Perencanaan *Demand* dan Kebutuhan *Toll Gate* PROBO-WANGI

Nafilah El Hafizah[1], Joudri Rudi Sairlela[2],
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: nafilah.el92@gmail.com

ABSTRACT

Toll road refers to a part of national road network system specifically designed for two or more axles-vehicles which requires the road users to pay based on the type of vehicle and the existing tariff. The tollgate for Probolinggo-Banyuwangi is planned to get the targeted volume of vehicle that can be afforded and the need of toll station in 2024 and 2034. This tollgate is planned by the methods of Multi-Channel Single Phase and queue discipline of First In First Out (FIFO). The researcher planned to have automatic tollgate with On Board Unit. The tollgate of *Probolinggo-Banyuwangi has 7 sections. The calculation results indicate that in 2024, the queue length will be in line with the Regulation of Public Works Minister of the Republic of Indonesia Number 16/PRT/M/2014, the lowest volume of vehicle will occur at Situbondo tollgate by 23 vehicles, having entrance and exit directions with 1 automatic tollgate and 1 OBU tollgate. Meanwhile, the highest volume of vehicle will happen at the tollgate of Ketapang by 1058 vehicles having entrance and exit directions with 1 OBU tollgate and 2 automatic tollgates. In 2034, there will be long queue at the tollgates of Bajulmati and Krakasan.*

Keywords: Automatic tollgate, On Board Unit, planning, queue, tollgate.

ABSTRAK

Jalan tol merupakan bagian dari suatu sistem jaringan jalan nasional yang dikhususkan untuk kendaraan minimal 2 gandar dimana pengguna jalan tol harus membayar sesuai golongan dan tarif yang berlaku. Tujuan perencanaan gerbang tol Probolinggo-Banyuwangi untuk mendapatkan volume kendaraan rencana yang akan ditampung dan kebutuhan gardu tol pada tahun 2024 dan 2034. Perencanaan gerbang tol ini menggunakan metode *Multi Channel Single Phase* dan menggunakan disiplin antrian *First In First Out* (FIFO). Dalam perhitungan perencanaan gerbang tol ini nantinya akan merencanakan gerbang tol Otomatis dan *On Board Unit.* Dimana pada *toll gate* Probolinggo-Banyuwangi terdapat 7 seksi gerbang tol. Pada perhitungan di tahun 2024, panjang antrian pada tiap *toll gate* sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerja Umum Republik Indonesia Nomor 16/PRT/M/2014, untuk jumlah kendaraan terdapat jumlah kendaraan terkecil pada *toll gate* Situbondo berjumlah 23 kendaraan dengan jumlah *toll gate*, arah masuk dan keluar terdapat 1 *toll gate* Otomatis, 1 *toll gate OBU*, untuk jumlah kendaraan terbanyak terdapat pada gerbang tol Ketapang sebesar 1058 kendaraan dengan jumlah gerbang tol, arah masuk dan keluar terdapat 1 *toll gate On Board Unit*, 2 GTO. Kemudian untuk tahun 2034, akan terjadi panjang antrian pada *toll gate* Bajulmati dan *toll gate* Krakasan.

Kata kunci: Perencanaan, *toll gate*, *toll gate* Otomatis dan *On Board Unit*, Antrian.

PENDAHULUAN

Berdasarkan proyeksi jumlah penduduk Indonesia, penduduk di Pulau Jawa pada 2020 mencapai 429.2 juta jiwa (Badan Pusat Statistik 2020). Pulau Jawa juga memiliki angka kepadatan kendaraan yang begitu besar, di mana setiap 1 kilometer jalan di Pulau Jawa dipergunakan untuk melanyani 510 unit kendaraan, angka ini menjadi yang terpadat dibandingkan wilayah lain berdasarkan Kementrian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2015. Dengan jumlah kependudukan dan angka kendaraan yang begitu besar sudah pasti perkembangan transportasi di pulau jawa sangatlah pesat, mengakibatkan perlunya penanganan ekstra untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang terjadi dalam perkembangan transportasi tersebut. Solusi alternatif yaitu pembangunan *toll road*, karena *toll road* adalah salah satu cara untuk mengurangi angka kemacetan yang terjadi.

Upaya pemerintah dalam pelaksanaan proyek Tol Trans-Jawa bertujuan untuk menghubungkan transportasi antar kota di pulau jawa dan juga diintegrasikan dengan kawasan industri agar mendukung peningkatan daya saing produk Indonesia di pasar global, Tol Trans Jawa meliki panjang 1.167 km, dimana ujung barat Tol Trans Jawa terletak di Pulo Merak dan ujung timur terlatak pada Banyuwangi. Salah satu perkembangan konstruksi di berupa jalan tol TransJawa merupakan pembangunan Probolinggo-Banyuwangi jalan tol.

Proyek jalan tol Probolinggo-Banyuwangi merupakan proyek jangka panjang dalam pembangunan tol Trans Jawa karena di rencanakan bisa selesai pada 2024 mendatang. Jalan tol Probolinggo-Banyuwangi secara total memiliki panjang 172,91 km. Jalan tol Probo-Wangi dikelolah oleh PT Jasamarga Probolinggo Banyuwangi (JPB). Jalan tol Probolinggo-Banyuwangi terbagi dalam enam bagian seksi, seksi I Kraksaan-Paiton (22,5 km), seksi II Paiton-Besuki (23,6 km), seksi III Besuki-Situbondo (41,9 km), seksi IV Situbondo-Asembagus (17,6 km), seksi V Asembagus-Bajulmati (37,9 km), seksi VI Bajulmati-Ketapang (28,51 km).

Jalan tol merupakan jalan yang mempunyai sistem jaringan jalan serta dapat disebutkan sebagai jalan nasional, dimana penggunanya diwajibkan untuk membayar biaya perjalanan menggunakan jalan tol. Jalan tol

dapat dikhususkan untuk kendaraan yang minimal 2 gandar (mobil, truk, bis, dll). Diketahui jalan pada area Probolinggo dengan nilai DS sebesar 1,34 dimana nilai DS ini melebihi nilai DS yang telah ditetapkan harus dibawah 0,75 apabila lebih maka jalan tersebut diperlukan penangan demi mengurangi kepadatan kendaraan pada jalan tersebut [1].

Dalam perencanaan akses tol yang mempunyai daya bebas dalam hambatan yang tinggi, maka diperlukan ketelitian dan pengkajian tentang permasalahan-permasalahan yang ada. Faktor yang sering ditimbulkan yang menyebabkan permasalahan adalah jumlah *gate toll.* Permasalahan dapat timbul jika jumlah *gate toll* yang tidak sesuai dengan volume dan hal tersebut akan mengakibatkan penambahan biaya operasional [2]. Dalam pelaksanannya jalan tol yang waktu perjalanannya dapat dipercaya dan bebas dari hambatan tetapi sering kali kita temukan terjadinya panjang antrian di depan pintu masuk *toll gate*,

TINJAUAN PUSTAKA

Tujuan dan Manfaat Jalan Tol

Jalan tol merupakan bagian dari sistem jaringan jalan umum yang merupakan lintas alternatif, namun dalam keadaan tertentu jalan tol bukan pilihan yang terbaik. Tujuan Jalan Tol merupakan solusi alternatif untuk mengurangi *demand* lalu lintas eksisting pada wilayah-wilayah yang berkembang; Meningkatkan daya pelayanan untuk pendistribusian barang dan jasa dalam menunjang pertumbuhan ekonomi; meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan; meringankan beban dan Pemerintahan melalui partisipasi pengguna jalan.[3]

Manfaat Jalan Tol Manfaat Jalan Tol menurut Badan Pengatur Jalan Tol Kementrian Pekerja Umum dan Perumahan Rakyat (BPJT) adalah pembangunan *toll road* akan mempengaruhi tingkat perekonomian dan pemerataan wilayah; Meningkatkan daya mobilitas masyarakat dan aksesibilitas pada pengguna (orang dan barang); Pengguna jalan tol dapat merasakan keuntungan langsung berupa efisiensi biaya operasional kendaraan (BOK) serta waktu perjalanan dibandingkan bila melewati jalan konvensional (*nontoll*) ; Badan usaha yang mengelola mendapatkan keuntungan dalam pengembalian investasi dari pendapatan tol yang tergantung pada penetapan tarif tol setempat.

Jenis Kendaraan yang Dibedakan Per Golongan Kendaraan

Penetapan terkait golongan per jenis kendaraan khususnya kendaraan yang beroperasi pada ruas jalan tol dan besaran tarif pada jalan tol dibedakan berdasarkan golongan kendaraan I dengan jenis kendaraan Sedan,Jip, Truk Kecil dan Bus. Untuk Golongan kendaraan II yaitu Truk yang memiliki 2 (dua) gandar. Golongan kendaraan III yaitu Truk yang memiliki 3 (tiga) gandar. Golongan kendaraan IV yang memiliki 4 (empat) gandar. Golongan kendaraan V yaitu Truk yang memiliki 5 (lima) gandar [4].

Sistem Pada Pembayaran *Toll Gate*

Beberapa system pembayaran pada *toll gate* seperti sistem pembayaran tunai/cash/konvensional, sistem pembayaran OBU dan pembayaran GTO. Sistem pembayaran tunai (konvensional) yaitu pembayaran dengan membayar sejumlah uang sesuai tarif yang di tentukan kepada petugas tol. Jika system GTO yaitu menggunakan kartu elektronik pengguna tol yang berisi saldo atau uang elektronik. Dengan cara menempelkan kartu tersebut pada mesin yang sudah disediakan pada gate toll, dengan sendirinya saldo terpotong dengan sesuai nominal tarif tol yang di tentukan dan *toll gate* akan terbuka secara otomatis.Sistem pembayaran OBU adalah dengan sistem transaksi non tunai dimana pemakai jalan bebas hambatan ini tidak melakukan transaksi konvensional lagi, karena dengan membeli perangkat OBU dan *E Toll Card* kemudian diletakan di dalam kendaraan.

Metode Furness

Metode furness merupakan salah satu metode perkembangan dari metode dua batasan yang menjamin besarnya bangkitan dan tarikan pergerakan pada masa mendatang sama dengan yang diharapkan. Metode dua batasan adalah salah satu metode perkembangan dari metode analogi dari metode konvensional tidak langsung. Metode furness merupakan metode yang dikembangkan oleh furness pada tahun 1965 hingga saat sekarang yang masih digunakan dalam perencanaan transportasi. Metode ini sangat sederhana dan mudah digunakan. Berikut ini langkah dalam menghitung *origin destination matriks* menggunakan metode furness.

Langkah 1 $T_{i-j} = t_{i-j}$ Fo (iterasi pertama); Langkah 2 $T_{i-j} = t_{i-j}$ Fo Iterasi pertama Fd; Langkah 3 $T_{i-j} = t_{i-j}$ Fo Iterasi pertama Fo; Langkah 4 $T_{i-j} = t_{i-j}$ Fo Iterasi pertama Fd; Langkah 5 dan seterusnya secara bergantian

Dimana T_{i-j} adalah perkiraan perjalanan masa yang akan datang dari zona alas i ke zona asal j. t_{i-j} Jumlah perjalanan eksisting dari zona asal i ke zona tujuan j. Fo dan Fd adalah Faktor-faktor pertumbuhan di zona asal i dan zona tujuan j. oi adalah banyaknya perjalanan masa mendatang yang berasal dari zona asal i. Oi adalah banyaknya perjalanan masa mendatang yang berasal dari zona-zona asal berdasarkan hasil analisis

bangkitan perjalanan. dj adalah banyaknya perjalanan masa mendatang yang menuju zona tujuan j. Dj adalah banyaknya perjalanan masa mendatang yang menuju zona tujuan j berdasarkan hasi analisis bangkitan perjalanan.

Analisis Tingkat Kedatangan

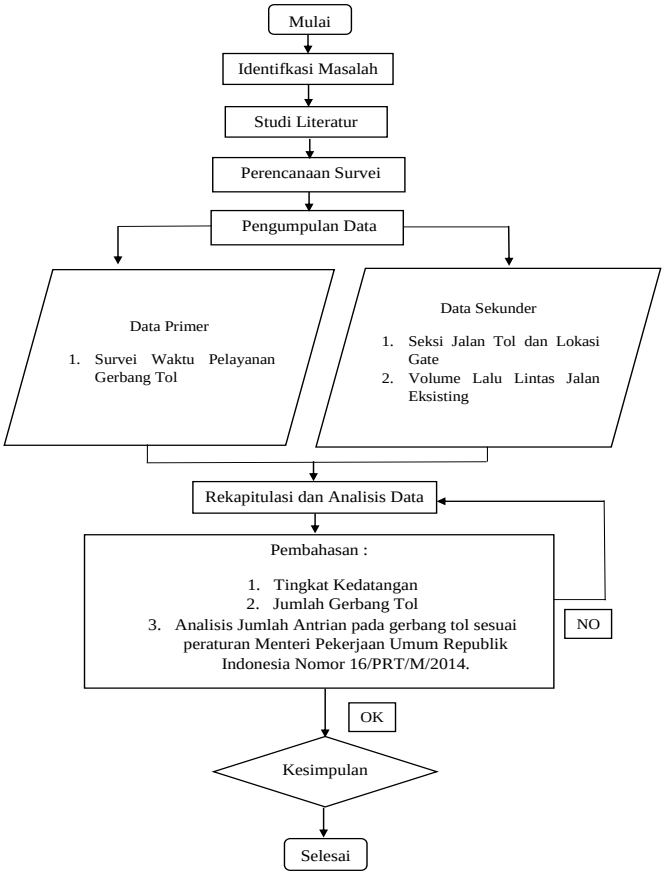
Proyeksi pertumbuhan pengguna jalan pada dasarnya diperlukan dalam perencanaan pembangunan jalan tol sebagai pertimbangan apakah proyek pembangunan jalan tol tersebut layak untuk dilakukan atau tidak [9]. Dimana mengasumsikan terdapat jumlah tiap golongan kendaraan yang mengakses ke area studi kasus dan yang keluar area studi kasus per hari. Akan dikalikan dengan faktor K yang terdapat pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, sebesar 0,11 untuk dijadikan menjadi jumlah arus kendaraan pada jam puncak. Setelah mendapatkan jumlah *demand* berupa kendaraan *peak hour* (kend/jam), selanjutnya akan diubah menjadi ekivalen mobil penumpang (emp/jam) dengan dikalikan dengan faktor emp yang terdapat pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, sesuai tipe alinemen dan total arus ked/jam yang didapatkan. EMP diperoleh pada tabel MKJI untuk jalan bebas hambatan dengan tipe jalan 6/2 D.

Proses Antrian pada Gardu Toll

Disiplin antrian merupakan suatu aturan dimana pelanggan akan dilayani dalam sebuah momen urutan penerimaan pelanggan di sebuah pelayanan [5]. *Single Channel Single Phase* (satu saluran–satu tahap). *Single Chanel Single Phase* adalah sistem dimana hanya ada satu jalur untuk memasuki sistem pelayanan atau ada satu pelayan. Contohnya seperti pelayanan pengiriman surat pada kantor pos. *Single Channel Multi Phase* (satu saluran – banyak tahap). *Single Channel Multi Phase* (satu saluran – banyak tahap) adalah sistem dimana ada dua atau lebih pelayanan yang dilaksanakan secara berurutan dalam *phase-phase* [8]. Contohnya seperti pelayanan *Drive Thru* pada KFC. *Multi Channel - Single Phase* (banyak saluran - satu tahap). *Multi Channel - Single Phase* (banyak saluran – satu tahap) adalah sistem dimana ada dua atau lebih fasilitas pelayanan dialiri oleh antrian tunggal. Contohnya seperti antrian pada POM bensin. *Multi Chanel Multi Phase* (banyak saluran – banyak tahap). Pada *Multi Chanel Multi Phase* (bayak saluran – banyak tahap) adalah sistem dimana ada dua atau lebih fasilitas pelayanan dengan pelayanannya yang lebih dari satu *phase*.

METODE

Tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada bagan diagram alir berikut:

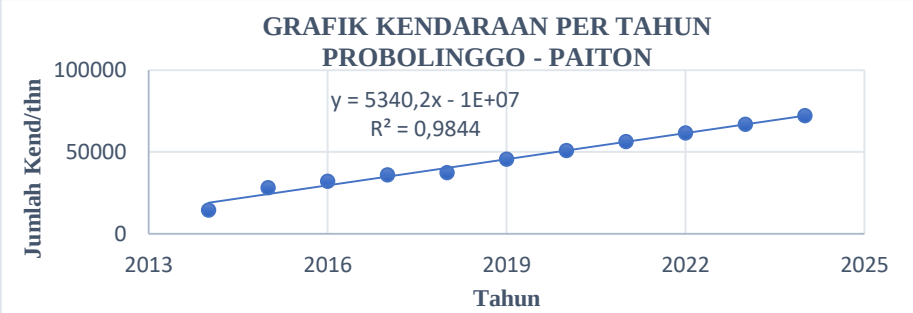


Gambar 1. Bagan Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Lalu Lintas Per Tahun

Berdasarkan pada gambar dapat dilihat bahwa dalam jumlah volume kendaraan pada tahun 2022 sebesar 61.656 kendaraan/tahun yang melintasi Probolinggo-Paiton. Sesuai data BBPJN JATIM-BALI pada tahun 2014 sebesar 14.507 kendaraan/ pertahun yang melewati Probolinggo-Paiton. Pada tahun 2018 sebesar 37291 kendaraan/ pertahun.



Gambar 2. Grafik Kendaraan Per Tahun Probolinggo-Paiton 2014-2024

Matriks Asal Tujuan (MAT)

Setelah meramalkan data jumlah kendaraan per golongan kemudian dapat dihitung matriks asal tujuannya per golongan kendaraan. Berikut volume lalu lintas rencana pada tahun 2024.

Tabel 1. Volume Lalu Lintas Rencana Pada Tahun 2024

Ruas	Gol I	Gol II	Gol III	Gol IV	Gol V
Probolinggo-krakasan	93	41	55	24	24
Krakasan-paiton	1036	468	628	268	268
Paiton-besuki	338	152	203	87	87
Besuki-situbondo	413	188	251	107	107
Situbondo-asembagus	63	28	38	16	16
Asembagus-bajulmati	833	377	505	215	215
Bajulmati-ketapang	1822	823	1101	472	472
Ketapang-Bali	2716	1228	1644	703	703

Sumber: Hasil Analisis

Setelah memperoleh peramalan *demand* berupa volume lalu lintas pada tahun 2024, berikutnya yaitu melakukan *trip assignment all or nothing* yang hasilnya digabungkan dengan *furness method* untuk membuat matriks asal tujuan. MAT dihitung untuk kendaraan golongan I sampai kendaraan golongan V dapat dilihat pada tabel, dimana matriks asal tujuan disimbolkan dengan angka sebagai berikut Probolinggo (1), Krakasan(2), Paiton (3), Besuki (4), Situbondo (5), Asembagus (6), Bajulmati (7), Ketapang (8). Berikut merupakan contoh MAT kendaraan pada golongan I. Untuk kendaraan golongan II- kendaraan golongan V dapat dipergunakan cara yang sama.

Tabel 2. Matriks Asal Tujuan Kendaraan Golongan I

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	10	3	4	1	8	20	48
2	10	0	37	46	7	97	247	592
3	3	37	0	14	2	29	74	178
4	4	46	14	0	3	36	92	220
5	1	7	2	3	0	5	13	32
6	8	97	29	36	5	0	194	464
7	20	247	74	92	14	194	0	1182
8	47	592	178	220	33	465	1180	0

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Tingkat Kedatangan Kendaraan Tahun 2024

Jumlah tiap golongan kendaraan yang akan mengakses masuk dan keluar pada *gate toll* diatas merupakan data kendaraan per hari. Agar jumlah kendaraan tersebut menjadi arus jam puncak, maka jumlah tiap golongan kendaraan yang mengakses masuk dan keluar diatas perlu dikalikan dengan faktor k yang terdapat pada MKJI, 1997, sebesar 0,11.

Contoh perhitungan dengan mengalikan matriks asal tujuan dengan faktor k adalah sebagai berikut: Jumlah kendaraan untuk golongan I arah Krakasan ke Paiton = 36 kendaraan/hari , Faktor k= 0,11. Jumlah kendaraan saat jam puncak = 36 x 0,11 = 3,96 ≈ 4 kendaraan/jam

Tabel 3. Matriks Asal Tujuan Saat Jam Puncak Pada Kendaraan Golongan I

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	0	1	2	5
2	1	0	4	5	1	11	27	65
3	0	4	0	2	0	3	8	20
4	0	5	2	0	0	4	10	24
5	0	1	0	0	0	1	1	4
6	1	11	3	4	1	0	21	51
7	2	27	8	10	2	21	0	130
8	5	65	20	24	4	51	130	0

Sumber: Hasil Analisis

Setelah MAT dikalikan dengan *faktor k* maka didapatkan MAT arus saat berada pada jam puncak. Selanjutnya yaitu mendistribusikan kendaraan masing-masing golongan ke tiap-tiap *toll gate* Probolinggo-Banyuwangi yang direncanakan, karena pada jalan tol Probolinggo-Banyuwangi ini direncanakan *toll gate* tertutup, maka distribusi kendaraan bisa didapatkan dari hasil penjumlahan matriks asal tujuan, penjumlahan secara horisontal untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang mengakses masuk melalui *toll gate*, dan penjumlahan secara vertikal untuk mendapatkan jumlah kendaraan yang keluar dari *toll gate*. Berikut ini adalah distribusi kendaraan pada tiap-tiap *toll gate*:

Tabel 4. Jumlah Kendaraan yang Masuk Tiap *toll gate* Tahun 2024

Gol	Jumlah Kendaraan yang Masuk Gerbang (Kend/Jam)							Jumlah Kendaraan
	Krakasan	Paiton	Besuki	Situbondo	Asembagus	Bajulmati	Ketapang	
I	114	37	46	7	92	200	299	795
II	51	17	21	3	41	90	135	358
III	69	23	28	4	55	121	181	481
IV	29	10	12	2	24	52	77	206
V	29	10	12	2	24	52	77	206

Sumber: Hasil Analisis

Berikut merupakan penjabaran perhitungan tabel 4:

Jumlah Kendaraan pada golongan I yang masuk gerbang Krakasan = 1+0+4+5+1+11+27+65 = 114

Jumlah Kendaraan pada golongan I yang keluar gerbang Ketapang = 5+65+20+24+4+51+130+0 = 299.

Data distribusi kendaraan berupa kendaraan/jam, maka harus diubah menjadi satuan emp/jam dengan dikalikan faktor emp (ekivalen mobil penumpang). Faktor pengali emp didapatkan pada MKJI, 1997. Emp diperoleh pada tabel MKJI untuk jalan bebas hambatan dengan tipe jalan 6/2 D. Nilai faktor emp berbeda tiap kondisinya, maka harus dilihat dari tipe alinemen dan jumlah kendaraan. Jalan tol Probolinggo-Banyuwangi direncanakan 6/2D dengan tipe alinemen datar dan jumlah kendaraan perjam tidak mencapai 1900 kend/jam, maka faktor emp yang digunakan ialah MHV=1,2 LB=1,2 dan LT=1,6. Untuk setiap golongan kendaraan I dikalikan dengan nilai MHV, golongan II yang dikali dengan nilai LB, dan golongan III-V dikalikan dengan nilai LT. Berikut ini adalah distribusi kendaraan tiap *toll gate* yang setelah dikalikan dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 12% (Data pertumbuhan lalu lintas rata-rata sebesar 12%/tahun).

Tabel 5. Jumlah Kendaraan Masuk Tiap *toll gate* (emp) Tahun 2024

Gol	Jumlahh Kendaraan yang Masuk Gerbang Toll (emp/jam)							Jumlah Kendaraan
	Krakasan	Paiton	Besuki	Situbondo	Asembagus	Bajulmati	Ketapang	
I	137	44	55	8	110	240	359	954
II	61	20	25	4	49	108	162	430
III	110	37	45	6	88	194	290	770
IV	46	16	19	3	38	83	123	330
V	46	16	19	3	38	83	123	330

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Waktu Dalam Pelayanan Sistem Pembayaran

Aspek waktu tunggu dalam system GTO lebih unggul dibandingkan dengan *toll gate* konvensional [10]. Dengan GTO diharapkan kepada para pengguna jalan tol menjadi lebih cepat, efektif dan efisien untuk melakukan pembayaran. Dalam evaluasi keefektivan pelayanan *toll gate* otomatis maka dilakukan analisis terhadap system antrian pada *toll gate*nya [10]. Untuk perencanaan *toll gate* Probolinggo-Banyuwangi menggunakan GTO dan *toll* OBU, sehingga perlu adanya analisis waktu pelayanan untuk tiap jenis gerbang.

Dari hasil analisis didapatkan data sebagai berikut:

Median : 4 detik

Modus : 4 detik

Rata-rata waktu dalam pelayanan: 3,8 detik

Persentase komulatif (50%): 3,7 detik

Persentase komulatif (75%): 4,2 detik

WP (waktu pelayanan): 4,2 detik

Dalam penentuan WP *toll* gate otomatis dapat dilihat dari nilai rata-rata WP, peresentase komulatif yang digunakan yaitu 50% dan 75%. Nilai yang mendekati nilai median dan nilai modus dapat dipergunakan sebagai waktu pelayanan. akan digunakan sebagai waktu pelayanan.

Analisis Intensitas Lalu Lintas Pada Tahun 2024

Dalam merencanakan *toll gate demand* Probolinggo-Banyuwangi menggunakan GTO dan OBU. Menurut Kementerian PUPR, saat ini transaksi non tunai sudah mencapai 100% dibandingkan pada januari tahun 2017 yang masih 20% (Berita Kementrian PUPR Targetkan Transkasi Tol Nir Sentuh Berlaku Tahun 2020). Sehingga penulis mengasumsikan *demand* untuk merencanakan *toll gate* Probolinggo- Banyuwangi, untuk kendaraan golongan I menggunakan proporsi 25% masuk ke GTO *unit* karena dilihat dari kondisi saat ini untuk penggunaan OBU masih sedikit dan proporsi 75% masuk ke gardu tol otomatis. Penerapan pada system yang digunakan dalam transaksi pembayaran pada *toll gate* juga menjadi factor pertimbangan dalam mengurangi kemungkinan antrian pada setiap *toll gate* [6]. Untuk kendaraan dengan golongan II – V hanya masuk ke *toll gate* otomatis.

Analisis Intensitas Gerbang Ketapang Tahun 2024

Gerbang Tol Masuk

Waktu dalam system pelayanan 1 adalah ambil kartu untuk gerbang tol *on board unit*, Waktu dalam system pelayanan 2 adalah ambil kartu untuk *toll gate* otomatis.

λ : Tingkat kedatangan
μ : Tingkat pelayanan
ρ : Perbandingan tingkat kedatanangan kendaraan dengan tingkat pelayanan *toll gate*
Jumlah *toll gate on board unit* : 1 gardu, Jumlah *toll gate* otomatis : 2 gardu
λ Kendaraan golongan I : 359 emp/jam
λ Kendaraan golongan II – V : 698 emp/jam
λ Kendaraan *toll gate on board unit*: 25% x $\frac{359}{1}$
: 90 emp/jam
λ *toll gate* otomatis : 75% x $\frac{359}{2} + \frac{698}{2}$
: 484 emp/jam
Waktu dalam Pelayanan 1 : 4 detik
μ1 : $\frac{3600}{4}$ = 900 emp/jam
Waktu dalam Pelayanan 2 : 4.2 detik
μ2 : $\frac{3600}{4.2}$ = 857 emp/jam
toll gate on board unit (ambil kartu) :
$\rho 1 = \frac{\lambda 1}{\mu 1} < 1$
$\rho 1 = \frac{90}{900} < 1$
ρ1 = 0,100 < 1 (OK)
toll gate otomatis (ambil kartu) :
$\rho 2 = \frac{\lambda 1}{\mu 1} < 1$

$\rho 2 = \frac{484}{857} < 1$
$\rho 2 = 0{,}564 < 1$ (OK)
$\rho 1$ dan $\rho 2$ pada *toll gate* Ketapang arah masuk < 1 sehingga aman.

Gerbang Tol Keluar

Perhitungan yang seragam dengan perhitungan Gate masuk dilakukan pada gate tol keluar.

Analisis Antrian *Toll Gate* Tahun 2024

Analisis antrian yang disimulasikan akan terjadi pada setiap *gate* tol dengan menggunakan analisis antrian First in First Out (FIFO), analisis ini dilakukan guna mendapatkan simulasi panjang antrian yang terjadi dan waktu antrian pada setiap *toll gate* [7].

Perencanaan *Toll Gate* Tahun 2034

Berikut contoh perhitungan matriks asal tujuan kendaraan golongan I tahun 2034. Untuk semua perhitungan dilakukan pertiap golongan, golongan I, golongan II, golongan III, golongan IV dan golongan V. Dengan cara yang sama sesuai perhitungan pada tahun 2024, untuk tahun 2034 hasil perhitungan dikalikan dengan factor k.

Tabel 6. Jumlah Kendaraan Masuk Tiap *Toll Gate* Tahun 2034

Gol	Jumlah Kendaraan Masuk Pada T*oll Gate* (Kend/Jam)							Jumlah Kendaraan
	Krakasan	Paiton	Besuki	Situbondo	Asembagus	Bajulmati	Ketapang	
I	229	75	92	14	184	403	601	1598
II	104	34	41	6	83	182	271	721
III	139	45	55	9	112	244	364	967
IV	59	19	24	4	48	104	155	413
V	59	19	24	4	48	104	155	413

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Intensitas *Toll Gate* Ketapang Tahun 2034

***Toll Gate* Masuk dan Keluar:**
Perhitungan dilakukan sama dengan tahun 2024 dengan jumlah kendaraan yang berbeda per golongan kendaraan.

Analisis Antrian *Toll Gate Ketapang* Tahun 2034
Gerbang Tol Masuk :
Jumlah ***toll gate on board unit*** : 1 gardu, Jumlah ***toll gate*** **otomatis** : 3 gardu
λ Kendaraan golongan I : 721 emp/jam
λ Kendaraan golongan II – V : 1403 emp/jam
λ Kendaraan gerbang tol *on board unit* : 25% x $\frac{721}{1}$
: 180 emp/jam
λ Kendaraan otomatic *toll gate* : 75% x $\frac{721}{3} + \frac{1403}{3}$
: 648 emp/jam
Waktu Pelayanan 1 : 4 detik
$\mu 1$: $\frac{3600}{4}$ = 900 emp/jam
Waktu Pelayanan 2 : 4.2 detik
$\mu 2$: $\frac{3600}{4.2}$ = 857 emp/jam
$\rho 1$: 0.200
$\rho 2$: 0.756
On board unit toll gate (ambil kartu) :
$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0.200}{1-0.200} = 0$ emp
$q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0.200^2}{1-0.200} = 0$ emp < 10 emp (OK)
$d = \frac{1}{\mu-\lambda} = \frac{1}{900-180} \text{ x } 3600 = 5$ detik
$w = d - \frac{1}{\mu(\mu-\lambda)} \text{ x } 3600 = 5 - \frac{1}{900} \text{ x } 3600 = 1$ detik
Automatic *toll gate* (ambil kartu) :
$n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0.756}{1-0.756} = 3$ emp

q = $\frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0.756^2}{1-0.756}$ = 2 emp < 10 emp (OK)
d = $\frac{1}{\mu-\lambda} = \frac{1}{857-648}$ x 3600 = 17 detik
w = d - $\frac{1}{\mu(\mu-\lambda)}$ x 3600 = 17 - $\frac{1}{857}$ x 3600 = 13 detik

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

Jumlah gardu tol pada *toll gate* Probolinggo-Banyuwangi sebagai berikut:

1. Tahun 2024 *Toll Gate* masuk dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 1 gardu. Pada *Toll gate* keluar dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 1 gardu ditempatkan pada *toll gate* Kraksan, Paiton, Besuki, Situbondo, Asembagus, Bajulmati.
2. Tahun 2024 *Toll Gate* masuk dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 2 gardu. Pada *Toll gate* keluar dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 2 gardu ditempatkan pada *toll gate* Ketapang.
3. Tahun 2034 *Toll Gate* masuk dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 1 gardu. Pada *Toll gate* keluar dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 1 gardu ditempatkan pada *toll gate* Kraksan, Paiton, Besuki, Situbondo, Asembagus.
4. Tahun 2034 *Toll Gate* masuk dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 1 gardu. Pada *Toll gate* keluar dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 1 gardu ditempatkan pada *toll gate* Kraksan, Paiton, Besuki, Situbondo, Asembagus.
5. Tahun 2034 *Toll Gate* masuk dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 2 gardu. Pada *Toll gate* keluar dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 2 gardu ditempatkan pada *toll gate* Bajulmati.
6. Tahun 2034 *Toll Gate* masuk dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 3 gardu. Pada *Toll gate* keluar dengan sistem OBU sebanyak 1 gardu dan GTO sebanyak 3 gardu ditempatkan pada *toll gate* Bajulmati.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Almira Mili Rizkia, Ir. Achmad Faiz Hadi Prajitno, M.T, 2017. Model Pemilihan Rute Antara Jalan Tol Dan Jalan Nasional Pasuruan- probolinggo Menggunakan Model Kurva Diversi. Repository Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

[2] M. Fakhruriza Pradana,dkk, 2017. Perencanaan Ulang Kebutuhan gardu Tol Pada Gerbang Tol Cikande. Jurnal Fondasi, Jurnal Teknik Sipil. Volume 6 No.2

[3] Undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan**.** Jakarta.

[4] Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 370-KPTS-M-2007 Tahun 2007 tentang Penetapan Golongan Jenis Kendaraan Pada Ruas Jalan Tol Yang Sudah Beroperasi Dan Besarnya Tarif Tol Pada Beberapa Ruas Jalan Tol.

[5] M. Zainul Arifin, Devina Candra Puspita Rini. 2021. Perencanaan Jumlah Toll Gate. Jurnal Rekayasa Sipil Volume 15 No. 1 Februari 2021.

[6] Anggrainy Septianingrum dan Hera Widyastuti, 2019. Perencanaan Gerbang Tol pada Jalan Tol Serpong-Cinere Ruas JORR 2 Jakarta. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 8, No. 2, (2019) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print.

[7] Kakiay,T.J. 2004. Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata. Penerbit Andi Offset.

[8] Subagyo, P. Asri M. dan Handoko T. H. 1992. Dasar-dasar Operation Research. Yogyakarta: BPFE

[9] Sufanir, A. M. S., 2017. Efektivitas Gardu Tol Otomatis (GTO) Buah Batu Ditinjau dari Kecepatan Transaksi Rata-Rata. Simposium II UNIID 2017, 2(1), 338-342.

[10] Sugito, S. Model Antrean Normal Dan Triangular (Studi Kasus: Gerbang Tol Tembalang Semarang), 2017. MEDIA STATISTIKA, 10(2), 107-117.