	720	0.153
		Keluar	1	110	720	0.152
Batang	GTO	Masuk	2	279	276	0.505
		Keluar	2	281	276	0.509
	GTO Khusus	Masuk	1	234	450	0.520
		Keluar	1	234	450	0.520
	OBU	Masuk	1	117	720	0.163
		Keluar	1	117	720	0.163

Tabel 16. Analisis Antrian Gerbang Tol

Gerbang tol	Gardu Tol	n		q		d		w	
		kend	kend	kend	dk	dk	dk		
Pemalang	GTO khusus	Masuk	1,07	0,56	16,59	8,59			
		Keluar	0,56	0,56	16,59	8,59			
	GTO	Masuk	3,53	2,75	64,16	49,99			
		Keluar	1,55	0,95	33,31	20,29			
	OBU	Masuk	0,19	0,03	5,96	0,97			
		Keluar	0,19	0,03	5,97	0,97			
Beji	GTO khusus	Masuk	0,32	0,08	10,60	2,58			
		Keluar	0,14	0,02	9,11	1,11			
	GTO	Masuk	4,35	3,53	84,67	68,85			
		Keluar	3,66	2,87	87,20	68,50			
	OBU	Masuk	0,08	0,01	5,41	0,41			
		Keluar	0,03	0,00	5,19	0,19			
Bojong	GTO khusus	Masuk	0,95	0,46	15,62	7,62			
		Keluar	1,80	0,46	15,62	7,64			
	GTO	Masuk	1,80	1,16	39,17	25,22			
		Keluar	1,80	1,16	39,18	25,22			
	OBU	Masuk	0,17	0,02	5,89	0,89			
		Keluar	0,17	0,02	5,89	0,89			
Tulis	GTO khusus	Masuk	0,95	0,46	15,62	7,62			
		Keluar	0,95	0,46	15,62	7,62			
	GTO	Masuk	1,31	0,74	35,72	20,30			
		Keluar	1,30	0,73	35,48	20,09			
	OBU	Masuk	0,17	0,02	5,89	0,89			
		Keluar	0,17	0,02	5,89	0,89			
Batang	GTO khusus	Masuk	1,08	0,56	16,67	8,67			
		Keluar	1,08	0,56	16,70	8,67			
	GTO	Masuk	1,02	0,51	26,33	13,30			
		Keluar	1,03	0,52	26,52	13,49			
	OBU	Masuk	0,19	0,03	5,97	0,97			
		Keluar	0,19	0,03	5,97	0,97			

1. Volume kendaraan pada gerbang tol Pemalang - Batang pada tahun 2019 sebagai berikut:

- Gerbang I Pemalang, tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 746 emp/jam, arah keluar 855 emp/jam.
- Gerbang II Beji, tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 905 emp/jam, arah keluar 687 emp/jam.
- Gerbang III Bojong, tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 994 emp/jam, arah keluar 994 emp/jam.
- Gerbang IV Tulis, tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 728 emp/jam, arah keluar 727 emp/jam.
- Gerbang V Batang, tingkat kedatangan kendaraan arah masuk sebesar 849 emp/jam, arah keluar 849 emp/jam.

Jumlah gardu tol pada gerbang tol Pemalang - Batang tahun 2019 sebagai berikut:

- Gerbang I Pemalang arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit.
- Gerbang I Beji arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 4 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 4 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit.
- Gerbang I Bojong arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 4 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol

otomatis khusus, 4 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit.

- Gerbang I Tulis arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 3 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit.
- Gerbang I Batang arah masuk terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit, untuk arah keluar terdapat 1 gardu tol otomatis khusus, 2 gardu tol otomatis dan 1 gardu tol on board unit.

B. Saran

Berdasarkan hasil perencanaan, berikut saran yang dapat diberikan oleh penyusun kepada perencana gerbang tol, badan pengelola jalan tol, ataupun pemerintah:

- Sosialisasi penggunaan e toll card pada setiap pengguna jalan tol.
- Mempermudah pengisian e-toll card
- Memberi pengarahan agar pengendara golongan II sampai golongan V mau menggunakan alat On Board Unit.
- Menggunakan harga yang terjangkau untuk pembelian alat On Board Unit.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. May, *Traffic Flow Fundamentals*. New Jersey: Prentice-Hall International Inc, 1990.
 [2] A. Erlang, *Sejarah Teory Antrian dalam modul manajemen operasional*. Jakarta, 1913.
 [3] T. Kakiay, *Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata*. Yogyakarta: Andi Offset, 2004.