

# Perencanaan Gerbang Tol Kertosono - Kediri

Yohanes Eric Delano, Hera Widyastuti, dan Anak Agung Gde Kartika  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: hera@ce.its.ac.id

**Abstrak**— Penambahan volume kendaraan merupakan sumber utama dari masalah kemacetan di Indonesia. Salah satu cara yang paling efektif dalam mengatasi permasalahan ini yaitu dengan membangun jalan tol. Jalan tol adalah suatu jalan bebas hambatan yang dikhususkan untuk kendaraan roda 4 (empat) atau lebih dimana pengguna jalan tersebut dikenakan kewajiban membayar tarif (*toll*) sesuai dengan jarak yang ditempuh dan golongan kendaraan yang ia kendarai. Namun dalam suatu sistem jaringan jalan tol sering terjadi kemacetan dan antrian panjang dimana salah satunya disebabkan oleh perencanaan gerbang tol yang kurang optimum. Perencanaan gerbang tol ini menggunakan metode *Multi Channel Single Phase* sebagai struktur dasar proses antrian dan menggunakan disiplin antrian *First In First Out* (FIFO). Untuk perencanaan gerbang tol menggunakan gardu tol dengan sistem gerbang tol otomatis (GTO), *on board unit* (OBU), dan *multi lane free flow* (MLFF). Perencanaan gerbang tol Kertosono - Kediri ini merencanakan gerbang tol untuk tahun 2021 dan 2026. Perencanaan ini diharapkan dapat menentukan jumlah gerbang tol yang optimum dari segi tingkat pelayanan dan panjang antrian. Hasil yang didapat adalah sebagai berikut. Pada perencanaan gerbang tol Kertosono tahun 2021, terdapat 1 unit GTO khusus golongan I, 1 unit GTO campuran, dan 1 unit gardu tol OBU untuk arah masuk maupun keluar. Pada perencanaan gerbang tol Papar tahun 2021, terdapat 1 unit GTO khusus golongan I, 2 unit GTO campuran, dan 1 unit gardu tol OBU untuk arah masuk maupun keluar. Pada perencanaan gerbang tol Kediri tahun 2021, terdapat 1 unit GTO khusus golongan I, 1 unit GTO campuran, dan 1 unit gardu tol OBU untuk arah masuk maupun keluar. Pada tahun 2026, ada penambahan jumlah gardu tol pada masing masing gerbang tol akibat dari pertumbuhan jumlah kendaraan dari perencanaan sebelumnya pada tahun 2021.

**Kata Kunci**—Gerbang Tol Kertosono – Kediri, Gerbang Tol yang Optimum, Gardu Tol Otomatis (GTO), Gardu Tol On Board Unit (OBU), Perencanaan Gerbang Tol.

## I. PENDAHULUAN

JALAN tol menurut Undang Undang No.38 Tahun 2004 adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar sejumlah tarif yang berlaku (*toll*) [1]. Jalan tol menghubungkan kota kota yang dilaluinya dengan akses minim atau bahkan bebas hambatan. Tentunya hal ini akan mempercepat akses menuju kota kota yang dilalui oleh jalan tol tersebut.

Struktur ekonomi Indonesia pada Triwulan III tahun 2020 didominasi oleh kelompok provinsi di Pulau Jawa. Kelompok provinsi di Pulau Jawa memberikan kontribusi terbesar terhadap PDB Indonesia, yakni sebesar 58,88 persen [2]. Hal ini menjadikan Pulau Jawa sebagai pusat pemerintahan dan pusat perekonomian Indonesia. Dan salah satu provinsi yang menunjang perokonomian di Pulau Jawa adalah Provinsi Jawa Timur. Jawa Timur merupakan sebuah provinsi yang ada di Pulau Jawa dengan perekonomian pada Triwulan III tahun 2020 yang diukur berdasarkan Produk Domestik

Regional Bruto (PDRB) atas dasar harga berlaku mencapai Rp 587,54 triliun, sedangkan PDRB atas dasar harga konstan mencapai Rp 409,11 triliun. Ekonomi Jawa Timur Triwulan III tahun 2020 tumbuh sebesar 3,75 persen secara kuartal ke kuartal [3].

Jalan Tol Trans Jawa adalah jaringan jalan tol yang menghubungkan kota-kota besar di pulau Jawa. Jalan tol ini menghubungkan dua kota terbesar di Indonesia, yaitu Jakarta dan Surabaya. Jalan tol ini membentang dari ujung Barat pulau Jawa di Merak hingga ujung Timur di Banyuwangi. Salah satu ruas Jalan Tol Trans Jawa yang masuk dalam salah satu Proyek Strategis Nasional adalah ruas Jalan Tol Kertosono - Kediri. Jalan Tol Kertosono - Kediri berada dalam naungan PT. Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri.

Dalam jurnal milik Prasetyo, H. disebutkan bahwa jalan tol Kertosono – Kediri memiliki 11 lengkung horizontal dan 15 lengkung vertikal. Tebal lapisan perkerasan kaku 285 mm pada badan jalan dan 265 mm pada bahu jalan dengan lapisan tambahan pada keduanya yaitu lapisan beton kurus (LMC) 100 mm, lapisan drainase 150 mm, dan lapisan stabilisasi semen 300 mm. Total anggaran biaya untuk pembangunan jalan tol ini sebesar Rp 428.076.783.131 [4].

Dalam perencanaannya, jalan tol sudah didesain bebas hambatan. Tapi pada kenyataannya, masih dapat dijumpai kemacetan di gerbang tol. Hal ini bisa terjadi karena beberapa hal, diantaranya adalah tidak seimbangny jumlah gardu tol yang beroperasi dengan jumlah kendaraan yang akan melewati gerbang tol dan meningkatnya jumlah kendaraan yang memasuki jalan tol. Oleh karena itu, pembangunan jalan tol memerlukan perencanaan gerbang tol yang matang dan optimal agar jalan Tol Kertosono - Kediri dapat berfungsi dengan maksimal sebagai jalan bebas hambatan.

Dengan melihat permasalahan yang sudah dijelaskan di atas, pengerjaan jurnal ini bertujuan untuk merencanakan jumlah gardu tol yang akan dioperasikan pada gerbang tol Kertosono - Kediri.

### A. Tujuan

Tujuan yang akan dibahas adalah mengetahui volume kendaraan rencana yang akan memasuki tiap gerbang tol pada Jalan Tol Kertosono - Kediri tahun 2021 dan 2026, mengetahui jumlah gardu tol pada tahun 2021 apabila gerbang tol direncanakan dengan sistem gardu tol otomatis dan sistem *on board unit* (OBU), mengetahui jumlah gardu tol pada tahun 2026 apabila gerbang tol direncanakan dengan sistem gardu tol otomatis dan sistem *single lane free flow* (SLFF) dan mengetahui kapasitas ruas jalan tol dengan sistem MLFF jika sistem MLFF jadi diterapkan di Indonesia.

### B. Lokasi Studi

Lokasi yang ditinjau sebagai bahan studi adalah trase jalan tol yang dikeluarkan oleh PT. Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri dengan panjang 20,3 km. Trase ini direncanakan mulai



Gambar 1. Trase Jalan Tol Kertosono – Kediri yang Dikeluarkan oleh PT. Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri.

dari Jalan Tol Ngawi – Kertosono dan berakhir di Jalan Raya Maron, Kab. Kediri. Trase jalan tol ini tertera pada Gambar 1.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Studi Literatur

Tahap studi literatur adalah tahap dimana penyusun mencari dan mempelajari literatur - literatur yang dapat menjadi acuan dan menunjang penyusunan jurnal ini. Literatur - literatur yang dimaksud dapat berupa jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, peraturan – peraturan terkait topik bahasan yang diangkat oleh penyusun, modul atau buku ajar, studi terdahulu dengan topik pembahasan serupa yang telah disusun dengan baik, dan lain sebagainya. Diagram alir metodologi dapat dilihat pada Gambar 2.

### B. Survei dan Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan terdiri dari 2 (dua) jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer (survei ke lapangan) berupa waktu pelayanan untuk masing – masing jenis gardu tol. Untuk data sekunder (dapat diminta dari instansi terkait) berupa trase jalan tol, lokasi gerbang tol, dan volume lalu lintas jalan tol rencana yang didapat dari PT. Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri.

### C. Analisis Data

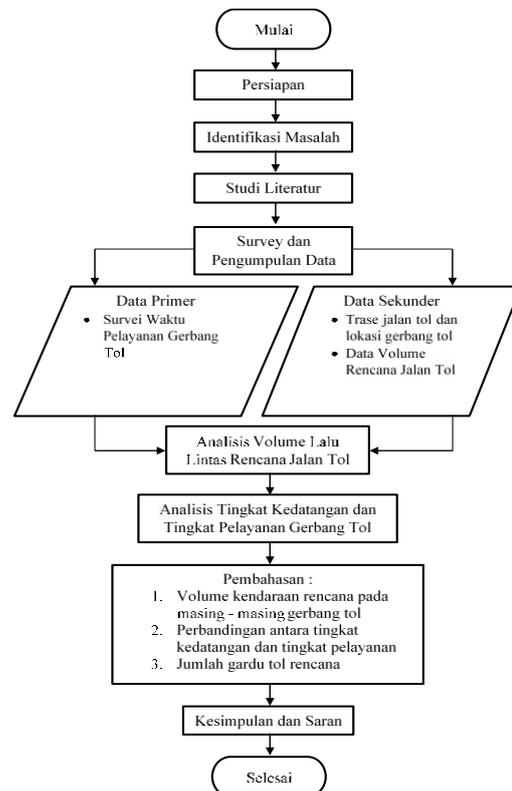
Tahap analisis data adalah tahap pengolahan data yang sudah dikumpulkan. Data yang telah diolah digunakan untuk menganalisis objek penelitian. Data yang sudah dikumpulkan digunakan untuk menganalisis intensitas lalu lintas, tingkat kedatangan, panjang antrian, dan lain sebagainya.

### D. Analisis Waktu Pelayanan

Setelah melakukan survei waktu pelayanan di Gerbang Tol Dupak 3 untuk GTO dan GTO khusus golongan I serta pada Gerbang Tol Pondok Pinang untuk gardu OBU, selanjutnya adalah melakukan analisis waktu pelayanan. Analisis waktu pelayanan menggunakan frekuensi kendaraan tiap golongan yang melintas sehingga mendapatkan frekuensi kumulatif dan persentase kumulatif tiap waktu pelayanan masing – masing golongan.

### E. Analisis Volume Kendaraan

Data mentah volume kendaraan rencana yang telah didapat dari PT. JNKK kemudian diolah menggunakan matriks asal



Gambar 2. Diagram alir metodologi.

tujuan metode *furness* dikombinasikan dengan *sum of square error* untuk mengetahui jumlah kendaraan yang akan melalui tiap ruas tol.

### F. Analisis Tingkat Kedatangan

Matriks asal tujuan yang telah didapat kemudian diolah untuk mendapatkan matriks asal tujuan arus jam puncak dengan cara mengalikan matriks asal tujuan yang telah kita dapat dengan faktor k seperti yang terdapat pada PKJI 2014 tentang kapasitas jalan bebas hambatan [5] yang tertera pada persamaan berikut :

$$qjp = k \times LHRT \tag{1}$$

Dimana :

$qjp$  = arus lalu lintas puncak (kend/jam)

$k$  = faktor pengubah LHRT menjadi arus lalu lintas puncak (0,11 menurut PKJI 2014)

$LHRT$  = lalu lintas harian rata – rata

### G. Analisis Jumlah Gardu Tol

Setelah dilakukan analisis tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan untuk tiap jenis gardu tiap – tiap gerbang tol, selanjutnya menghitung intensitas lalu lintas gerbang tol. Jumlah gardu tol rencana (N) merupakan asumsi yang perlu dikontrol menggunakan perbandingan dari hasil tingkat pelayanan ( $\mu$ ) dan tingkat kedatangan ( $\lambda$ ).

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

Dari persamaan (2), dapat diketahui jumlah gardu tol yang diperlukan (N). Nilai  $\rho$  harus selalu lebih kecil dari satu. Jika nilai  $\rho > 1$ , hal ini berarti tingkat kedatangan lebih besar daripada tingkat pelayanan sehingga dapat dipastikan akan terjadi antrian pada gerbang tol yang akan terus bertambah panjang.

Tabel 1.  
Proyeksi lalu lintas harian jalan tol rencana

Ruas	Tahun	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V	Jumlah
Kertosono - Papar	2017	2755	490	688	282	304	4519
	2022	4622	822	1155	473	509	7581
	2027	7753	1378	1937	793	855	12716
Papar - Kediri	2017	2777	420	551	223	679	4650
	2022	4659	705	924	374	1139	7801
	2027	7815	1182	1551	628	1910	13086

Tabel 2.

Volume lalu lintas jalan tol Kertosono – Kediri untuk dua arah 2021

Golongan	Kertosono - Papar	Papar - Kediri
Gol I	2084	2101
Gol II	371	318
Gol III	521	417
Gol IV	214	169
Gol V	230	514

H. Analisis Antrian pada Gerbang Tol

Analisis antrian pada gerbang tol dilakukan untuk mengetahui panjang antrian dan waktu antrian pada perencanaan gerbang tol Kertosono – Kediri. Metode yang digunakan pada analisis antrian ini adalah disiplin antrian *first in first out* (FIFO) [6]. Berikut adalah rumus – rumus dari disiplin antrian FIFO :

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

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

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

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

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

III. ANALISIS DATA DAN HASIL PEMBAHASAN

A. Data Primer

Data primer yang diambil berupa waktu pelayanan untuk tiap jenis gardu tol. Waktu pelayanan gardu tol otomatis (GTO) baik GTO campuran maupun GTO khusus golongan I diambil di Gerbang Tol Dupak 3, sedangkan waktu pelayanan gardu tol *on board unit* OBU diambil di Gerbang Tol Pondok Pinang.

Tabel 3.  
Hasil matriks asal tujuan golongan I

	Kertosono	Papar	Kediri
Kertosono	0	2084	21
Papar	2084	0	2080
Kediri	21	2080	0

Tabel 4.

Hasil matriks asal tujuan arus jam puncak golongan I

	Kertosono	Papar	Kediri
Kertosono	0	230	3
Papar	230	0	229
Kediri	3	229	0

B. Data Sekunder

Data sekunder yang diambil berupa trase jalan tol rencana, lokasi rencana gerbang tol, dan volume rencana jalan tol. Ketiga data ini didapat dari PT. JNKK yang merupakan perencana dari jalan tol Ngawi – Kertosono, termasuk ruas Kertosono - Kediri.

C. Analisis Volume Kendaraan

Pada Tabel 1, data yang didapat dari PT. JNKK berupa proyeksi volume kendaraan harian dengan rentang waktu 5 tahun dan tingkat pertumbuhan volume kendaraan sebesar 10,9% per tahun dimulai dari tahun 2017.

Untuk mendapatkan data proyeksi volume kendaraan untuk tahun 2021, caranya adalah dengan mengalikan proyeksi kendaraan pada tahun 2017 dengan faktor pertumbuhan kendaraan per tahun sebanyak 4 kali. Begitu juga untuk tahun 2026, hanya saja yang dikalikan adalah data yang tahun 2022.

$$V_R = V \times (1 + 10,9\%)^n \tag{7}$$

Dimana :

- $V_R$  = volume rencana pada tahun tertentu (kend/hari)
- $V$  = volume yang diketahui dari data (kend/hari)
- $n$  = selisih tahun antara  $V_R$  dengan  $V$

Contoh perhitungan untuk  $V_R$  tahun 2021 ruas Kertosono – Papar golongan I adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} VR_{2021} &= V_{2017} \times (1 + 0,109)^4 \\ &= 2755 \times (1 + 0,109)^4 \\ &= 4167,23 \approx 4168 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

Karena data yang didapat masih berupa data 2 arah, maka perlu dibagi 2 lagi untuk mendapat data 1 arah. Jadi,  $V_R$  2021 untuk satu arah =  $4168/2 = 2084$  kendaraan/hari. Hasil perhitungan volume lalu lintas tol Kertosono-Kediri untuk dua arah tertera pada Tabel 2.

D. Analisis Matriks Asal Tujuan

Perhitungan matriks asal tujuan akan menggunakan dua metode perhitungan, yaitu metode *furness* yang dikombinasikan oleh *metode sum of square error*. Metode *sum of square error* yang akan digunakan adalah pengukuran perbedaan antara volume hasil matriks yang diperoleh dengan volume kendaraan yang telah ditentukan sebelumnya dengan

Tabel 5.  
Distribusi kendaraan golongan I

Zona		Golongan I		
Asal	Tujuan	Kertosono	Papar	Kediri
Kertosono	Papar	230	230	
Kertosono	Kediri	3		3
Papar	Kediri		229	229
Papar	Kertosono	230	230	
Kediri	Papar		229	229
Kediri	Kertosono	3		3

Tabel 6.  
Jumlah kendaraan masuk dan keluar tiap gerbang

Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Tiap Gerbang			
Golongan	Kertosono	Papar	Kediri
I	233	459	232
II	42	76	36
III	59	104	47
IV	25	43	20
V	27	83	58
Total	386	765	393

cara perbandingan selisih kuadrat total volume kendaraan. Matriks asal tujuan ini akan memberikan output berupa jumlah kendaraan yang akan melalui tiap ruas jalan tol. Hasil matriks asal tujuan golongan I dapat dilihat pada Tabel 3.

E. Analisis Tingkat Kedatangan

Matriks asal tujuan yang telah didapat merupakan data lalu lintas harian berdasarkan asal dan tujuan kendaraan. Matriks asal tujuan ini perlu dikalikan dengan faktor k untuk mendapat matriks arus jam puncak. Faktor k yaitu faktor pengubah LHRT menjadi arus jam puncak. Mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014 [5], maka digunakan faktor k sebesar 0,11. Berikut adalah hasil matriks asal tujuan arus jam puncak yang telah dikalikan dengan faktor k (k = 0,11). Hasil tersebut tertera pada Tabel 4. Berikut adalah contoh perhitungannya :

$$Q_{jp} = 2084 \text{ kend/hari} \times 0,11 = 230 \text{ kend/jam}$$

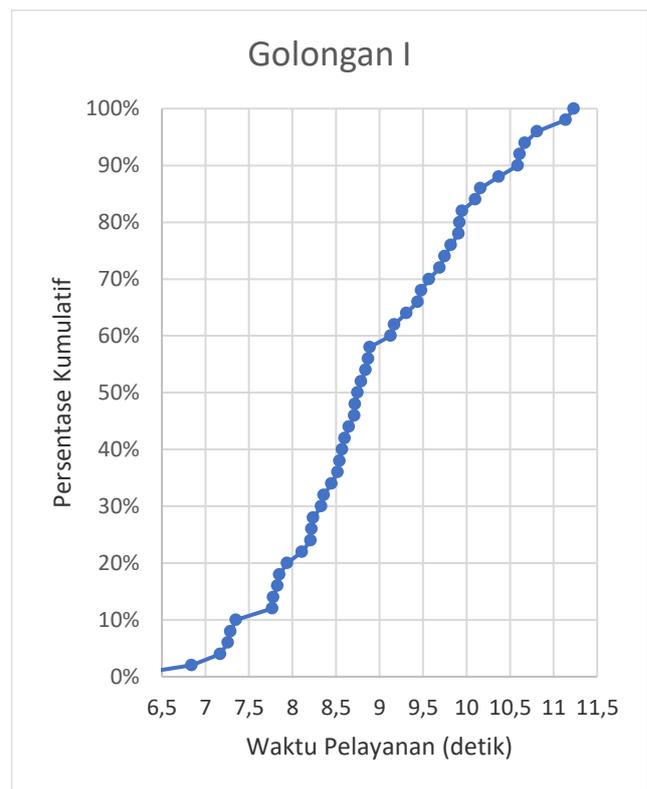
$$Q_{jp} = 21 \text{ kend/hari} \times 0,11 = 3 \text{ kend/jam}$$

$$Q_{jp} = 2080 \text{ kend/hari} \times 0,11 = 229 \text{ kend/jam}$$

F. Analisis Distribusi Kendaraan

Setelah didapat matriks arus jam puncak, langkah selanjutnya adalah melakukan distribusi kendaraan masing – masing golongan ke setiap gerbang tol. Hal ini untuk mengetahui jumlah kendaraan yang masuk dan keluar di tiap gerbang Jalan Tol Kertosono – Kediri. Distribusi kendaraan ini dilakukan untuk semua golongan kendaraan.

Hal ini dilakukan dengan cara membuat kolom zona asal dan zona tujuan untuk kemudian diisi dengan jumlah kendaraan yang melintas ruas jalan tol tersebut. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut. Kendaraan dari gerbang Kertosono menuju gerbang Papar berjumlah 230



Gambar 3. Grafik frekuensi kumulatif GTO campuran golongan I.

kendaraan. Ini berarti kendaraan yang memasuki gerbang Kertosono ada 230 kendaraan dan yang keluar di gerbang Papar ada 230 kendaraan. Contoh pengerjaan distribusi kendaraan dapat dilihat pada Tabel 5.

G. Analisis Jumlah Kendaraan Masuk dan Keluar Gerbang Tol

Setelah perhitungan distribusi kendaraan ke tiap gerbang tol dilakukannya, selanjutnya adalah analisis jumlah kendaraan yang masuk dan keluar gerbang tol. Analisis jumlah kendaraan yang masuk dan keluar gerbang tol merupakan penjumlahan dari distribusi kendaraan yang masuk dan keluar gerbang tol. Berikut adalah contoh perhitungan untuk kendaraan golongan I yang masuk dan keluar gerbang Kertosono.

Kendaraan yang masuk di gerbang Kertosono berjumlah 230 + 3 = 233 kendaraan, didapat dari hasil penjumlahan kendaraan yang masuk di zona asal Kertosono pada tabel distribusi kendaraan. Sedangkan kendaraan yang keluar di gerbang Kertosono berjumlah 230 + 3 = 233 kendaraan, didapat dari hasil penjumlahan kendaraan yang keluar di zona tujuan Kertosono pada tabel distribusi kendaraan. Tabel 6 merupakan tabel jumlah kendaraan masuk dan keluar untuk masing – masing gerbang tol.

H. Analisis Waktu Pelayanan

Dalam perencanaan konfigurasi gerbang tol Kertosono – Kediri, digunakan sistem gardu tol otomatis (GTO) dan gardu tol On Board Unit (OBU) sehingga perlu dilakukan analisis waktu pelayanan untuk setiap jenis gardu. Kemudian data waktu pelayanan tiap golongan diolah dan dihitung untuk mendapatkan frekuensi, frekuensi kumulatif, persentase frekuensi, dan persentase kumulatif. Berikut adalah contoh perhitungan waktu pelayanan untuk gardu tol otomatis (GTO) campuran kendaraan golongan I dan berikut adalah

Tabel 7.  
Volume lalu lintas jalan Tol Kertosono – Kediri untuk dua arah 2026

Golongan	Kertosono - Papar	Papar - Kediri
Gol I	3496	3524
Gol II	622	534
Gol III	874	699
Gol IV	358	283
Gol V	385	862

perhitungan untuk data pada Gambar 3 :

Rata – rata	= 8,9654
Median	= 8,77
Modus	= -
Persentase kumulatif (50%)	= 8,75
Persentase kumulatif (80%)	= 9,92
Waktu Pelayanan	= 8,75

Dalam menentukan waktu pelayanan untuk GTO khusus golongan 1, dilihat dari nilai rata – rata, persentase kumulatif 50%, dan persentase kumulatif 80%. Untuk menentukan waktu pelayanannya, nilai – nilai tersebut diperiksa dengan nilai median dan modus. Dalam hal ini, modus dari data waktu pelayanan tidak ada karena setiap kendaraan yang lewat memiliki waktu pelayanannya sendiri yang tidak sama antara satu dengan lainnya. Sehingga nilai medianlah yang akan dibandingkan dengan ketiga nilai diatas. Dan nilai yang lebih dekat dengan nilai median adalah nilai persentase kumulatif 50%. Sehingga waktu pelayanan yang dipakai adalah 8,75 detik. Dengan cara yang sama, maka didapat waktu pelayanan untuk masing – masing golongan kendaraan adalah sebagai berikut.

1. GTO khusus golongan I = 6,83 detik
2. GTO golongan I = 8,75 detik
3. GTO golongan II = 11,7 detik
4. GTO golongan III = 13,8952 detik
5. GTO golongan IV = 15,7496 detik
6. GTO golongan V = 16,72 detik
7. Gardu tol OBU = 6 detik

I. Analisis Tingkat Pelayanan

Perencanaan konfigurasi Gerbang Tol Kertosono – Kediri 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 didapat dan tingkat kedatangan dari masing – masing golongan kendaraan. Dalam perencanaan ini kendaraan golongan I menggunakan proporsi 50% masuk ke GTO khusus golongan I, 25% masuk ke GTO campuran, dan 25% masuk ke gardu tol OBU. Berikut merupakan contoh perhitungan tingkat pelayanan untuk gerbang tol Kertosono pada GTO campuran arah masuk pada tahun 2021. Berikut perhitungan tingkat pelayanan berdasarkan waktu pelayanan :

- |                 |                 |               |       |
|-----------------|-----------------|---------------|-------|
| 1. Golongan I   | = 8,75 detik    | →3600/8,75    | = 411 |
| 2. Golongan II  | = 11,7 detik    | →3600/11,7    | = 308 |
| 3. Golongan III | = 13,8952 detik | →3600/13,8952 | = 259 |
| 4. Golongan IV  | = 15,7496 detik | →3600/15,7496 | = 229 |
| 5. Golongan V   | = 16,72 detik   | →3600/16,72   | = 215 |

Berikut perhitungan tingkat pelayanan berdasarkan tingkat kedatangan :

1. Golongan I = 25% × 233 = 58 kendaraan/jam

2. Golongan II = 42 kendaraan/jam
3. Golongan III = 59 kendaraan/jam
4. Golongan IV = 25 kendaraan/jam
5. Golongan V = 27 kendaraan/jam

$$\mu = \frac{(58 \times 411) + (42 \times 308) + (59 \times 259) + (25 \times 229) + (27 \times 215)}{58 + 42 + 59 + 25 + 27}$$

$$= 302 \text{ kendaraan/jam}$$

J. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Untuk merencanakan intensitas gerbang tol Kertosono – Kediri, proporsi kendaraan golongan I yang masuk untuk setiap jenis gardu tol diambil sesuai dengan hasil yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Analisis tingkat pelayanan ( $\mu$ ) didesain menggunakan sistem gardu tol otomatis, GTO khusus golongan I, dan gardu *On Board Unit*. Sedangkan untuk kendaraan golongan II hingga golongan V hanya didesain menggunakan sistem gardu tol otomatis (GTO) saja. Contoh analisis intensitas lalu lintas pada gerbang tol Kertosono arah masuk dan keluar pada tahun 2021 dapat dilihat pada perhitungan berikut :

- Gerbang Tol Kertosono Arah Masuk dan Keluar
- |  |                     |
|--|---------------------|
| Jumlah (N) GTO khusus golongan I                 | = 1 gardu           |
| Jumlah (N) GTO campuran                          | = 1 gardu           |
| Jumlah (N) gardu tol OBU                         | = 1 gardu           |
| $\lambda_1$ GTO khusus golongan I = 50% × 233    | = 117               |
| $\lambda_2$ GTO campuran = 25% × 233+42+59+25+27 | = 211               |
| $\lambda_3$ gardu tol OBU = 25% × 233            | = 58                |
| $\mu_1$ GTO khusus golongan I                    | = 527 kendaraan/jam |
| $\mu_2$ GTO campuran                             | = 302 kendaraan/jam |
| $\mu_3$ gardu tol OBU                            | = 600 kendaraan/jam |

1) GTO Khusus Golongan I

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1 / N_1}{\mu_1} = \frac{117 / 1}{527} = 0,221 < 1 \text{ (OK)}$$

2) GTO Campuran

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2 / N_2}{\mu_2} = \frac{211 / 1}{302} = 0,701 < 1 \text{ (OK)}$$

3) Gardu Tol OBU

$$\rho_3 = \frac{\lambda_3 / N_3}{\mu_3} = \frac{58 / 1}{600} = 0,097 < 1 \text{ (OK)}$$

Dari perhitungan dan analisis diatas, didapat nilai  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ , dan  $\rho_3 < 1$ . Maka intensitas lalu lintas pada gerbang tol Kertosono arah masuk dan keluar aman. Dari perhitungan dan analisis di atas, maka didapat jumlah GTO khusus golongan I sebanyak 1 gardu, GTO campuran sebanyak 1 gardu, dan gardu tol OBU sebanyak 1 gardu.

**K. Analisis Antrian pada Gerbang Tol**

Setelah melakukan analisis intensitas gerbang tol, hasil perhitungan tersebut akan digunakan untuk menghitung analisis antrian pada gerbang tol menggunakan metode antrian FIFO (*First In First Out*) [6]. Analisis antrian pada gerbang tol dilakukan untuk mengetahui panjang antrian dan waktu antrian pada perencanaan gerbang tol Kertosono – Kediri. Berikut merupakan contoh perhitungan analisis antrian untuk gerbang tol Kertosono arah masuk dan keluar pada tahun 2021:

**Gerbang Tol Kertosono Arah Masuk dan Keluar :**

Jumlah (N) GTO khusus golongan I	= 1 gardu
Jumlah (N) GTO campuran	= 1 gardu
Jumlah (N) gardu tol OBU	= 1 gardu
$\lambda_1$ GTO khusus golongan I	= 117 kendaraan/jam
$\lambda_2$ GTO campuran	= 211 kendaraan/jam
$\lambda_3$ gardu tol OBU	= 58 kendaraan/jam
$\mu_1$ GTO khusus golongan I	= 527 kendaraan/jam
$\mu_2$ GTO campuran	= 302 kendaraan/jam
$\mu_3$ gardu tol OBU	= 600 kendaraan/jam
$\rho_1$ GTO khusus golongan I	= 0,221
$\rho_2$ GTO campuran	= 0,701
$\rho_3$ gardu tol OBU	= 0,097

**1) GTO Khusus Golongan I**

$$n = \rho / (1 - \rho) = 0,221 / (1 - 0,221) = 0,2837 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,221^2}{1 - 0,221} = 0,0627 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kend (OK)}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \frac{\lambda}{N}} \times 3600 = \frac{1}{527 - \frac{117}{1}} \times 3600 = 8,768 \text{ detik}$$

$$w = d - \left(\frac{1}{\mu} \times 3600\right) = 8,768 - \left(\frac{1}{527} \times 3600\right) = 1,938 \text{ detik}$$

**2) GTO Campuran**

$$n = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,701}{1 - 0,701} = 2,3394 \approx 3 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,701^2}{1 - 0,701} = 1,6435 \approx 2 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kend (OK)}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \frac{\lambda}{N}} \times 3600 = \frac{1}{302 - \frac{211}{1}} \times 3600 = 39,867 \text{ detik}$$

$$w = d - \left(\frac{1}{\mu} \times 3600\right) = 39,867 - \left(\frac{1}{302} \times 3600\right) = 27,929 \text{ detik}$$

**3) Gardu Tol OBU**

$$n = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,097}{1 - 0,097} = 0,1075 \approx 1 \text{ kendaraan}$$

$$q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,097^2}{1 - 0,097} = 0,0104 \approx 1 \text{ kendaraan} < 10 \text{ kend (OK)}$$

$$d = \frac{1}{\mu - \frac{\lambda}{N}} \times 3600 = \frac{1}{600 - \frac{58}{1}} \times 3600 = 6,645 \text{ detik}$$

$$w = d - \left(\frac{1}{\mu} \times 3600\right) = 6,645 - \left(\frac{1}{600} \times 3600\right) = 0,645 \text{ detik}$$

Setelah dilakukan analisis, didapatkan bahwa nilai q (panjang antrian) pada gerbang tol Kertosono kurang dari sepuluh kendaraan ( $q < 10$  kendaraan). Oleh karena itu, panjang antrian kendaraan yang terjadi di gerbang tol Kertosono dapat dinyatakan aman. Dan perhitungan ini berlanjut untuk setiap gerbang tol yang ada di ruas jalan tok Kertosono – Kediri.

Dari perhitungan yang telah dilakukan, maka didapat bahwa panjang antrian yang terjadi di setiap gerbang tol untuk tiap jenis gardu kurang dari sepuluh kendaraan ( $q < 10$  kendaraan). Maka panjang antrian gerbang tol Kertosono, Papar, dan Kediri dapat dinyatakan aman.

**L. Perencanaan Gerbang Tol Kertosono – Kediri Tahun 2026**

Perencanaan gerbang tol Kertosono – Kediri tahun 2026 dilakukan untuk mengetahui konfigurasi gardu tol yang diperlukan agar tiap gerbang tol dapat melayani kendaraan yang jumlahnya akan meningkat dari perencanaan tahun 2021. Data yang digunakan, cara analisis, dan cara perhitungannya masih sama dengan perencanaan gerbang tol pada tahun 2021. Karena perencanaan ini dilakukan untuk tahun 2026, satu – satunya hal yang berbeda adalah volume kendaraan rencana.

Contoh perhitungan untuk  $V_R$  tahun 2026 ruas Kertosono – Papar golongan I adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_R \text{ 2026} &= V \text{ 2022} \times (1 + 0,109)^4 \\ &= 4622 \times (1 + 0,109)^4 \\ &= 6991,27 \approx 6992 \text{ kendaraan/hari} \end{aligned}$$

Karena data yang didapat masih berupa data 2 arah, maka perlu dibagi 2 lagi untuk mendapat data 1 arah. Jadi,  $V_R$  2021 untuk satu arah =  $6992/2 = 3496$  kendaraan/hari.

Setelah mendapatkan volume lalu lintas rencana jalan tol untuk tahun 2026 yang tertera pada Tabel 7, maka dilakukan analisis dan perhitungan dengan cara yang sama persis dengan langkah – langkah analisis dan perhitungan gerbang tol pada tahun 2021.

**M. Penerapan Multi Lane Free Flow (MLFF) di Indonesia**

Pemerintah Republik Indonesia melalui BPJT berencana untuk mulai menerapkan penggunaan sistem MLFF pada tahun 2022 mendatang. MLFF adalah sebuah teknologi jalan tol non-tunai nir-sentuh yang memungkinkan penggunaannya melewati jalan tol tanpa harus membuka kaca jendela maupun mengurangi kecepatannya.

Namun sebelum sistem MLFF mulai diterapkan, pemerintah akan menguji coba sistem pembayaran non-tunai nir-sentuh ini dengan menggunakan gardu tol khusus yang bernama gardu *single lane free flow* (SLFF). Sesuai dengan namanya, gardu tol SLFF ini merupakan sebuah gardu yang ditempatkan pada gerbang tol (hanya ada 1 gardu untuk tiap gerbang tol) dimana penggunaannya tidak perlu melakukan transaksi non-tunai secara konvensional. Hal ini berarti

Tabel 8.  
Jumlah gardu pada tiap-tiap gerbang tahun 2021

Arah	Jenis GTO	Kertosono	Papar	Kediri
Arah Masuk	GTO khusus golongan I	1	1	1
	GTO campuran	1	2	1
	Gardu tol OBU	1	1	1
Arah Keluar	GTO khusus golongan I	1	1	1
	GTO campuran	1	2	1
	Gardu tol OBU	1	1	1

Tabel 9.  
Jumlah gardu pada tiap-tiap gerbang tahun 2026

Arah	Jenis GTO	Kertosono	Papar	Kediri
Arah Masuk	GTO khusus golongan I	1	1	1
	GTO campuran	2	3	2
	Gardu tol SLFF	1	1	1
Arah Keluar	GTO khusus golongan I	1	1	1
	GTO campuran	2	3	2
	Gardu tol SLFF	1	1	1

pengemudi kendaraan tidak perlu membuka kaca jendela kendaraannya untuk melakukan transaksi. Setelah sistem ini terbukti sukses dan dapat berjalan dengan lancar, maka barulah sistem MLFF dapat mulai diterapkan.

Jika pada tahun 2026 semua rencana pemerintah benar terlaksana, maka tidak akan ada lagi gerbang tol maupun gardu tol. Karena sistem MLFF ini menggunakan portal gantry melintang yang terletak di atas jalan tol lengkap dengan sensor pemindai kendaraannya. Untuk mengetahui intensitas lalu lintas pada ruas jalan tol yang kita desain, maka dihitung dengan perhitungan kapasitas jalan bebas hambatan dengan menggunakan PKJI 2014 [5] dan MKJI 1997 sebagai acuan utamanya.

Setelah melakukan analisis dan perhitungan kapasitas jalan tol Kertosono - Kediri, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Jika BPJT jadi menerapkan sistem MLFF untuk seluruh ruas jalan tol di Indonesia khususnya ruas jalan tol di pulau Jawa pada tahun 2023 mendatang, ruas jalan tol Kertosono - Kediri dapat menampung volume lalu lintas rencana jalan tol pada tahun 2026 tanpa terjadi kemacetan dengan derajat kejenuhan ( $D_s$ ) < 0,8 untuk masing - masing ruasnya baik arah masuk maupun keluar. Ruas Kertosono dapat menampung kendaraan sebanyak 1110 skr/jam/lajur, Papar 1850 skr/jam/lajur, dan Kediri 1200 skr/jam/lajur.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan data dan hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab permasalahan berupa tingkat kedatangan kendaraan dan jumlah gardu pada gerbang tol Kertosono - Kediri untuk perencanaan tahun 2021 dan tahun 2026.

Kesimpulan yang bisa didapat dari perencanaan ini adalah sebagai berikut tingkat kedatangan untuk masing - masing gerbang tol Kertosono - Kediri adalah sebagai berikut pada tahun 2021, untuk gerbang Kertosono, tingkat kedatangan kendaraan 386 kendaraan/jam untuk arah masuk maupun keluar. Untuk gerbang Papar, tingkat kedatangan kendaraan 765 kendaraan/jam untuk arah masuk maupun keluar. Untuk gerbang Kediri, tingkat kedatangan kendaraan 393 kendaraan/jam untuk arah masuk maupun keluar.

Tahun 2026, untuk gerbang Kertosono, tingkat kedatangan kendaraan 642 kendaraan/jam untuk arah masuk maupun keluar. Untuk gerbang Papar, tingkat kedatangan kendaraan

1279 kendaraan/jam untuk arah masuk maupun keluar. Untuk gerbang Kediri, tingkat kedatangan kendaraan 653 kendaraan/jam untuk arah masuk maupun keluar. Jumlah gardu pada tiap - tiap gerbang tol Kertosono - Kediri untuk tahun 2021 tertera pada Tabel 8. Jumlah gardu pada tiap - tiap gerbang tol Kertosono - Kediri untuk tahun 2026 tertera pada Tabel 9.

Jika memang pada tahun 2026 sistem jalan tol di Indonesia seluruhnya sudah tidak lagi menggunakan gardu tol seperti pada saat jurnal ini dibuat (tahun 2021), Jalan Tol Kertosono - Kediri tetap akan mampu menampung kapasitas kendaraan yang telah diprediksi oleh PT. Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri akan menggunakan ruas tol Kertosono - Kediri. Berdasarkan volume rencana kendaraan yang akan menggunakan ruas tol pada tahun 2026 dibandingkan dengan kapasitas jalan tol yang telah dihitung sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa Jalan Tol Kertosono - Kediri mampu menampung semua kendaraan yang akan melewatinya dengan derajat kejenuhan ( $D_s$ ) kurang dari 0,8 ( $D_s < 0,8$ ) yang menjadi standar kejenuhan dari suatu ruas jalan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan jurnal ini, ada banyak pihak yang membantu dalam kami dalam proses penyusunannya. Kami ingin berterima kasih kepada PT. Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri sebagai pemberi data sekunder berupa trase dan volume kendaraan rencana Jalan Tol Kertosono - Kediri yang telah banyak memberikan penjelasan, masukan, dan data yang kami perlukan untuk menyelesaikan penulisan jurnal ini. Kami juga ingin berterima kasih kepada PT. Jasa Marga Surabaya Gempol yang telah banyak memberikan penjelasan, masukan, dan ijin yang kami perlukan untuk melakukan survei data primer berupa waktu pelayanan gardu tol untuk masing - masing golongan kendaraan.

Akhir kata, kami hanya bisa berterima kasih dengan sangat kepada pihak - pihak yang telah membantu kami selama proses pengerjaan dan penyusunan jurnal ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Kami berharap jurnal ini dapat berguna untuk orang - orang yang membacanya baik saat ini maupun di kemudian hari.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Indonesia, *Undang - Undang Republik Indonesia Nomor*

- 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. Jakarta: Sekretariat Republik Indonesia, 2004.
- [2] Badan Pusat Statistik, *Ekonomi Indonesia Triwulan III 2020 Tumbuh 5,05 Persen*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, 2020.
- [3] Badan Pusat Statistik Jawa Timur, *Pertumbuhan Ekonomi Jawa Timur Triwulan III 2020*. Surabaya: Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2020.
- [4] H. Prasetyo, H. Widyastuti, and A. A. G. Kartika, "Perencanaan geometrik dan perkerasan jalan tol Kertosono – Kediri (Kertosono STA 0+000 sampai Kediri STA 21+300).," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 1, pp. E52-E57, 2020.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum, *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2014.
- [6] T. J. Kakiay, *Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata*. Yogyakarta: Andi Offset, 2004.