

SIMULASI SISTEM BUKA TUTUP TOL KANCI – BREBES TIMUR SAAT ARUS MUDIK 2016

Yustika Putra, Valentino Hary Pratama, Bambang Riyanto^{*)}, Wahyudi Kushardjoko^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH Tembalang, Semarang. 50275, Telp.: (024)7474770, Fax.:
(024)7460060

ABSTRAK

Kemacetan merupakan suatu permasalahan pada sektor transportasi yang sampai saat ini masih belum ditemukan solusinya. Bahkan, jalan tol yang merupakan suatu sarana untuk mengurangi kemacetan ternyata tidak luput dari kemacetan itu sendiri. Penelitian yang dilakukan difokuskan pada jalan tol Brebes Timur yang baru saja selesai dengan studi kasus arus mudik 2016. Pengumpulan data terkait kasus Brebes Timur, meliputi data lalu lintas pada ruas Kanci-Pejagan, serta lalu lintas pada tiap Gerbang yang diteliti, yaitu Gerbang Tol Pejagan, Brebes Barat, dan Brebes Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor penyebab kemacetan serta memberikan salah satu solusi dari kemacetan melalui simulasi sistem buka tutup pintu gerbang yang ada pada ruas tol yang diteliti. Metode yang digunakan adalah simulasi dari sistem buka – tutup dilakukan tanpa adanya survei data langsung, dikarenakan kasus yang diangkat sudah lama terjadi. Simulasi ini memanfaatkan data sekunder dari operator jalan tol yang bersangkutan. Analisis pada pembahasan meliputi kapasitas maksimal dari tiap gerbang, antrian yang terjadi, serta simulasi sistem buka tutup gerbang tol dengan alternatif penambahan gardu dan pembatasan antrian sebesar 3 km, 4 km, dan 5 km. Hasil dari analisis adalah simulasi dilakukan dengan menetapkan batas antrian pada tiap gerbang untuk menentukan kapan waktu sistem buka dan tutup itu dimulai. Kesimpulan dari studi ini yaitu faktor penyebab dari kemacetan yang ada adalah tingkat kedatangan yang sangat besar (2584 kend/jam pada Gerbang Tol Brebes Timur, 976 kend/jam pada Brebes Barat, 1742 kend/jam pada Pejagan) yang tidak sebanding dengan kapasitas pelayanan yang ada, dinyatakan dengan besaran ρ . Jika ρ semakin mendekati 1 maka gerbang semakin jenuh, jika $\rho > 1$ maka gerbang tidak mampu melayani tingkat kedatangan yang ada (1,076 pada Gerbang Tol Brebes Timur, 0,813 pada Brebes Barat, 0,967 pada Pejagan). Simulasi yang paling efektif untuk dilakukan adalah simulasi dengan batas antrian sebesar 4 km dengan waktu pelayanan tiap gardu 12 detik dan tanpa adanya penambahan jumlah gardu. Sebagai tindak lanjut dari studi ini adalah perlu adanya data yang lebih lengkap agar perhitungan yang dilakukan lebih rinci dan mendalam, serta ketika simulasi dilakukan perlu adanya komunikasi yang baik antar gerbang tol terkait untuk menginformasikan arus dan panjang antrian yang terjadi untuk menentukan pembukaan dan penutupan gerbang yang dilakukan.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

Kata kunci: *Kemacetan, Kapasitas, Simulasi Sistem Buka Tutup Gerbang Tol*

ABSTRACT

The reduction of visitor's interest towards traditional marketplaces is a problem that must be faced by traditional marketplaces. The government has shown its effort in maintaining the existence of traditional marketplaces by way of revitalization. The objectives of this research is to analyze the comparison between traditional marketplaces of ancient and modern age, the impact of revitalizations of traditional marketplaces, standards of planning, and application of regulations in traditional marketplaces. The object of this research is Rasamala market, Bulu market, and Peterongan market, whereas the research method used for such analysis are qualitative-descriptive method. The method of data-collecting used are observation and interviews to markets service, merchants, visitors, and chief market of Rasamala, Bulu, dan Peterongan market. The conclusion of this research is that there are differences concerning the type of goods, the role of the marketplaces, forms of interactions, and rotation system of the marketplaces, between marketplaces of ancient and modern age. The impact of revitalization concerning the building is that the marketplaces now looks better aesthetically, is cleaner, and the floor is no longer muddy when the rain comes. But when it concerns the income of the merchants, not every marketplaces enjoys a raise of income after revitalization. The standard of planning a revitalized traditional marketplaces, as taken from SNI Pasar Rakyat (Indonesian National Standard of People's Market), still suffers from many incompatibilities with the actual conditions on the field. Some standards are yet to be mentioned inside the SNI, namely the standard of width for the alleyways inside traditional marketplaces, types and number of floors inside a marketplace building, planning and management of facilities, optimization of accessibility, planning for merchants who conduct business on the floor instead of stalls, and the collection of retribution. With those conclusions of the research in mind, technical managerial recommendations are given to improve the standard of which the planning and management of revitalized traditional marketplaces are based on.

Keywords: *Congestion, Capacity, Open and Closed Toll Gate System Simulation*

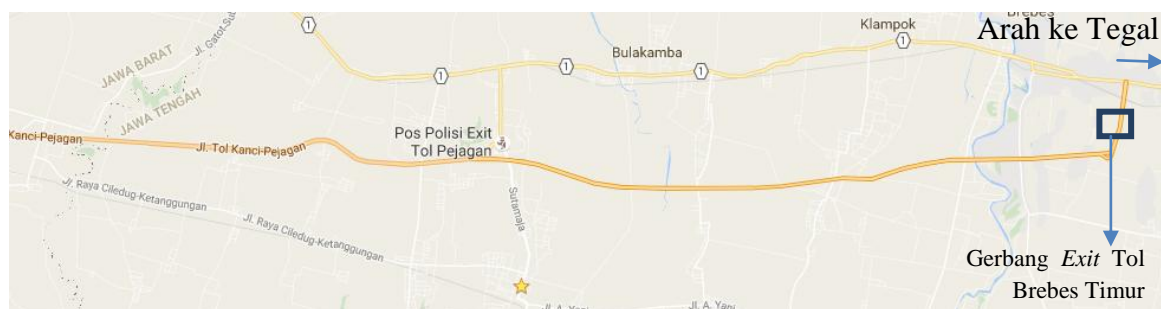
PENDAHULUAN

Jalan bebas hambatan atau yang biasa disebut jalan tol merupakan jalan nasional yang dianggap sebagai salah satu inovasi transportasi yang efektif untuk menanggulangi permasalahan transportasi, seperti halnya masalah kemacetan. Pulau Jawa merupakan salah satu pulau di Indonesia dengan penduduk yang terbanyak. Dengan penduduk yang banyak, tentunya akan mempengaruhi tingkat mobilitas dan kelancaran lalu lintas di Pulau Jawa itu sendiri. Untuk menunjang hal tersebut, maka diperlukanlah akses yang cepat dan tepat di dalamnya. Jalur akses transportasi yang menghubungkan antar kota dan antar provinsi yang cepatlah (jalan bebas hambatan) solusinya.

Dengan adanya jalan bebas hambatan diharapkan kemacetan yang terjadi dapat terurai. Namun kenyataannya, pada arus mudik 2016 lalu, terjadi kemacetan yang luar biasa pada exit Tol Brebes Timur. Kendaraan yang berada pada ruas Tol Kanci – Brebes Timur nyaris tidak bergerak. Dikutip dari merdeka.com, kendaraan mengular hingga lebih dari 20 kilometer. Para pemudik tertahan berjam – jam karena kendaraan mereka tidak dapat

bergerak akibat dari kemacetan yang terjadi. Kabar tersiar dengan cepat. Bukan hanya dari media dalam negeri, media asing juga ikut menyorot persoalan kemacetan di *exit* Tol Brebes Timur saat arus mudik 2016. Tidak hanya kemacetan, dampak yang ditimbulkan juga menjadi sorotan. Timbulnya korban jiwa adalah kabar hangat yang sering dibicarakan. Kelelahan karena panasnya cuaca dan stres terjebak macet merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Hal – hal tersebut sudah seharusnya dapat diantisipasi lebih dini agar tidak terjadi.

Lokasi penelitian adalah Gerbang Tol Pejagan, Gerbang Tol Brebes Barat dan Gerbang Tol Brebes Timur yang ada pada Ruas Tol Kanci – Pejagan – Pemalang. Lokasi kemacetan terparah adalah pada Gerbang Tol Brebes Timur. Ruas Tol Kanci – Brebes Timur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ruas Tol Kanci – Brebes Timur
(Sumber : www.google.com/maps)

Dengan berbagai permasalahan yang muncul, diperlukan adanya analisis mengenai bagaimana kemacetan pada Gerbang Tol Brebes Timur saat arus mudik 2016 dapat terjadi. Selain itu, perlu juga untuk melakukan analisis mengenai simulasi sistem buka tutup pada Ruas Tol Kanci – Brebes Timur agar dapat mengatasi kemacetan yang terjadi pada gerbang tol yang ada saat arus mudik 2016.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, yang menjadi obyek penelitian adalah Ruas *Exit* Brebes Timur saat arus mudik 2016 serta gerbang tol yang ada pada Ruas Tol Kanci – Brebes Timur saat arus mudik 2016. Penelitian dimulai dengan tahapan persiapan, yaitu berkoordinasi dengan pihak terkait untuk memperoleh data dan melakukan perijinan.

Setelah selesai dengan tahapan persiapan, selanjutnya adalah presentasi data. Pada tahapan presentasi data, yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data primer

Pengumpulan data primer dilakukan untuk menampilkan data primer terkait dengan penelitian. Sedangkan dari pengamatan langsung yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. Sistem pengumpulan jalan tol yang digunakan pada Ruas Tol Kanci – Brebes Timur adalah sistem pengumpulan tol dengan sistem tertutup.
- b. Menurut pihak Dirlantas Polda Jawa Tengah, Penyebab kemacetan itu dikarenakan para pemudik yang terlalu banyak berkumpul di satu titik, *exit* dari pertemuan tol dan arteri Pantura yang sudah padat.

- c. Terdapat 3 *exit* Gerbang Tol, yaitu Gerbang Tol Brebes Timur, Gerbang Tol Brebes Barat dan Gerbang Tol Pejagan.
 - d. Pada Gerbang Tol Brebes Timur, terdapat 2 gardu tol *entrance* menuju arah Barat dan 8 gardu tol *exit* menuju Arteri Pantura.
 - e. Pada Gerbang Tol Brebes Barat, terdapat 2 gardu digunakan untuk *entrance* menuju arah Barat dan 4 gardu untuk *exit* menuju Arteri Pantura.
 - f. Pada Gerbang Tol Pejagan, terdapat 2 gardu *entrance* dan 4 gardu (6 gardu saat puncak) untuk *exit* menuju Prupuk maupun kembali ke Arteri Pantura.
2. Pengumpulan data sekunder
- Pada pengumpulan data sekunder, data diambil dari pihak – pihak terkait seperti Dirlantas Polda Jawa Tengah dan pihak Jalan Tol Kanci – Pejagan – Pemalang. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:
- a. Data lalu lintas arus mudik Ruas Tol Kanci – Pejagan tahun 2016 yang paling tinggi terjadi pada H-5 lebaran dengan jumlah kendaraan 47.226 kendaraan / hari.
 - b. Data lalu lintas pada Gerbang Tol Brebes Timur saat arus mudik 2016 mencapai puncak pada H-6 lebaran dengan jumlah kendaraan 25.841 kendaraan / jam.
 - c. Data lalu lintas pada Gerbang Tol Brebes Barat saat arus mudik 2016 mencapai puncak pada H-4 lebaran dengan jumlah kendaraan 9.753 kendaraan / jam.
 - d. Data lalu lintas pada Gerbang Tol Pejagan saat arus mudik 2016 mencapai puncak pada H-4 lebaran dengan jumlah kendaraan 17.420 kendaraan / jam.
 - e. Asumsi waktu pelayanan yang digunakan adalah 12 detik yang mengacu pada penelitian yang berjudul Analisis dan Optimalisasi Kinerja pada Gerbang Tol Tembalang oleh Devinta Kusuma Wardani dan Harits Salman Ambo yaitu 11,902 detik.
 - f. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997, faktor konversi untuk perhitungan jam puncak dari kendaraan / hari menjadi kendaraan / jam adalah 10 %.
 - g. Komposisi arus yang terjadi pada saat arus mudik 2016 dianggap merupakan kendaraan pribadi sehingga dapat bahwa $LV = 100\%$, maka menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 emp yang digunakan = 1.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas gerbang tol dan simulasi sistem buka tutup gerbang tol, harus dilakukan perhitungan jam puncak pada data lalu lintas yang telah didapat. Dengan proses perhitungan jam puncak, diperoleh lalu lintas kendaraan pada Ruas Tol Kanci – Pejagan mencapai 4.723 kendaraan/jam. Gerbang Tol Brebes Timur pada saat jam puncak mencapai 2.584 kendaraan/jam. Gerbang Tol Brebes Barat pada saat jam puncak mencapai 976 kendaraan/jam. Dan Gerbang Tol Pejagan pada saat jam puncak mencapai 1.742 kendaraan/jam.

Dengan data yang ada selanjutnya dilakukan perhitungan tentang kinerja gerbang tol yang ada pada Ruas Tol Kanci – Brebes Timur. Hasil dari perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas Gerbang Tol Brebes Timur adalah 2400 kendaraan / jam, sehingga didapatkan nilai derajat kejenuhan melebihi 1 sehingga gerbang tidak mampu menerima kendaraan yang datang.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Gerbang Tol Brebes Timur

Gerbang Tol Brebes Timur								
Data Real			Ls		Lq		Ws	Wq
λ (kend/jam)	μ (kend/jam)	Jumlah Gardu (buah)	(kend)	(m)	(kend)	(m)	(jam)	(jam)
2584	300	8	-6,48	-32,4	-7,56	-37,8	-0,02	-0,023

2. Kapasitas Gerbang Tol Brebes Barat adalah 1200 kendaraan / jam, sehingga didapatkan nilai derajat kejenuhan 0,813 sehingga gerbang mampu menerima kendaraan yang datang.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Gerbang Tol Brebes Barat

Gerbang Tol Brebes Barat								
Data Real			Ls		Lq		Ws	Wq
λ (kend/jam)	μ (kend/jam)	Jumlah Gardu (buah)	(kend)	(m)	(kend)	(m)	(jam)	(jam)
976	300	4	2,585	12,925	17,719	88,595	0,01059	0,00726

3. Kapasitas Gerbang Tol Pejagan adalah 1800 kendaraan / jam, sehingga didapatkan nilai derajat kejenuhan 0,968 sehingga gerbang masih mampu menerima kendaraan yang datang.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Gerbang Tol Pejagan

Gerbang Tol Pejagan								
Data Real			Ls		Lq		Ws	Wq
λ (kend/jam)	μ (kend/jam)	Jumlah Gardu (buah)	(kend)	(m)	(kend)	(m)	(jam)	(jam)
1742	300	6	15,5	77,5	14,53	72,65	0,053	0,05

Setelah perhitungan analisis kinerja masing – masing gerbang tol, selanjutnya kita akan membahas tentang alternatif mengatasi kemacetan. Yang pertama adalah dengan melakukan simulasi sistem buka tutup gerbang tol. Untuk simulasi sistem buka tutup gerbang tol pada Ruas Tol Kanci – Brebes Timur, maka akan dilakukan pembagian menjadi 3 zona simulasi. Zona 1 difokuskan pada Gerbang Tol Brebes Timur, zona 2 difokuskan pada Gerbang Tol Brebes Barat dan zona 3 difokuskan pada Gerbang Tol Pejagan.



Gambar 2. Pembagian Zona Simulasi

Perhitungan simulasi dimulai dengan mencari volume kendaraan maksimum yang mampu dilayani oleh gerbang sehingga mendapatkan panjang antrian tidak melebihi dari batas yang telah ditentukan, yaitu 3, 4 dan 5 kilometer. Logika perhitungan dilakukan dengan pendekatan luas dari tampungan tiap gerbang dengan memperhatikan kondisi lapangan. Dengan perbandingan terhadap data arus lalu lintas Ruas Tol Kanci Pejagan, maka didapatkan waktu mencapai antrian dan waktu penutupan Gerbang Tol Brebes Timur. Untuk perhitungan pembukaan kembali gerbang tol dengan menghitung jumlah kendaraan yang harus hilang dari antrian dikalikan waktu pelayanan kendaraan oleh Gerbang Tol Brebes Timur.

Setelah melakukan pembahasan, maka didapatkan perlakuan simulasi yang paling efektif adalah pada simulasi sistem buka tutup dengan batasan antrian 4 km. Hal ini dikarenakan nilai waktu yang didapatkan tidak terlalu cepat bila dibandingkan dengan alternatif 3 km, serta dikarenakan adanya batas antrian maksimal sesuai peraturan yang diizinkan sebesar 5 km, maka panjang antrian 4 km masih mempunyai faktor koreksi panjang antrian sebesar 1 km.

Pada zona 1 didapatkan jumlah dari kendaraan maksimum yang dapat ditampung pada Gerbang Tol Brebes Timur dan kendaraan yang mampu dilayani oleh Gerbang Tol Brebes Timur adalah 4932 kendaraan/jam.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Simulasi Gerbang Tol Brebes Timur saat Antrian 4 Kilometer

Gerbang Tol Brebes Timur

Input		Output	
Jumlah Gardu Tol	8	Kendaraan yang ada dalam volume puncak	4,932.000
Tingkat Pelayanan (μ) (Kendaraan / Jam)	300	Panjang Antrian setelah Pelebaran	3,890.000
Antrian yang dapat Tertampung (Kendaraan)	198	Waktu Mencapai Antrian (Menit)	62.655
Batas Antrian	4,000	Waktu Tempuh (Menit)	3.462
LV (Km/Jam)	52	Waktu menutup gerbang (Menit)	54.194
Jarak ke Gerbang Terdekat (Km)	6	Vol saat 500m	432.000
Waktu Menutup Gerbang (Menit)	5	vol yang berkurang	2,100.000
Volume Puncak Sebenarnya (Kend/Jam)	4,723	Waktu pembukaan	52.500
Panjang Pelebaran ke Gardu (meter)	110		
Batas antrian pembukaan (meter)	500		

Perhitungan zona 2 didapatkan jumlah dari kendaraan maksimum yang dapat ditampung pada Gerbang Tol Brebes Barat dan kendaraan yang mampu dilayani oleh Gerbang Tol Brebes Barat adalah 4860 kendaraan/jam.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Simulasi Gerbang Tol Brebes Barat saat Antrian 4 Kilometer

Gerbang Tol Brebes Barat

Input		Output	
Jumlah Gardu Tol	4.00	Kendaraan yang ada dalam volume puncak	4,860.000
Tingkat Pelayanan (μ) (Kendaraan / Jam)	300.00	Panjang Antrian setelah Pelebaran	3,910.000
Antrian yang dapat Tertampung (Kendaraan)	114.00	Waktu Mencapai Antrian (Menit)	61.740
Batas Antrian	4,000.00	Waktu Tempuh (Menit)	12.923
LV (Km/Jam)	52.00	Waktu menutup gerbang (Menit)	43.817
Jarak ke Gerbang Terdekat (Km)	14.20	Vol saat 500m	360.000
Waktu Menutup Gerbang (Menit)	5.00	vol yang berkurang	2,100.000
Volume Puncak Sebenarnya (Kend/Jam)	4,723.00	Waktu pembukaan	105.000
Panjang Pelebaran ke Gardu (meter)	90.00		
Batas antrian pembukaan (meter)	500.00		

Tabel 6. Hasil Perhitungan Simulasi Gerbang Tol Pejagan saat Antrian 4 Kilometer

Gerbang Tol Pejagan

Input		Output	
Jumlah Gardu Tol	6	Kendaraan yang ada dalam volume puncak	4,861.000
Tingkat Pelayanan (μ) (Kendaraan / Jam)	300	Panjang Antrian setelah Pelebaran	3,925.000
Antrian yang dapat Tertampung (Kendaraan)	106	Waktu Mencapai Antrian (Menit)	61.753
Batas Antrian	4,000	Waktu Tempuh (Menit)	36.923
LV (Km/Jam)	52	Waktu menutup gerbang (Menit)	19.830
Jarak ke Gerbang Terdekat (Km)	35	Vol saat 500m	361.000
Waktu Menutup Gerbang (Menit)	5	vol yang berkurang	2,100.000
Volume Puncak Sebenarnya (Kend/Jam)	4,723	Waktu pembukaan	70.000
Panjang Pelebaran ke Gardu (meter)	75		
Batas antrian pembukaan (meter)	500		

Perhitungan zona 3 didapatkan jumlah dari kendaraan maksimum yang dapat ditampung pada Gerbang Tol Pejagan dan kendaraan yang mampu dilayani oleh Gerbang Tol Pejagan adalah 4861 kendaraan/jam. (Tabel 6).

Alternatif untuk mengatasi kemacetan yang kedua adalah penambahan jumlah gardu pada masing – masing gerbang. Rumus yang digunakan adalah:

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \dots\dots\dots (1)$$

keterangan :

ρ = Derajat Kejenuhan

λ = Tingkat Kedatangan

N = Jumlah Gerbang

μ = Tingkat Pelayanan

Pada Gerbang Tol Brebes Timur yang awalnya $\rho = 1,0767$ dengan penambahan gardu akan menjadi $\rho = 0,957$, pada Gerbang Tol Brebes Barat yang awalnya $\rho = 0,8133$ menjadi $\rho = 0,65$, dan pada Gerbang Tol Pejagan yang awalnya $\rho = 0,9677$ menjadi $\rho = 0,829$.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Kemacetan diakibatkan oleh faktor-faktor berikut:
 - a. Tingkat kedatangan pada gerbang tol yang sangat besar yang tidak sebanding dengan kapasitas pelayanan yang ada, sehingga menimbulkan antrian pada gerbang
 - b. Kurangnya *rest area* pada ruas Kanci – Brebes Timur
2. Gerbang Tol Brebes Timur dinyatakan tidak mampu melayani laju kedatangan yang ada, dinyatakan dengan nilai $\rho = 1,0767$
3. Gerbang Tol Brebes Barat dan Pejagan dinyatakan masih mampu melayani laju kedatangan yang ada, dinyatakan dengan nilai $\rho = 0,8133$ untuk Gerbang Tol Brebes Barat dan $\rho = 0,9677$ untuk Gerbang Tol Pejagan.
4. Simulasi penambahan gardu pada tiap gerbang dapat mengurangi kemacetan yang terjadi. Penambahan gardu akan memperkecil nilai derajat kejenuhan (ρ) pada tiap gerbang yang ada. Pada Gerbang Tol Brebes Timur yang awalnya $\rho = 1,0767$ dengan penambahan gardu akan menjadi $\rho = 0,957$, pada Gerbang Tol Brebes Barat yang awalnya $\rho = 0,8133$ menjadi $\rho = 0,65$, dan pada Gerbang Tol Pejagan yang awalnya $\rho = 0,9677$ menjadi $\rho = 0,829$.
5. Simulasi dimulai dengan pengalihan arus Kanci – Pejagan ke Gerbang Tol Brebes Timur terlebih dahulu, kemudian baru dialihkan ke Gerbang Tol Brebes Barat, kemudian berlanjut ke Pejagan.
6. Simulasi pembatasan antrian yang paling efektif adalah pembatasan panjang antrian sebesar 4 km, dikarenakan nilai waktu yang didapatkan tidak terlalu cepat bila dibandingkan dengan alternatif 3 km, serta dikarenakan adanya batas antrian maksimal sesuai peraturan yang diizinkan sebesar 5 km, maka panjang antrian 4 km masih mempunyai faktor koreksi panjang antrian sebesar 1 km.
7. Hasil simulasi pada Zona 1 (GT Brebes Timur) untuk mencapai panjang antrian sebesar 4 km didapatkan waktu pengalihan atau penutupan jalur pada 54,194 menit setelah simulasi dimulai. Pembukaan gerbang kembali dilakukan pada $\pm 52,5$ menit setelah jalur ke pintu tol Brebes Timur ditutup.
8. Hasil simulasi pada Zona 2 (GT Brebes Barat) untuk mencapai panjang antrian sebesar 4 km didapatkan waktu pengalihan atau penutupan jalur pada 43,82 menit setelah jalur

ke Gerbang Tol Brebes Timur ditutup. Pembukaan gerbang kembali dilakukan pada \pm 1 jam 45 menit setelah jalur ke pintu tol Brebes Barat ditutup.

9. Hasil simulasi pada Zona 3 (GT Pejagan) untuk mencapai panjang antrian sebesar 4 km didapatkan waktu pengalihan atau penutupan jalur pada 19,83 menit setelah jalur ke Gerbang Tol Brebes Barat ditutup. Pembukaan gerbang kembali dilakukan pada \pm 1 jam 10 menit setelah jalur ke pintu tol Pejagan ditutup.

Saran yang dapat diberikan terkait Tugas Akhir ini kepada pihak penyelenggara arus mudik adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya pengamatan secara *real time* untuk menunjang perolehan data sehingga analisis untuk mengatasi kemacetan dapat lebih cepat dilakukan dan dapat dihitung secara akurat.
2. Untuk optimalisasi simulasi yang dibuat perlu adanya komunikasi yang baik antara pihak gerbang tol, terkait panjang antrian dan arus yang terjadi
3. Perlu diadakannya penelitian terkait perbandingan kapasitas dan arus yang terjadi di jalur Pantura, karena setiap Gerbang Tol terkait berhubungan langsung dengan jalur Pantura.
4. Meminimalisasi waktu pelayanan pada gerbang tol sangat dianjurkan. Model sistem tertutup yang digunakan (menggunakan KTM) dinilai kurang efektif.
5. Minimalisasi waktu pelayanan bisa dilakukan secara struktural ataupun non-struktural. Struktural seperti penggantian model pembayaran dengan teknologi yang lebih canggih guna mempersingkat waktu pelayanan. Non-struktural seperti pengadaan sosialisasi terkait pembayaran dengan uang pas kepada masyarakat, dan sebagainya.
6. Penambahan Gardu pada tiap gerbang tol tidak direkomendasikan untuk dilakukan, dikarenakan kasus tingkat kedatangan yang begitu besar ini bersifat *annual* (tahunan). Sehingga, untuk hari biasa gerbang sebenarnya masih mencukupi untuk melayani tingkat kedatangan yang ada. Serta jika ditinjau dari segi ketersediaan lahan dan biaya pembebasan lahan dinilai tidak sebanding dengan pemasukan tol yang diterima, dikarenakan tingkat kedatangan yang begitu besar ini hanya terjadi tahunan dan dalam rentang waktu yang singkat, yaitu \pm 13 hari, H-7 hingga H+7 lebaran.
7. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait repetisi simulasi, dikarenakan karakteristik kedatangan pada gerbang akan berbeda pada tiap tahunnya.
8. Pada tahun 2017/2018 terindikasi bahwa pembangunan jalan tol akan berlanjut, sehingga akan dibuka gerbang tol baru, yaitu GT Tegal Timur dan GT Pemalang. Sehingga simulasi ini semoga bisa diterapkan guna mengoptimalkan gerbang tol yang tersedia.

DAFTAR PUSTAKA

- May, Adolf Darlington, 1990. *Traffic Flow Fundamentals*. United States of America: Prentice Hall, Inc
- Taha, Hamdy A, 1997. *Riset Operasi, alih bahasa Daniel Wirajaya*. Jakarta: Binarupa Aksara
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Sweroad dan PT. Bina Karya (Persero)
- Ali, Nur dan David Ferdi, 2012. *Studi Antrian di Gerbang Tol Tamalanrea Seksi IV Makassar*. Unhas Makassar.
- Wijaya, Made Wisnu, 2013. *Analisis Antrian Mobil Pada Gerbang Tol Bintara*. Universitas Gunadarma.
- Winarsih, Neneng dan Jennie Kusumaningrum, 2013. *Analisis Kapasitas Gerbang Tol Karawang Barat*. Universitas Gunadarma.

- Suharyo, Seno, 2014. *Analisis Antrian Gerbang Tol dengan Simulasi Multi Channel Gerbang Tol Tembalang Semarang* (Tesis). Universitas Diponegoro Semarang.
- Kesuma, Yoga Puja, 2015. *Analisis Perbandingan Kinerja Sistem Antrian Gerbang Tol Bandung*. Universitas Telkom Bandung.
- Wardani, Devinta Kusuma dan Harits Salman Ambo, 2016. *Analisis dan Optimalisasi Kinerja pada Gerbang Tol Tembalang* (Tugas Akhir). Universitas Diponegoro Semarang.