

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN *E-TOLL* DENGAN *MULTI LANE FREE FLOW (MLFF)* (STUDI KASUS: GERBANG TOL PASTEUR)

LUTHFI RAMADHANSYAH RANGKUTI¹

Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: Iramadhansyah49@gmail.com

ABSTRAK

Analisis ini dilakukan untuk membandingkan sistem pengendalian jalan masuk menggunakan sistem tapping kartu e-Toll dengan sistem Multi Lane Free Flow (MLFF), dimana yang dianalisis adalah besarnya tundaan, panjang antrian dari tingkat kedatangan dan waktu pelayanan terhadap konsumsi bahan bakar. Penggunaan sistem tapping kartu e-Toll menyebabkan adanya tundaan dengan total 140 detik pada gerbang tol Pasteur 2 dan total tundaan 49 detik pada gerbang tol Pasteur 1, yang mengakibatkan kerugian terhadap konsumsi Bahan Bakar Minyak yaitu dengan total 5.198 liter pada gerbang tol Pasteur 2 dan 1.548 liter pada gerbang tol Pasteur 1. Penggunaan sistem Multi Lane Free Flow (MLFF) tidak menyebabkan tundaan, sehingga total kerugian konsumsi Bahan Bakar Minyak adalah 0 liter pada gerbang tol Pasteur 2 dan gerbang tol Pasteur 1. Penggunaan sistem Multi Lane Free Flow (MLFF) untuk pengendalian jalan masuk di gerbang tol Pasteur 1 dan Pasteur 2 efektif jika ditinjau terhadap konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM).

Kata kunci: e-Toll, Multi Lane Free Flow (MLFF), analisis kerugian BBM, jalan bebas hambatan, tundaan, antrian.

1. PENDAHULUAN

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), jalan bebas hambatan adalah jalan untuk lalu-lintas menerus dengan pengendalian jalan masuk secara penuh, baik merupakan jalan terbagi ataupun tak terbagi. Di Indonesia, defenisi ini sama artinya dengan jalan tol. Jalan bebas hambatan memperhitungkan kecepatan arus bebas, kapasitas, kecepatan dan derajat iringan.

Di Indonesia telah dikembangkan beberapa pengendalian jalan masuk secara penuh di jalan bebas hambatan, diantaranya adalah dengan menggunakan kartu elektronik yang digunakan untuk melakukan transaksi sistem pembayaran non-tunai (*cashless*) saat memasuki jalan tol di seluruh Indonesia atau yang sering kita dengar dengan sebutan *e-Toll*.

Kartu *e-Toll* berisi saldo uang elektronik dengan jumlah saldo yang cukup sesuai jarak tempuh perjalanan dan pembayarannya dilakukan secara tapping di gerbang tol otomatis, dimulai secara serentak sejak Oktober tahun 2017 lalu, e-Toll memiliki peran penting dalam mengurangi kemacetan saat antrian dan langkah modernisasi (mempermudah dan mempercepat).

Menurut Tamin (2000), permasalahan transportasi dan teknik perencanaan yang mengalami revolusi yang pesat sejak tahun 1980-an. Pada saat ini masih banyak permasalahan transportasi yang sebenarnya sudah terjadi sejak tahun 1960-an dan 1970-an, misalnya kemacetan, polusi suara dan udara, kecelakaan, dan tundaan. Permasalahan transportasi yang sudah ada sejak dulu

bisa saja masih dijumpai pada masa sekarang, tetapi dengan tingkat kualitas yang jauh lebih parah dan kuantitas yang jauh lebih besar.

Sekretaris Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) Kementerian PUPR Triono Jasmono menyebutkan bahwa penerapan sistem tol elektronik (e-Toll) di jalan tol seluruh Indonesia masih menyebabkan kerugian sebesar Rp 4,4 triliun per tahun, hal ini karena masih ada antrean lebih kurang 5 detik saat pengguna jalan melakukan tapping kartu untuk pembayaran nontunai di gerbang tol. Menurut Triono (2022), sistem tersebut sudah diterapkan sejak tahun 2017 hingga sekarang. Meskipun sudah diatur agar antreannya berkurang maksimal 5 detik, tetap timbul kerugian, namun yang namanya antrian, tetap ada kerugian. Sekitar Rp.4,4 triliun per tahun, berdasarkan hasil studi dari World Bank pada tahun 2019, kemacetan di jalan yang terjadi di Indonesia cukup besar dan menyebabkan kerugian hingga Rp 56 triliun tiap tahunnya. Menurut Triono (2022) dari hasil studi World Bank tersebut, total kerugian di jalan tol Indonesia mencapai 8 persen dari total kerugian akibat kemacetan di seluruh jalan di Indonesia.

Karena kerugian inilah, Pemerintah Indonesia berpikir bagaimana cara mengurangi kemacetan dan mengupayakan antrean di jalan tol itu bisa dipangkas. Inilah yang membuat Kementerian PUPR melalui BPJT kemudian mencetuskan ide untuk menerapkan teknologi *Multi Lane Free Flow* (MLFF) atau teknologi nirsentuh.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Umum

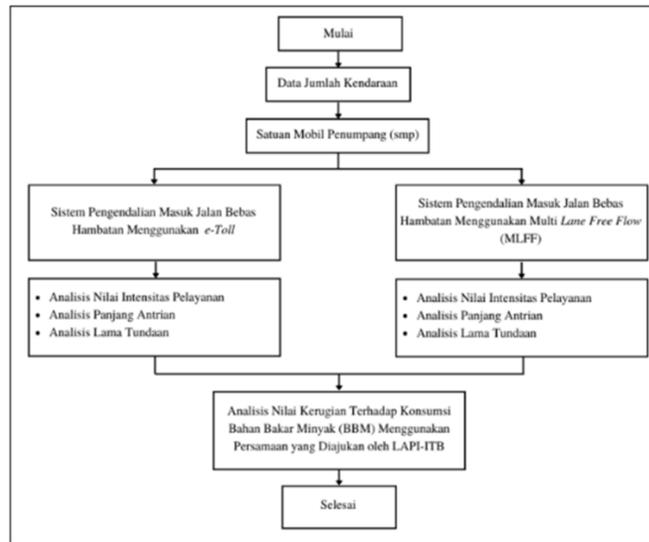
Penelitian dilakukan pada Gardu Tol Otomatis (GTO) Pasteur kota Bandung. Penetapan lokasi tersebut berdasarkan pengamatan secara visual dimana GTO Pasteur memiliki arus lalu-lintas yang padat dan memiliki variasi beban kendaraan yang beragam dan memiliki antrian yang cukup panjang baik arus lalu-lintas dari Jakarta menuju Bandung dan arus lalu-lintas dari Bandung menuju Jakarta yang disebabkan adanya pengendalian jalan masuk tol dengan menggunakan sistem tapping kartu e-Toll, walaupun pintu masuk ke kota Bandung bukan hanya melalui Pasteur, namun sepertinya mayoritas wisatawan yang datang menggunakan kendaraan pribadi memilih menggunakan pintu tol ini, mungkin karena jaraknya yang paling dekat atau akses yang mudah menuju kawasan keramaian di kawasan Bandung Utara maupun di pusat kota.

2.2 Tahapan Pengolahan dan Analisis Data

Setelah data primer dan sekunder terkumpul dengan lengkap yang telah diuraikan ke dalam formulir maka data-data tersebut disusun kedalam komputer dengan menggunakan Microsoft Excel sebagai *data base*. Untuk lebih jelasnya tahapan pengolahan data analisis data akan diuraikan pada gambar dibawah ini.

Adapun data-data yang analisis adalah sebagai berikut.

- a. Menghitung jumlah kendaraan
- b. Menghitung nilai intensitas pelayanan
- c. Menghitung rata-rata jumlah kendaraan dalam pelayanan (L_q)
- d. Menghitung rata-rata jumlah kendaraan dalam antrian (L)
- e. Menghitung rata-rata waktu kendaraan dalam pelayanan (W_q)
- f. Menghitung rata-rata waktu kendaraan dalam antrian (W)



Gambar 2.1 Bagan Alir Pengolahan dan Analisis Data

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Arus Lalu-lintas

Volume lalu-lintas dengan interval 15 menit ditotalkan dalam sejam kemudian dikalikan dengan nilai emp masing-masing jenis kendaraan (LV, MHV, LB, dan LT) sehingga arus lalu-lintas tersebut mendapatkan arus dalam smp/jam.

Survei volume arus lalu lintas dilakukan pada hari libur dan dilakukan pada jam puncak. Data untuk jam puncak pagi diambil pada pukul 07.00-08.00 WIB sampai dengan 08.00-09.00 WIB dengan interval waktu 15 menit selama 16 periode pengambilan data, dan data untuk jam puncak sore diambil pada pukul 17.00-18.00 WIB dengan interval waktu 15 menit selama 16 periode pengambilan data.

Berikut adalah salah satu contoh perhitungan total arus lalu-lintas per arah yang telah di konversi kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp) dari arah Kota Jakarta menuju Kota Bandung:

$$\begin{aligned}
 \text{Kendaraan Ringan (LV)} &= 2.526 \times 1 \\
 &= 2.526 \text{ smp/jam} \\
 \text{Kendaraan Menengah Berat (MHV)} &= 38 \times 1,4 \\
 &= 53,2 \text{ smp/jam} \\
 \text{Bus Besar (LB)} &= 9 \times 1,2 \\
 &= 10,8 \text{ smp/jam} \\
 \text{Truk Besar (LT)} &= 11 \times 2 \\
 &= 22 \text{ smp/jam} \\
 \text{Total Q smp/jam} &= 2.526 + 53,2 + 10,8 + 22 \\
 &= 2.612 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

Data volume arus lalu lintas yang melewati gerbang tol Pasteur pada hari Sabtu, 21 Januari 2023 dari arah Kota Jakarta menuju Kota Bandung dan dari arah Kota Bandung menuju Kota Jakarta tersebut ditampilkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Data Volume Arus Lalu Lintas

Waktu	Klasifikasi Kendaraan				emp				Total
	Jakarta-Bandung				Jakarta-Bandung				
	LV	MHV	LB	LT	LV	MHV	LB	LT	Q
					1	1,4	1,2	2	(smp/jam)
07.00-08.00	2.526	38	9	11	2.526	53,2	10,8	22	2.612
08.00-09.00	2.166	65	32	3	2.166	91	38,4	6	2.301
17.00.18.00	2.597	54	21	2	2.597	75,6	25,2	4	2.702
18.00-19.00	2.693	39	12	4	2.693	54,6	14,4	8	2.770
Waktu	Klasifikasi Kendaraan				emp				Total
	Bandung-Jakarta				Bandung-Jakarta				
	LV	MHV	LB	LT	LV	MHV	LB	LT	Q
					1	1,4	1,2	2	(smp/jam)
07.00-08.00	2.220	31	16	6	2.220	43,4	19,2	12	2.295
08.00-09.00	2.207	51	19	0	2.207	71,4	22,8	0	2.301
17.00.18.00	2.319	19	12	2	2.319	26,6	14,4	4	2.364
18.00-19.00	1.982	37	12	2	1.982	51,8	14,4	4	2.052

3.2 Analisis Penggunaan Sistem *e-Toll*

Analisis penggunaan sistem *e-Toll* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap penggunaan bahan bakar minyak yang dapat merugikan pengguna jalan bebas hambatan khususnya di jalan tol Pasteur. Sebagai contoh perhitungan mencari tingkat intensitas pelayanan (μ) pada ruas jalan tol Pasteur 2 pada hari Sabtu, 21 Januari 2023 pukul 07.00-08.00 WIB, berdasarkan hasil survey primer didapatkan data sebagai berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Kedatangan } (\lambda) &= 1.109 \text{ smp/jam} \\ \text{Rata-rata Waktu Transaksi (WT)} &= 13,56 \text{ detik} \\ \text{Tingkat Pelayanan } (\mu) &= \frac{3.600}{13,56} = 266 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

Berikut ini hasil analisis tingkat pelayanan (μ) pada gerbang tol Pasteur 1 dan Pasteur 2.

Tabel 3.2 Tingkat Pelayanan (μ)

No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	WT (detik)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)
		Jakarta-Bandung		Jakarta-Bandung
1	07.00-08.00	2.612	13,56	266
2	08.00-09.00	2.301	13,56	266
3	17.00.18.00	2.680	13,56	266
4	18.00-19.00	2.770	13,56	266
No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	WT (detik)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)
		Bandung-Jakarta		Bandung-Jakarta
1	07.00-08.00	2.295	7,32	492
2	08.00-09.00	2.301	7,32	492
3	17.00.18.00	2.364	7,32	492
4	18.00-19.00	2.052	7,32	492

Dengan tingkat kedatangan seperti pada **Tabel 3.2**, maka perlu dilakukan analisa intensitas pelayanan (ρ) terhadap tingkat kedatangan untuk mengetahui seberapa besar intensitas yang terjadi pada gardu tersebut. Sebagai contoh perhitungan mencari tingkat intensitas pelayanan (ρ) pada ruas jalan tol Pasteur 2 pada Sabtu, 21 Januari 2023 pukul 07.00-08.00 WIB, berdasarkan hasil survey primer didapatkan data sebagai berikut ini:

Tingkat Kedatangan (λ) = 2.612 smp/jam

Rata-rata Waktu Transaksi (WT) = 13,56\ detik

Tingkat Pelayanan (μ) = 266 smp/jam

Jumlah GTO (s) = 11 GTO

Tingkat intensitas pelayanan (ρ) adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} < 1$$

$$\rho = \frac{2.612}{(11.266)} = 0,89 < 1$$

Berikut ini hasil analisis intensitas pelayanan (ρ) pada gerbang tol Pasteur 1 dan Pasteur 2.

Tabel 3.3 Intensitas Pelayanan (ρ)

No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	Jumlah GTO	Tingkat Intensitas Pelayanan (ρ)
		Jakarta-Bandung	Jakarta-Bandung		
1	07.00-08.00	2.612	266	11	0,89
2	08.00-09.00	2.301	266	11	0,79
3	17.00.18.00	2.680	266	11	0,92
4	18.00-19.00	2.770	266	11	0,95
No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	Jumlah GTO	Tingkat Intensitas Pelayanan (ρ)
		Jakarta-Bandung	Jakarta-Bandung		
1	07.00-08.00	2.295	492	6	0,78
2	08.00-09.00	2.301	492	6	0,78
3	17.00.18.00	2.364	492	6	0,80
4	18.00-19.00	2.052	492	6	0,70

3.2.1 Analisis Panjang Antrian

Analisis antrian pada Gerbang Tol Pasteur menggunakan pendekatan stasiun berganda. Dengan menggunakan headway = 5,3 detik, kecepatan rata-rata = 5 km/jam, maka didapat spacing sebesar 7,42 m/smp. namun sebelum menganalisis panjang antrian, perlu melakukan analisis probabilitas tidak ada kedatangan dalam sistem (P_0) yang berpengaruh terhadap panjang antrian yang akan terjadi. Sebagai contoh perhitungan mencari jumlah probabilitas tidak ada kedatangan dalam sistem (P_0) pada ruas jalan tol Pasteur untuk siklus pertama hari Sabtu, 21 Januari 2023

pukul 07.00 sampai 08.00 WIB dari arah Kota Jakarta menuju Kota Bandung, berdasarkan hasil survey primer didapatkan data sebagai berikut ini:

Tingkat Kedatangan (λ) = 2.612 smp/jam
 Tingkat Pelayanan (μ) = 266 smp/jam
 Rata-rata Waktu Transaksi (WT) = 13,56 detik

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{11-1} \left(\frac{\lambda^n}{n!} \right) \right] + \left[\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^S \frac{1}{S!} \right] \frac{1}{1 - \frac{\lambda}{S\mu}}$$

$$= \frac{1}{\left[\left(\frac{2.612^0}{0!} \right) + \dots + n + \left[\left(\frac{2.612^{11}}{11!} \right) \frac{1}{1 - \frac{2.612}{11(266)}} \right] \right]}$$

$$= \frac{1}{1 + \dots + n + [2.086(9,441)]}$$

$$P_0 = 0,000032 = 0,032\%$$

Berikut ini hasil analisis probabilitas tidak ada kedatangan dalam sistem (P_0) pada gerbang tol Pasteur 1 dan Pasteur 2.

Tabel 3.4 Probabilitas Tidak Ada Kedatangan Dalam Sistem (P_0)

No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Jumlah GTO	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	P_0
		Jakarta-Bandung		Jakarta-Bandung	Jakarta-Bandung
1	07.00-08.00	2.612	11	266	0,000032
2	08.00-09.00	2.301	11	266	0,000148
3	17.00.18.00	2.680	11	266	0,000021
4	18.00-19.00	2.770	11	266	0,000011
No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Jumlah GTO	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	P_0
		Bandung-Jakarta		Bandung-Jakarta	Bandung-Jakarta
1	07.00-08.00	2.295	6	492	0,0073
2	08.00-09.00	2.301	6	492	0,0072
3	17.00.18.00	2.364	6	492	0,0060
4	18.00-19.00	2.052	6	492	0,0137

Dengan adanya analisis probabilitas tidak ada kedatangan dalam sistem (P_0) tersebut memberikan informasi tentang seberapa besar probabilitas tidak ada kedatangan dalam sistem yang ada pada setiap Gerbang Tol Otomatis (GTO) yang diakibatkan sistem pengendalian masuk menggunakan *Electronic Toll Collection (e-Toll)*, sehingga dapat dilanjutkan dalam menganalisis rata-rata jumlah kendaraan yang menunggu dilayani (L_q) dan rata-rata jumlah kendaraan didalam antrian (L). Sebagai contoh rata-rata jumlah kendaraan yang menunggu dilayani (L_q) dan rata-rata jumlah

kendaraan dalam antrian (L) pada ruas jalan tol Pasteur untuk siklus pertama hari Sabtu, 21 Januari 2023 pukul 07.00 sampai 08.00 WIB dari arah Kota Jakarta menuju Kota Bandung, berdasarkan hasil survey primer didapatkan data sebagai berikut ini.

$$\text{Tingkat Kedatangan } (\lambda) = 2.612 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Tingkat Pelayanan } (\mu) = 266 \text{ smp/jam}$$

Rata-rata jumlah kendaraan menunggu dilayani (L_q) adalah sebagai berikut:

$$L_q = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 \rho}{s!(1-\rho)^2}$$

$$L_q = \frac{0,000032 \left(\frac{2.612}{266}\right)^{11} 0,89}{11!(1-0,89)^2}$$

$$L_q = 5 \text{ smp}$$

Rata-rata jumlah kendaraan dalam antrian (L) adalah sebagai berikut:

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$L = 5,4 + \frac{2.612}{266}$$

$$L = 15 \text{ smp}$$

$$\text{Panjang Antrian} = (L_q + L) \times \text{spacing}$$

$$= (5+15) \times 7,42$$

$$= 153 \text{ m}$$

Berikut ini hasil analisis panjang antrian pada gerbang tol Pasteur 1 dan Pasteur 2

Tabel 3.5 Panjang Antrian

Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	Total Kendaraan Dalam Antrian (smp)	Antrian (m)
Jakarta-Bandung				
07.00-08.00	2.612	266	21	153
08.00-09.00	2.301	266	11	84
17.00.18.00	2.680	266	31	231
18.00-19.00	2.770	266	40	297
Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	Rata-rata Jumlah Kendaraan Dalam Antrian (L) (smp)	Antrian (m)
Bandung-Jakarta				
07.00-08.00	2.295	492	8	59
08.00-09.00	2.301	492	8	60
17.00.18.00	2.364	492	9	67
18.00-19.00	2.052	492	6	42

3.2.2 Analisis Tundaan

Analisis tundaan (*delay*) dilakukan untuk mencari berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk melewati Gerbang Tol Otomatis. Jenis tundaan (*delay*) yang diambil datanya adalah stopped delay kendaraan, yaitu selisih waktu antara kendaraan paling depan (dalam sistem pelayanan) dengan kendaraan paling belakang. Sebagai contoh perhitungan menganalisis rata-

rata waktu kendaraan yang menunggu dilayani (Wq) pada ruas jalan tol Pasteur 2 berdasarkan hasil survey primer didapatkan data sebagai berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Kedatangan } (\lambda) &= 2.612 \text{ smp/jam} \\ \text{Tingkat Pelayanan } (\mu) &= 266 \text{ smp/jam} \\ \text{Rata-rata kendaraan dalam pelayanan } (Wq) &\text{ adalah sebagai berikut:} \\ Wq &= \frac{Lq}{\lambda} \times 3.600 \\ Wq &= 7 \text{ detik} \\ \text{Rata-rata kendaraan dalam antrian } (W) &\text{ adalah sebagai berikut:} \\ W &= \frac{15}{2.612} \\ W &= 21 \text{ detik} \\ \text{Total waktu tundaan} &= Wq + W \\ &= 7 + 21 \\ &= 28 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berikut ini hasil analisis tundaan pada gerbang tol Pasteur 1 dan Pasteur 2.

Tabel 3.6 Data Lama Tundaan Kendaraan (w)

No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	Tundaan (detik)
Jakarta-Bandung				
1	07.00-08.00	2.612	266	28
2	08.00-09.00	2.301	266	18
3	17.00.18.00	2.680	266	41
4	18.00-19.00	2.770	266	52
Bandung-Jakarta				
No.	Waktu	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Tingkat Pelayanan (μ) (smp/jam)	Tundaan (detik)
1	07.00-08.00	2.295	492	13
2	08.00-09.00	2.301	492	13
3	17.00.18.00	2.364	492	14
4	18.00-19.00	2.052	492	10

3.3 Analisis Konsumsi Bahan Bakar Penggunaan *e-Toll*

Analisis konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) ini didasarkan pada lama kendaraan yang mengalami tundaan (*stopped delay*), nantinya data tersebut dimasukkan ke dalam rumus yang didapat dari LAPI-ITB (1996) khususnya pada saat *idle* (diam) sehingga akan diperoleh jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang terbuang selama kendaraan tersebut mengalami tundaan akibat adanya tapping kartu *e-Toll*. Konsumsi bahan bakar minyak didapat dari konstanta yang diperoleh dari LAPI-ITB (1996) dikali lama tundaan yang dialami kendaraan dalam satuan detik, semakin lama kendaraan tersebut mengalami tundaan maka semakin banyak bahan bakar minyak yang dikonsumsi secara tidak optimal atau terbuang percuma. Besarnya konsumsi bahan bakar

pada hari Sabtu, 21 Januari 2023 dari arah Kota Jakarta menuju Kota Bandung dan dari arah Kota Bandung menuju Kota Jakarta jalan tol Pasteur dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.7 Konsumsi Bahan Bakar (BMM)

Waktu	Tundaan (detik)	Konsumsi BBM (F3) (liter/smp)	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Total Konsumsi BBM (liter)
	Jkt-Bdg	Jk-Bdg		
07.00-08.00	28	0,397	2.612	1.037
08.00-09.00	18	0,249	2.301	572
17.00.18.00	41	0,580	2.702	1.568
18.00-19.00	52	0,729	2.770	2.021
Total				5.198
Waktu	Tundaan (w) (detik)	Konsumsi BBM (F) (liter/smp)	Tingkat Kedatangan (λ) (smp/jam)	Total Konsumsi BBM (liter)
	Jkt-Bdg	Jk-Bdg		
07.00-08.00	13	0,175	2.295	402
08.00-09.00	13	0,177	2.301	406
17.00.18.00	14	0,192	2.364	453
18.00-19.00	10	0,139	2.052	286
Total				1.548

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis perbandingan penggunaan *e-Toll* dengan *Multi Lane Free Flow* (MLFF), maka didapatkan beberapa hasil kesimpulan sebagai berikut ini.

- Durasi pengendalian jalan masuk bebas hambatan Pasteur 2 dengan menggunakan sistem e-Toll dihari Sabtu, 21 Januari 2023 pada jam 07.00-09.00 WIB dan 17.00-19.00 WIB arus lalu-lintas dari Kota Jakarta menuju Kota Bandung total tundaan adalah sebesar 140 detik dengan total tingkat kedatangan kendaraan adalah 10.385 smp, dan total panjang antrian sebesar 765 meter. Durasi pengendalian jalan masuk bebas hambatan Pasteur 2 dengan menggunakan sistem e-Toll dihari Sabtu, 21 Januari 2023 pada jam 07.00-09.00 WIB dan 17.00-19.00 WIB arus lalu-lintas dari Kota Bandung menuju Jakarta total tundaan adalah sebesar 49 detik dengan total tingkat kedatangan kendaraan adalah 9.012 smp, dan total panjang antrian sebesar 228 meter
- Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BMM) dihari Sabtu, 21 Januari 2023 pada arus lalu-lintas dari Kota Jakarta menuju Kota Bandung akibat tundaan yang terjadi karena adanya sistem pengendalian masuk menggunakan tapping kartu e-Toll adalah sebesar 5.198 liter dalam sehari dan konsumsi Bahan Bakar Minyak (BMM) dihari Sabtu, 21 Januari 2023 pada arus

lalu-lintas dari Kota Bandung menuju Kota Jakarta akibat tundaan yang terjadi karena adanya sistem pengendalian masuk menggunakan tapping kartu e-Toll adalah sebesar 1.548 liter dalam sehari. Penggunaan sistem Multi Lane Free Flow (MLFF) tidak memiliki tundaan dan antrian sama sekali sehingga tidak adanya kerugian yang diakibatkan sistem MLFF terhadap Bahan Bakar Minyak (BBM).

- c. Penggunaan sistem Multi Lane Free Flow (MLFF) untuk pengendalian jalan masuk di gerbang tol Pasteur 1 dan Pasteur 2 efektif jika ditinjau terhadap konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM).

DAFTAR PUSTAKA

- Anthara, M. A. (2014). Analisis sistem antrian gerbang tol pasteur bandung di pt jasa marga (persero) tbk. *Majalah Ilmiah UNIKOM*, 12(1).
- Aminah, S. (2018). Transportasi Publik dan Aksesibilitas Masyarakat Perkotaan. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 1142-1155.
- Bahan Bakar Minyak. Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang
- Departemen Pekerjaan Umum. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Direktorat Jendral Bina Marga, Direktorat Bina Jalan Kota.
- Fransico, R., & Arifitama, B. Sistem Antrian Transportasi Publik Light Rail Transit Berbasis Android. Hadis, Christmas Samodra. 2013. Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar
- Isnaeni, M. (2003). Efek Lingkungan Interaksi Transportasi dan Tata Ruang Kota. Tesis, S2 Magister Rekayasa Transportasi, ITB, Bandung
- Julianto, Eko Nugroho. 2007. Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Simpang Bangkong dan Simpang Milo Semarang Berdasarkan Konsumsi
- Khafidz, Lukman. 2015. Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak Pada Lajur Pendekat Simpang. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Kristy dan Hall. (1990). Pendekatan Average Travel Speed Model. Inggris
- Lalenoh, R. H., Sendow, T. K., & Jansen, F. (2015). Analisa Kapasitas Ruas Jalan Sam Ratulangi Dengan Metode MKJI 1997 Dan PKJI 2014. *Jurnal Sipil Statik*, 3(11).
- Lembaga Afiliasi dan Penerapan Industri ITB bekerjasama dengan PT. Jasa Marga. 1996. Laporan Akhir Studi Perhitungan Biaya Operasi Kendaraan. Bandung. Indonesia.
- Mulyani, S., Sukmariningsih, R. M., & Lestari, A. L. T. W. (2022). Konstruksi Pengaturan Hak Konsesi Dan E-Toll Dalam Perspektif Jaminan Fidusia Terhadap Pembangunan Jalan Tol. *JURNAL USM LAW REVIEW*, 5(1), 412-427.
- Muttaqin, M. Zaenal. (2014). Pengaruh Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Minyak Akibat Penutupan Pintu Perlintasan Kereta Api. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Morlok, E. K., & Hainim, J. K. (1985). Pengantar teknik dan perencanaan transportasi. Erlangga.
- Salter, R. J. (1996). *Highway traffic analysis and design*. Macmillan International Higher Education.
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Edisi II. Bandung: Penerbit ITB.