

Perencanaan Gerbang Tol Probolinggo-Banyuwangi

Fajar Ihsan Kresnandi dan Wahyu Herijanto
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: herijanto@ce.its.ac.id

Abstrak—Transportasi secara umum adalah perpindahan manusia ataupun benda dari satu tempat ke tempat yang lain dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Jalan tol adalah suatu jalan yang dikhususkan untuk kendaraan bersumbu dua atau lebih (mobil, truk trailer, bis, dll.) dan bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh dari satu tempat ke tempat lain. Namun seringkali jalan tol yang bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu mengalami hambatan. Hambatan terjadi karena antrian yang panjang di gerbang tol, oleh karena itu diperlukan perencanaan gerbang tol agar dapat menjawab permasalahan diatas. Metode yang digunakan dalam perencanaan gerbang tol Probolinggo - Banyuwangi adalah First In First Out (FIFO) dan untuk struktur dasar antrian menggunakan Single Channel – Single Phase sebagai struktur dasar dalam proses antrian yang menggunakan 3 sistem yaitu Gerbang Tol Otomatis, On Board Unit (OBU), Single Lane Free Flow dengan menggunakan aplikasi FLO, dan sesuai dengan yang direncanakan pemerintah yaitu Multi Lane Free Flow. Pengambilan data primer dilakukan dengan cara melakukan survey pelayanan waktu gerbang tol yang akan dilaksanakan di gerbang tol Cengkareng. Metode survey yang digunakan adalah menghitung durasi waktu pelayanan menggunakan stopwatch. Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan metode First In First Out (FIFO), didapatkan hasil untuk perencanaan gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi pada gerbang Kraksaan arah masuk dan keluar terdapat 2 Gardu Tol Otomatis khusus, 2 Gardu Tol Otomatis, 1 gardu SLFF, dan 1 gardu OBU. Pada gerbang tol Paiton arah masuk dan keluar terdapat 1 Gardu Tol Otomatis khusus, 2 Gardu Tol Otomatis, 1 gardu SLFF, dan 1 gardu OBU. Pada gerbang tol Besuki arah masuk dan keluar terdapat 1 Gardu Tol Otomatis khusus, 2 Gardu Tol Otomatis, 1 gardu SLFF, dan 1 gardu OBU. Sedangkan untuk perencanaan Multi Lane Free Flow didapatkan hasil antrian 0 kendaraan dan delay 1-2 detik pada gerbang Kraksaan, antrian 0 kendaraan dan delay 1-2 detik pada gerbang Paiton, antrian 0 kendaraan dan delay 1-2 detik pada gerbang Besuki.

Kata Kunci—Perencanaan Gerbang Tol, Gerbang Tol Probolinggo-Banyuwangi, Single Lane Free Flow, Antrian, Multi Lane Free Flow.

I. PENDAHULUAN

KABUPATEN Banyuwangi adalah sebuah kabupaten yang terletak di ujung paling timur dari Pulau Jawa. Kabupaten Banyuwangi merupakan kabupaten terluas di Jawa Timur sekaligus menjadi yang terluas di Pulau Jawa. Perekonomian Kabupaten Banyuwangi digerakkan dari beberapa sektor seperti pariwisata, pertanian, pertambangan dan penggalian, industri pengolahan, perdagangan, hotel dan restoran, pengangkutan dan komunikasi, dan jasa-jasa. Selama ini, pergerakan dan perpindahan semua sektor diatas hanya mengandalkan jalan nasional dan jalan provinsi sehingga menyebabkan kemacetan.

Demi memperlancar pergerakan sektor-sektor perekonomian Kabupaten Banyuwangi, dibutuhkan fasilitas transportasi yang bebas dari kemacetan, maka dari itu



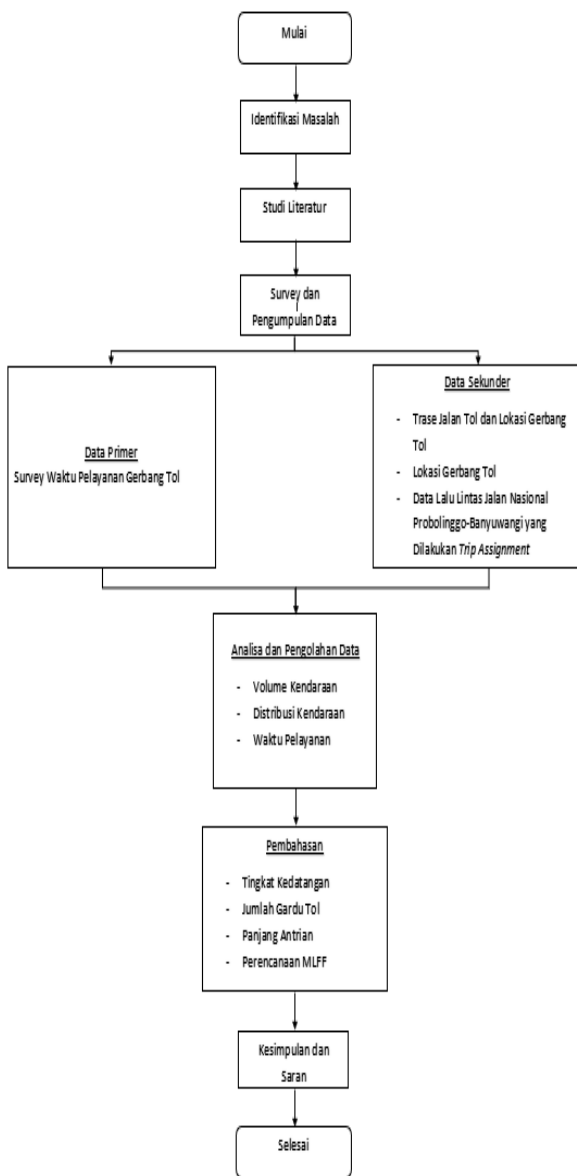
Gambar 1. Lokasi Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi.

diperlukan pembangunan jalan tol. Jalan tol yang akan dibangun adalah Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi yang memiliki panjang total 171,516 km, dan nantinya akan tersambung dengan Tol Trans Jawa juga menyambungkan 3 kota besar yaitu Kota Probolinggo, Kota Situbondo, dan Kabupaten Banyuwangi. Jalan tol ini direncanakan akan dimulai pembangunannya pada tahun 2020 dan selesai pada tahun 2025. Sehingga tol ini akan melengkapi seluruh rute Jalan Tol Trans Jawa dari Merak di ujung barat hingga Banyuwangi di ujung timur. Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi dikelola oleh PT. Jasa Marga Probolinggo – Banyuwangi. Jalan Tol ini dibagi menjadi 6 seksi yaitu, Seksi 1 Kraksaan-Paiton, Seksi 2 Paiton-Besuki, Seksi 3 Besuki-Situbondo, Seksi 4 Situbondo-Asembagus, Seksi 5 Asembagus-Bajulmati, dan Seksi 6 Bajulmati-Ketapang.

Menurut Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), pembangunan jalan tol memiliki tujuan memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang, meningkatkan pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang pertumbuhan ekonomi, meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan, serta meringankan beban dana pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan [1]. Sering sekali jalan tol yang merupakan adalah jalan bebas hambatan mengalami kemacetan yang cukup panjang, terutama saat di gerbang tol dikarenakan tidak seimbang antara gerbang tol yang beroperasi dan jumlah kendaraan yang masuk ke jalan tol. Jalan tol harusnya dapat bekerja sesuai dengan fungsinya dengan lebih mengoptimalkan fungsi dari gerbang tol yang merupakan salah satu dari sumber kemacetan yang terjadi di jalan tol. Setelah melihat permasalahan diatas, maka diperlukan perencanaan gerbang tol Probolinggo-Banyuwangi.

A. Tujuan

Tujuan yang akan dibahas adalah mengetahui jumlah gardu tol Probolinggo - Banyuwangi dan panjang antrian yang dibutuhkan berdasarkan tingkat kedatangan kendaraan apabila semua direncanakan dengan Gardu Tol Otomatis (GTO), On Board Unit (OBU), dan Single Lane Free Flow



Gambar 2. Diagram Alir Metodologi.

berbasis RFID menggunakan Aplikasi FLO. Mengetahui perencanaan gerbang tol Probolinggo - Banyuwangi apabila direncanakan dengan *Multi Lane Free-Flow*.

B. Lokasi Studi

Dalam perencanaan tugas akhir ini lokasi yang ditinjau terletak di jalan tol Probolinggo – Banyuwangi Paket 1 sampai Paket 3, dan yang akan menjadi lokasi studi dari perencanaan gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi seperti yang ditunjukkan Gambar 1.

C. Diagram Alir

Dalam penelitian ini metodologi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari sumber referensi dan melakukan pembelajaran dari literatur yang menunjang pengerjaan tugas akhir ini yaitu Perencanaan Gerbang Tol Probolinggo-Banyuwangi. Literatur-literatur yang direferensi bisa berupa jurnal-jurnal ilmiah, buku, peraturan,

Tabel 1. Data Lalu lintas Harian Probolinggo – Situbondo

Golongan	Probolinggo-Kraksaan	Kraksaan-Paiton	Paiton-Besuki
I	5778	2609	2178
II	1983	1075	460
III	471	255	23
IV	63	14	9
V	82	76	27
VI	16322	7328	8289

Tabel 2. Volume Kendaraan Pakai (kend/jam)

Golongan	Probolinggo-Kraksaan	Kraksaan-Paiton	Paiton-Besuki
I	733,478	268,657	334,459
II	248,408	109,592	70,166
III	59,079	26,052	3,649
IV	8,011	1,628	1,622
V	10,347	7,870	4,459

Tabel 3. Matriks Asal Tujuan Golongan I

MAT	Probolinggo	Kraksaan	Paiton	Besuki
Probolinggo	0	4787	72	25
Kraksaan	4787	0	1244	436
Paiton	72	1244	0	1769
Besuki	25	436	1769	0

tugas akhir terdahulu yang memiliki permasalahan yang sama, dan lain-lain.

B. Survey dan Pengumpulan Data

Dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini, data yang dikumpulkan terdiri dari 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder.

1) Data Primer

Data primer adalah data yang diambil langsung dari lokasi penelitian dengan cara survey lapangan. Data yang dibutuhkan adalah: Survey Waktu Pelayanan Gerbang Tol seperti data yang ditunjukkan pada Tabel 1. Data yang diperoleh dari survey lapangan akan dibandingkan dengan peraturan yang ada.

2) Data sekunder

Data sekunder adalah data yang sudah ada atau data yang tidak berhubungan langsung dengan objek penelitian. Data sekunder diperoleh dari instansi-instansi yang berhubungan dengan penulisan dan penyusunan tugas akhir. Data sekunder yang dibutuhkan antara lain:

- a. Data trase jalan tol dan lokasi gerbang tol.
- b. Data volume lalu lintas. Untuk merencanakan Matriks Asal - Tujuan.

C. Analisis Data

Pada tahap ini adalah tahapan pengumpulan data-data yang diperlukan dan kemudian akan dianalisa agar mendapatkan hasil akhir sesuai yang diharapkan. Data-data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini ada 2 yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang didapatkan melalui survey lapangan, sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari instansi dari proyek terkait.

D. Analisis Data Lalu Lintas

Data lalu lintas yang sudah diperoleh masih berupa LHR jalan nasional. Maka perlu dilakukan *trip assignment* dengan

Tabel 4.

Matriks Asal Tujuan Arus Jam Puncak Golongan I

MAT	Probolinggo	Kraksaan	Paiton	Besuki
Probolinggo	0	527	8	3
Kraksaan	527	0	137	48
Paiton	8	137	0	195
Besuki	3	48	195	0

Tabel 5.

Rekapitulasi Volume Keluar Masuk Kendaraan

Gerbang	Rekapitulasi Volume Keluar - Masuk Kendaraan	
	Total Masuk	Total Keluar
Probolinggo	771	771
Kraksaan	1002	1002
Paiton	450	450
Besuki	303	303

metode Davidson. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data per satuan mobil penumpang. Lalu setelah mendapatkan LHR pakai akan menghitung matriks asal – tujuan. Perhitungan dilakukan dengan metode Tsygalnitsky.

E. Analisis Tingkat Kedatangan

Matriks asal tujuan semua golongan kendaraan merupakan data lalu lintas harian yang dimana merupakan data kendaraan per hari. Diperlukan agar matriks asal tujuan diatas menjadi arus jam puncak, maka menurut PKJI 2014 matriks asal tujuan perlu dikalikan dengan faktor k seperti dibawah ini [2].

$$q_{JP} = LHRT \times K \tag{1}$$

Dimana:

- q_{JP} : Arus jam puncak kendaraan (kend/jam)
- LHRT : Lalu lintas harian rata-rata
- K : Faktor pengubah LHRT menjadi arus jam puncak

F. Analisis Distribusi Kendaraan

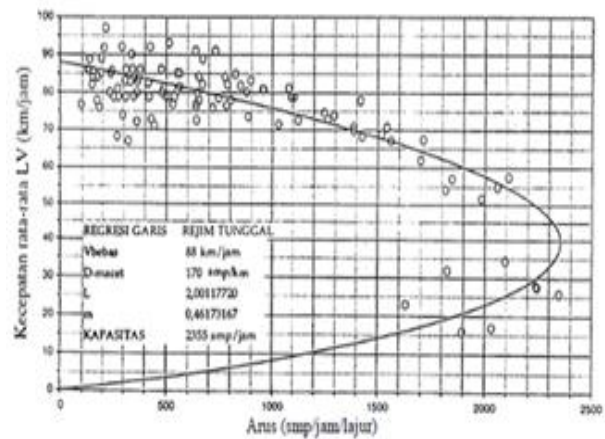
Selanjutnya setelah menghitung matriks arus jam puncak akan dilakukan analisis distribusi kendaraan dengan tujuan untuk mengetahui berapa banyak jumlah kendaraan yang keluar dan masuk di gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi. Analisis distribusi kendaraan dilakukan dengan memasukkan arus jam puncak ke gerbang tol masuk dan keluar, karena pada tol Probolinggo – Banyuwangi ini direncanakan dengan gerbang sistem tertutup maka analisis bisa dilakukan dengan menjumlahkan secara horizontal untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang masuk gerbang, dan menjumlahkan secara vertikal untuk mendapatkan kendaraan yang keluar gerbang.

G. Analisis Waktu Pelayanan

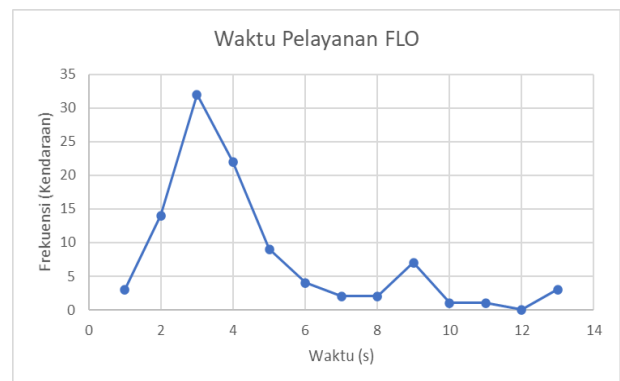
Pada perencanaan gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi menggunakan konfigurasi gerbang tol otomatis atau GTO, gerbang tol On Board Unit atau OBU, dan gerbang tol SLFF sehingga perlu dilakukan analisis waktu pelayanan untuk tiap jenis gerbang. Kemudian dari data yang telah didapat dari survey diolah untuk dihitung frekuensi, frekuensi kumulatif, presentase frekuensi, dan presentase kumulatif.

H. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Pada perencanaan gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi ini digunakan 3 jenis gardu yaitu Gardu Tol Otomatis, On Board Unit (OBU), dan SLFF. Perencanaan gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi menggunakan proporsi kendaraan masuk gerbang tol 70% dari golongan I masuk ke



Gambar 3. Grafik Hubungan Kecepatan – Arus JBH 4/2.



Gambar 4. Grafik Frekuensi dan Waktu Pelayanan Gerbang Tol SLFF.

GTO khusus golongan I; 15% masuk ke GTO; 7,5% masuk ke SLFF; dan 7,5% masuk ke OBU. Digunakan rumus waktu pelayanan seperti dibawah ini.

$$WP = \frac{1}{\mu} \tag{2}$$

Dimana:

- WP = Waktu pelayanan
- μ = Tingkat pelayanan

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{3}$$

Dimana:

- ρ = Perbandingan antara tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan
- μ = Tingkat pelayanan
- λ = Tingkat kedatangan

I. Analisis Antrian Gerbang Tol

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan analisa intensitas gerbang maka selanjutnya akan digunakan untuk menghitung analisis antrian dengan metode antrian FIFO (First In First Out) dimana kendaraan yang pertama tiba pada suatu tempat pelayanan akan dilayani pertama [3]. Tujuan dari menganalisis antrian pada gerbang adalah mendapatkan panjang antrian dan waktu antrian pada gerbang tol. Berikut rumus dari metode antrian FIFO.

$$n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \tag{4}$$

$$q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \tag{5}$$

Tabel 6.
Frekuensi Waktu Pelayanan SLFF.

Waktu Pelayanan	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	%	% Kumulatif
1	3	3	3%	3%
2	14	17	14%	17%
3	32	49	32%	49%
4	22	71	22%	71%
5	9	80	9%	80%
6	4	84	4%	84%
7	2	86	2%	86%
8	2	88	2%	88%
9	7	95	7%	95%
10	1	96	1%	96%
11	1	97	1%	97%
12	0	97	0%	97%
13	3	100	3%	100%

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

$$w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = d - \frac{1}{\mu} \tag{7}$$

Keterangan:

- 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

J. Perencanaan Multi Lane Free Flow

Perencanaan MLFF ditinjau dari:

1) Kecepatan Kendaraan (v)

Dalam perencanaan MLFF ini, akan direncanakan terlebih dahulu kecepatan kendaraan yang akan melewati *entrance ramp* dan *exit ramp*.

2) Tingkat Kedatangan (λ)

Digunakan tingkat kedatangan yang telah didistribusikan sesuai gerbang, tetapi tingkat kedatangan dibagi dengan jumlah lajur sesuai dengan yang direncanakan.

3) Tingkat Pelayanan (μ)

Tingkat pelayanan yang digunakan adalah yang ada pada Gambar 3 yaitu pada grafik hubungan kecepatan – arus. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan yang telah direncanakan sebelumnya.

Untuk tingkat kedatangan meninjau dari jumlah lajur yang direncanakan, dalam tugas akhir ini direncanakan jalan bebas hambatan 6/2D yaitu 3 lajur 2 arah tetapi *ramp* yang direncanakan adalah jalan 4/2 maka tingkat kedatangan dibagi dengan jumlah lajur yaitu 2. Analisa yang dilakukan menggunakan teori antrian FIFO (*First In First Out*) dimana dengan output akhir yaitu panjang antrian yang dan *delay* yang terjadi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data Lalu Lintas

Setelah dilakukan perhitungan trip assignment pada semua rute, volume yang dipakai adalah volume kendaraan golongan I-V pada rute tol seperti data yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

B. Analisis Tingkat Kedatangan

Setelah mendapatkan hasil matriks asal – tujuan akan dilakukan analisis tingkat kedatangan. Hasil dari matriks asal – tujuan masih dalam satuan kend/jam seperti yang ditunjukkan Tabel 4. Diperlukan arus jam puncak dengan rumus Q_{JP}.

C. Analisis Distribusi Kendaraan

Setelah mendapatkan matriks arus jam puncak, dilakukan analisis distribusi kendaraan tiap golongan untuk mendapatkan volume kendaraan yang keluar dan masuk pada setiap gerbang yang ditinjau. Karena pada tol Probolinggo – Banyuwangi ini direncanakan dengan gerbang sistem tertutup maka analisis bisa dilakukan dengan menjumlahkan secara horizontal untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang masuk gerbang, dan menjumlahkan secara vertikal untuk mendapatkan kendaraan yang keluar gerbang. Karena pada perhitungan matriks asal tujuan menggunakan sistem lalu lintas satu arah maka volume kendaraan keluar dan masuk memiliki hasil yang sama seperti yang ditunjukkan Tabel 5.

D. Analisis Waktu Pelayanan

Selanjutnya akan dilakukan analisis waktu pelayanan pada hasil survey lapangan yang telah dilakukan. Analisis pada gerbang SLFF ditunjukkan pada Tabel 6 dan grafik pada Gambar 4.

- Rata-rata : 4,37 detik
- Median : 4 detik
- Modus : 3 detik
- % Kumulatif : 50% : 3,5 detik
- : 80% : 5 detik

Waktu Pelayanan: 4 detik

Untuk menentukan waktu pelayanan gerbang tol SLFF dapat dilihat dari nilai rata-rata, presentase kumulatif 50%, dan presentase kumulatif 80%. Setelah melihat ketiga perhitungan diatas, ditentukan nilai yang mendekati dengan nilai median dan modus. Maka ditentukan nilai 4 detik.

E. Analisis Intensitas Gerbang Tol

Pada perencanaan gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi analisis intensitas dilakukan dengan menggunakan rumus (2) dan (3) dengan proporsi proporsi kendaraan masuk gerbang tol 70% dari golongan I masuk ke GTO khusus golongan I; 15% masuk ke GTO; 7,5% masuk ke SLFF; dan 7,5% masuk ke OBU seperti data yang ditunjukkan Tabel 7. Berikut contoh perhitungan analisis intensitas gerbang pada gerbang Kraksaan.

1. Gardu Tol Masuk:

- GTO Khusus : N1 : 2 gardu
- GTO : N2 : 2 gardu
- SLFF : N3 : 1 gardu
- OBU : N4 : 1 gardu
- Waktu pelayanan : WP1 : 11 detik
- : WP2 : 11 detik
- : WP3 : 4 detik
- : WP4 : 6 detik

- λ Golongan I : 711 kend/jam
- λ Golongan II-V : 222 + 51 + 6 + 11 = 291 kend/jam
- λ1 (GTO Khusus) : 70% x 711 = 498 kend/jam
- λ2 (GTO) : (15% x 711) + 291 = 398 kend/jam
- λ3 (SLFF) : 7,5% x 711 = 53 kend/jam

$$\lambda_4 \text{ (OBU)} : 7,5\% \times 711 = 53 \text{ kend/jam}$$

2. Tingkat Pelayanan (μ):

$$\mu_1 = 3600/WP = 3600/11 = 327 \text{ kend/jam}$$

$$\mu_2 = 3600/WP = 3600/11 = 327 \text{ kend/jam}$$

$$\mu_3 = 3600/WP = 3600/4 = 900 \text{ kend/jam}$$

$$\mu_4 = 3600/WP = 3600/6 = 600 \text{ kend/jam}$$

3. Intensitas Kendaraan (ρ):

GTO Khusus:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1/N_1}{\mu_1} < 1$$

$$\rho_1 = \frac{498/2}{327} < 1$$

$$\rho_1 = 0,761 < 1$$

GTO:

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2/N_2}{\mu_2} < 1$$

$$\rho_2 = \frac{398/2}{327} < 1$$

$$\rho_2 = 0,608 < 1$$

SLFF:

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

$$\rho_3 = \frac{53/1}{900} < 1$$

$$\rho_3 = 0,05 < 1$$

OBU:

$$\rho_4 = \frac{\lambda_4/N_4}{\mu_4} < 1$$

$$\rho_4 = \frac{53/1}{600} < 1$$

$$\rho_4 = 0,08 < 1$$

Setelah dilakukan analisis intensitas pada keempat jenis gerbang, hasil ρ semua gerbang < 1 maka intensitas lalu lintas aman.

F. Analisis Antrian Gerbang Tol

Setelah dilakukan analisis intensitas akan dilakukan analisis antrian pada perencanaan gerbang tol Probolinggo – Banyuwangi. Analisis antrian menggunakan metode FIFO (*First In First Out*) dengan tujuan mengetahui waktu saat kendaraan sedang mengantri dan panjang antrian pada setiap gerbang. Berikut contoh perhitungan pada gerbang Kraksaan.

1. Gardu Tol Masuk:

- N1 (jumlah gardu GTO Khusus) : 2 gardu
- N2 (jumlah gardu GTO) : 2 gardu
- N3 (jumlah gardu SLFF) : 1 gardu
- N4 (jumlah gardu OBU) : 1 gardu
- λ_1 (jumlah kendaraan GTO Khusus): 498 kend/jam
- λ_2 (jumlah kendaraan GTO) : 398 kend/jam
- λ_3 (jumlah kendaraan SLFF) : 53 kend/jam
- λ_4 (jumlah kendaraan OBU) : 53 kend/jam
- μ_1 (tingkat pelayanan GTO Khusus): 327 kend/jam
- μ_2 (tingkat pelayanan GTO) : 327 kend/jam

$$\mu_3 \text{ (tingkat pelayanan SLFF)} : 900 \text{ kend/jam}$$

$$\mu_4 \text{ (tingkat pelayanan OBU)} : 600 \text{ kend/jam}$$

$$\rho_1 : 0,761$$

$$\rho_2 : 0,609$$

$$\rho_3 : 0,059$$

$$\rho_4 : 0,088$$

GTO Khusus:

$$\bar{n} = \frac{\rho_1}{1 - \rho_1} = \frac{0,761}{1 - 0,761} = 3,19 \approx 4 \text{ kend} \tag{12}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho_1^2}{1 - \rho_1} = \frac{0,761^2}{1 - 0,761} = 2,43 \approx 3 \text{ kend} < 10 \text{ kend}$$

$$\bar{w} = d - \frac{1}{\mu_1} = 46,1 - \frac{1}{327} \times 3600 = 35,1 \approx 36 \text{ detik}$$

GTO:

$$\bar{n} = \frac{\rho_2}{1 - \rho_2} = \frac{0,601}{1 - 0,601} = 1,55 \approx 2 \text{ kend}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho_2^2}{1 - \rho_2} = \frac{0,601^2}{1 - 0,601} = 0,9 \approx 1 \text{ kend} < 10 \text{ kend} \tag{13}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu_2 - \frac{\lambda_2}{N_2}} = \frac{1}{327 - \frac{398}{2}} \times 3600 = 28,1 \approx 29 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = d - \frac{1}{\mu_2} = 28,1 - \frac{1}{327} \times 3600 = 17,1 \approx 18 \text{ detik}$$

SLFF:

$$\bar{n} = \frac{\rho_3}{1 - \rho_3} = \frac{0,059}{1 - 0,059} = 0,06 \approx 1 \text{ kend}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho_3^2}{1 - \rho_3} = \frac{0,059^2}{1 - 0,059} = 0,003 \approx 1 \text{ kend} < 10 \text{ kend} \tag{14}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu_3 - \frac{\lambda_3}{N_3}} = \frac{1}{900 - \frac{53}{1}} \times 3600 = 4,25 \approx 5 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = d - \frac{1}{\mu_3} = 4,25 - \frac{1}{900} \times 3600 = 0,25 \approx 1 \text{ detik}$$

OBU:

$$\bar{n} = \frac{\rho_4}{1 - \rho_4} = \frac{0,088}{1 - 0,088} = 0,09 \approx 1 \text{ kend}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho_4^2}{1 - \rho_4} = \frac{0,088^2}{1 - 0,088} = 0,008 \approx 1 \text{ kend} < 10 \text{ kend} \tag{15}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu_4 - \frac{\lambda_4}{N_4}} = \frac{1}{600 - \frac{53}{1}} \times 3600 = 6,5 \approx 7 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = d - \frac{1}{\mu_4} = 6,5 - \frac{1}{600} \times 3600 = 0,5 \approx 1 \text{ detik}$$

Dari hasil analisis intensitas dan analisis antrian dapat diketahui bahwa jumlah gerbang tol yang direncanakan dengan empat jenis gardu memiliki nilai $\rho < 1$ dan antrian < 10 kendaraan maka perencanaan gerbang tol Probolinggo - Banyuwangi aman.

G. Perencanaan Multi Lane Free Flow

Perencanaan *Multi Lane Free Flow* diawali dengan merencanakan kecepatan kendaraan (v), menghitung tingkat kedatangan (λ), dan tingkat pelayanan (μ). Untuk tingkat pelayanan dapat melihat grafik hubungan arus kecepatan JBH 4/2 pada Gambar 3. sesuai dengan kecepatan kendaraan yang telah direncanakan. Berikut contoh perhitungan pada gerbang Paiton.

Tabel 7.
Kendaraan Masuk Gerbang Kraksaan

Jumlah Kendaraan Masuk	
Golongan	Kraksaan
I	711
II	222
III	51
IV	6
V	11
Total	1002

Tabel 8.
EMP dan Presentase Kendaraan

Gol.	%	emp (Datar)
LV	63%	1
MHV	25%	1
LB	8%	1,3
LT	4%	2,5

1. JBH 6/2 (Ramp 4/2)

Entrance Gantry dengan v = 30 km/jam

Exit Gantry dengan v = 30 km/jam

2. Tingkat Kedatangan:

λ Entrance = 450 kend/jam
= 225 kend/jam/lajur (dibagi dengan jumlah lajur)

λ Exit = 504 kend/jam
= 225 kend/jam/lajur (dibagi dengan jumlah lajur)

Mengubah satuan tingkat kedatangan ke smp/jam/arus, dengan cara membagi kendaraan sesuai proporsi golongan kendaraan dan dikali dengan emp (ekivalensi mobil penumpang) sesuai dengan MKJI 1997 seperti yang ditunjukkan Tabel 8.

Didapatkan:

$$\lambda \text{ Entrance} = (225 \times 63\% \times 1) + (225 \times 25\% \times 1) + (225 \times 8\% \times 1,3) + (225 \times 4\% \times 2,5)$$

$$= 142 + 56 + 18 + 9$$

$$= 244 \text{ smp/jam/lajur}$$

$$\lambda \text{ Exit} = (225 \times 63\% \times 1) + (225 \times 25\% \times 1) + (225 \times 8\% \times 1,3) + (225 \times 4\% \times 2,5)$$

$$= 142 + 56 + 18 + 9$$

$$= 244 \text{ smp/jam/lajur}$$

3. Tingkat Pelayanan

μ Entrance = 2250 smp/jam/lajur

μ Exit = 2250 smp/jam/lajur

4. Analisis Antrian FIFO

Menghitung ρ

Entrance Gantry:

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \tag{16}$$

$$\rho = \frac{244}{2250} < 1$$

$$\rho = 0,10844 < 1$$

Exit Gantry:

$$\rho = \frac{\lambda/N}{\mu} < 1 \tag{17}$$

$$\rho = \frac{244}{2250} < 1$$

$$\rho = 0,10844 < 1$$

Analisis Antrian dan Delay

Entrance Gantry:

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,10844}{1 - 0,10844} = 0,12164 \approx 0 \text{ kend}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,10844^2}{1 - 0,10844} = 0,013 \approx 0 \text{ kend} < 10 \text{ kend} \tag{18}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{2250 - 244} \times 3600 = 1,79 \approx 2 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = d - \frac{1}{\mu} = 1,79 - \frac{1}{2250} \times 360 = 0,19 \approx 1 \text{ detik}$$

Exit Gantry:

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,10844}{1 - 0,10844} = 0,12164 \approx 0 \text{ kend}$$

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,10844^2}{1 - 0,10844} = 0,013 \approx 0 \text{ kend} < 10 \text{ kend} \tag{19}$$

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{2250 - 244} \times 3600 = 1,79 \approx 2 \text{ detik}$$

$$\bar{w} = d - \frac{1}{\mu} = 1,79 - \frac{1}{2250} \times 360 = 0,19 \approx 1 \text{ detik}$$

Setelah dilakukan analisis antrian FIFO, didapatkan hasil antrian sebanyak 0 kendaraan dan waktu delay 1-2 detik.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang terjadi dalam perencanaan gerbang tol Probolinggo–Banyuwangi. Berikut kesimpulannya: (1) Jumlah gardu pada tol Probolinggo–Banyuwangi: (a) Gerbang Kraksaan; - Arah Masuk; GTO Khusus : 2 gardu; GTO : 2 gardu; SLFF : 1 gardu; OBU : 1 gardu; - Arah Keluar; GTO Khusus : 2 gardu; GTO : 2 gardu; SLFF : 1 gardu; OBU : 1 gardu; (b) Gerbang Paiton; - Arah Masuk; GTO Khusus : 1 gardu; GTO : 2 gardu; SLFF : 1 gardu; OBU : 1 gardu; - Arah Keluar; GTO Khusus : 1 gardu; GTO : 2 gardu; SLFF : 1 gardu; OBU : 1 gardu; (c) Gerbang Besuki; - Arah Masuk; GTO Khusus : 1 gardu; GTO : 2 gardu; SLFF : 1 gardu; OBU : 1 gardu; - Arah Keluar; GTO Khusus : 1 gardu; GTO : 2 gardu; SLFF : 1 gardu; OBU : 1 gardu; (2) Antrian dan delay yang terjadi pada tiap gerbang apabila direncanakan dengan MLFF: (a) Gerbang Kraksaan; - Arah Masuk; Antrian: 0 kendaraan; Delay : 1 sampai 2 detik; - Arah Keluar; Antrian : 0 kendaraan; Delay : 1 sampai 2 detik; (b) Gerbang Paiton; - Arah Masuk; Antrian : 0 kendaraan; Delay : 1 sampai 2 detik; - Arah Keluar; Antrian : 0 kendaraan; Delay : 1 sampai 2 detik; (c) Gerbang Besuki; - Arah Masuk; Antrian : 0 kendaraan; Delay : 1 sampai 2 detik; - Arah Keluar; Antrian : 0 kendaraan; Delay : 1 sampai 2 detik.

B. Saran

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan gerbang tol, perlu diberikannya saran kepada pengguna jalan tol maupun kepada pengelola jalan tol agar tercapainya gerbang tol yang baik sesuai dengan standar pelayanan minimum, hal – hal yang disampaikan sebagai berikut: (1) Mungkin dalam waktu dekat, digencarkan sosialisasi kepada pengguna jalan untuk

meningkatkan pengguna gerbang SLFF sebagaimana akan diberlakukannya gerbang MLFF dalam beberapa tahun kedepan. (2) Melakukan pengembangan lebih lanjut terhadap aplikasi SLFF yang menurut saya masih kurang smooth. (3) Mengganti gerbang OBU yang sekarang kurang diminati dengan gerbang SLFF, agar semakin banyak pengguna jalan yang akan menggunakan gerbang SLFF yang lebih praktis dan juga langkah awal dalam penerapan gerbang MLFF untuk kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. J. Tol, "BPJT - Badan Pengatur Jalan Tol," *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, 2021. <https://bpjt.pu.go.id/konten/jalan-tol/tujuan-dan-manfaat>.
- [2] K. P. U. dan P. Rakyat, "Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia." Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2014.
- [3] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, 2nd ed. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2000.