

ANALISIS SISTEM ANTRIAN UNTUK MENENTUKAN JUMLAH GARDU KELUAR YANG OPTIMAL PADA GERBANG TOL TANJUNG MULIA

Anwar¹, Mukhlis² dan Ahmad Septiyan³

^{1,2}Jurusan Teknik Industri Universitas Malikussaleh
Jl. Batam, Kampus Bukit Indah, Lhokseumawe, Aceh
Anwar_muhammadali@yahoo.co.id
Ahmad_septiyan@yahoo.com

Abstrak

Jalan tol adalah fasilitas jalan raya yang mempunyai dua lajur atau lebih di setiap arah agar lalu lintas berlangsung secara eksklusif dengan pengendalian penuh atas aksesnya. Gerbang tol Tanjung Mulia merupakan salah satu gerbang tol terpadat yang dilalui kendaraan baik yang masuk maupun yang keluar. Apabila gardu tol yang dioperasikan tidak seimbang dengan jumlah arus kendaraan, maka kelancaran lalu lintas kendaraan dapat terganggu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah gardu keluar yang optimal dalam melayani transaksi pengguna tol. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode tingkat aspirasi. Berdasarkan hasil analisis dengan model tingkat aspirasi menunjukkan bahwa jumlah gardu keluar tol sebanyak 3 (tiga) gardu yang beroperasi untuk setiap periode waktu pada saat dilakukan penelitian masih kurang optimal terkecuali pada periode waktu 12.00 – 13.00 dan 13.00 – 14.00 yang sudah optimal untuk beroperasi. Alternatif yang dilakukan penambahan gardu keluar tol menjadi 4 (empat) gardu untuk beroperasi melayani pengguna jalan tol pada periode waktu tertentu, dengan memanfaatkan 1 (satu) gardu masuk gerbang tol Tanjung Mulia.

Kata Kunci: Teori Antrian, Jalan Tol, Optimalisasi, Tingkat Aspirasi.

Pendahuluan

Dewasa ini jalan bebas hambatan menjadi pilihan utama untuk kelancaran mobilitas transportasi darat. Hal ini disebabkan karena jalan ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan jalan alternatif umum yang ada, baik dari segi kelancaran, keamanan dan kenyamanan dalam operasionalnya. Kelancaran lalu lintas di jalan tol dipengaruhi oleh waktu pelayanan yang diberikan kepada pengguna tol saat mereka mengambil karcis di gardu masuk tol dan membayar tarif tol sesuai jarak tempuh di gardu keluar tol.

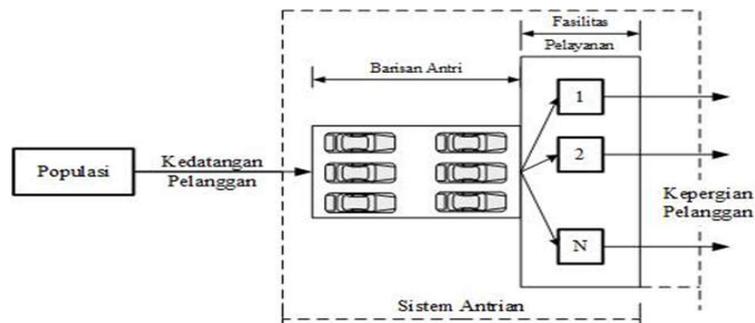
Gerbang tol Tanjung Mulia merupakan salah satu gerbang tol terpadat yang dilalui kendaraan baik yang masuk maupun yang keluar gerbang tol tersebut. Gerbang tol ini adalah akses masuk (*entrance*) kendaraan yang bergerak dari wilayah pusat kota Medan dan sekitarnya. Untuk akses keluar (*exit*) gerbang tol ini melayani kendaraan yang masuk melalui gerbang tol Tanjung Morawa, Amplas, Bandar Selamat, Haji Anif, Mabar dan Belawan. Pada gerbang tol Tanjung Mulia terdapat 6 gardu, diantaranya 3 gardu untuk kendaraan masuk (*entrance*) dan 3 gardu untuk kendaraan yang keluar (*exit*).

Keberadaan gerbang tol Tanjung Mulia yang dekat dengan Kawasan Industri Medan (KIM) dan telah beroperasinya Bandara Udara Kuala Namu sejak tahun 2013 membuat gerbang tol ini mengalami padatnya volume arus lalu lintas pada jam-jam sibuk (*peak hour*) setiap hari. Situasi ini tentu akan mengakibatkan timbulnya kemacetan, mengingat bahwa fungsi dari jalan tol harus memberikan pelayanan berupa kelancaran arus kendaraan tanpa adanya hambatan yang berarti. Faktor lain yang sering menimbulkan kemacetan adalah proses antrian yang terjadi di gerbang tol, pada saat

pemrosesan di gerbang tol pengguna jalan tol diwajibkan mengambil tiket tanda masuk pada gardu masuk (entrance) dan membayar tarif tol yang sesuai pada gardu keluar (exit). Dengan demikian, lamanya pemrosesan di gerbang tol sangat mempengaruhi kelancaran arus lalu lintas kendaraan. Apabila gardu tol yang dioperasikan tidak seimbang dengan jumlah arus kendaraan, maka kelancaran lalu lintas kendaraan dapat terganggu. Dengan kata lain, jika gardu yang dioperasikan terlalu sedikit dapat menimbulkan antrian kendaraan yang panjang, tetapi jika gardu yang dioperasikan terlalu banyak dapat menimbulkan biaya pengoperasian gardu yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem antrian yang diterapkan pada Gerbang Tol Tanjung Mulia serta mengetahui jumlah gardu keluar yang optimal dalam melayani transaksi pengguna tol di gerbang tol Tanjung Mulia.

Tinjauan Pustaka

Suatu antrian merupakan formasi baris-baris penungguan dari pelanggan (satuan) yang memerlukan pelayanan dari satu atau lebih pelayan (fasilitas layanan). Peristiwa antrian merupakan fenomena yang biasa terjadi apabila kebutuhan akan pelayanan melebihi kemampuan (kapasitas) pelayanan pada waktu yang sama, sehingga pelanggan yang tiba tidak dapat segera mendapat pelayanan dan membentuk suatu formasi baris-baris penungguan. Untuk mengurangi antrian dan mencegah timbulnya antrian, maka sering kali dilakukan penambahan fasilitas pelayanan. Yang menjadi persoalan adalah dengan melakukan penambahan fasilitas pelayanan maka diperlukan biaya yang lebih besar, dan hal itu akan mengurangi keuntungan. Sebaliknya antrian yang panjang juga akan menimbulkan biaya, baik berupa biaya sosial, kehilangan pelanggan ataupun pengurangan pekerja. Pada umumnya, teori antrian dapat diklasifikasikan menjadi sistem yang berbeda-beda dimana teori antrian sering diterapkan secara luas.[1][2]



Gambar 1. Sistem Antrian

Sistem antrian memiliki enam elemen utama, yaitu: sumber (populasi), kedatangan pelanggan, barisan antrian, disiplin pelayanan, mekanisme pelayanan dan kepergian pelanggan. Setiap elemen ini akan memberi bentuk sistem antrian, komponen dasar sistem antrian adalah:

- a) Sumber (Populasi)
- b) Kedatangan Pelanggan
- c) Barisan Antri
- d) Disiplin Pelayanan, terdiri dari:
 1. *First Come First Served* (FCFS) atau *First In First Out* (FIFO)
 2. *Last Come First Served* (LCFS) atau *Last In First Out* (LIFO)
 3. *First Vacant First Served*
 4. *Service In Random Order* (SIRO)
 5. *Priority Service* (PS)
- e) Mekanisme Pelayanan

f) Kepergian Pelanggan

Struktur Antrian

Ada 4 (empat) model struktur antrian dasar yang umum terjadi dalam seluruh sistem antrian, yaitu sebagai berikut [2][3]:

- 1) *Single Channel - Single Phase* (Saluran Tunggal - Satu Tahap)
- 2) *Single Channel - Multi Phase* (Saluran Tunggal - Banyak Tahap)
- 3) *Multi Channel - Single Phase* (Banyak Saluran - Satu Tahap)
- 4) *Multi Channel - Multi Phase* (Banyak Saluran – Banyak Tahap)

Model-model Antrian, Untuk mengoptimalkan suatu pelayanan, kita dapat memperkirakan waktu pelayanan dan dapat menentukan jumlah saluran atau jalur antrian dan jumlah pelayan atau tenaga kerja yang tepat yang akan digunakan dengan menggunakan model-model antrian. Terdapat empat model antrian, antara lain [2][3][4]:

- 1) Model A: Model antrian jalur tunggal dengan kedatangan berdistribusi Poisson dan waktu pelayanan Eksponensial (M/M/1).
- 2) Model B: Model antrian jalur berganda (M/M/S).
- 3) Model C: Model waktu pelayanan konstan (M/D/1).
- 4) Model D: Model Populasi yang terbatas.

Tabel 1. Model Antrian

Model	Nama	Jumlah Jalur	Jumlah Tahapan	Pola Tingkat Kedatangan	Pola Waktu Pelayanan	Ukuran Antrian	Aturan
A	Sistem Sederhana (M/M/1)	Tunggal	Tunggal	Poisson	Eksponensial	Tidak Terbatas	FIFO
B	Jalur Berganda (M/M/S)	Ganda	Tunggal	Poisson	Eksponensial	Tidak Terbatas	FIFO
C	Pelayanan Konstan (M/D/1)	Tunggal	Tunggal	Poisson	Konstan	Tidak Terbatas	FIFO
D	Populasi Terbatas	Tunggal	Tunggal	Poisson	Eksponensial	Terbatas	FIFO

Keempat model antrian diatas, memiliki karakteristik umum dengan asumsi, yaitu:

- 1) Kedatangan berdistribusi Poisson.
- 2) Penggunaan aturan FIFO.
- 3) Pelayanan satu tahap.

Model Tingkat Aspirasi

Model tingkat aspirasi menyadari kesulitan dalam mengestimasi parameter biaya dan karena itu model ini didasari oleh analisis yang lebih sederhana. Model ini secara langsung memanfaatkan karakteristik yang terdapat dalam sistem yang bersangkutan dalam memutuskan nilai-nilai “optimal” dari parameter perancangan. Optimalitas di sini dipandang dalam arti memenuhi tingkat aspirasi tertentu yang ditentukan oleh pengambil keputusan. Tingkat aspirasi didefinisikan sebagai batas atas dari nilai-nilai ukuran yang saling bertentangan, yang ingin diseimbangkan oleh pengambil keputusan tersebut. Dalam model pelayan berganda dimana kita perlu menentukan jumlah pelayan *c* yang optimum, dua ukuran yang bertentangan adalah [5]:

1. Waktu menunggu yang diperkirakan dalam sistem (*Ws*)
2. Persentase waktu menganggur para pelayan (*X*).

Kedua ukuran ini mencerminkan aspirasi pelanggan dan pelayan. Anggaplah tingkat aspirasi (batas atas) untuk *Ws* dan *X* diketahui maka tingkat aspirasi dapat diekspresikan secara matematis sebagai berikut:

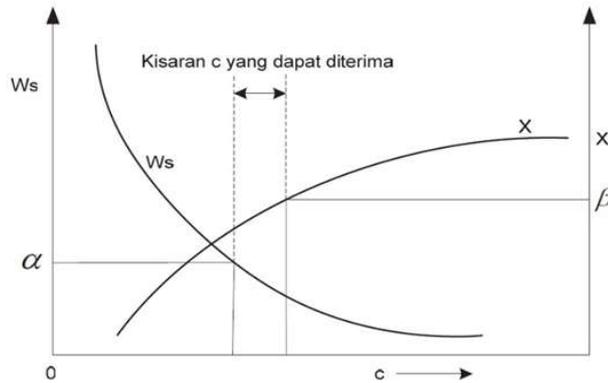
Tentukan jumlah pelayan sedemikian rupa sehingga:

$$W_s \leq \alpha \text{ dan } X \leq \beta$$

Ekspresi untuk W_s diketahui dari analisis model antrian. Ekspresi untuk X diketahui:

$$X = \frac{100}{c} \sum_{n=0}^c (c-n)P_n = 100(1-\rho)$$

Untuk membatasi dalam mengambil keputusan spesifik dalam kasus metode tingkat aspirasi, kita dapat menghitung kisaran parameter biaya C_2 yang dihasilkan dari pemilihan c untuk tingkat aspirasi tertentu seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Model Keputusan Tingkat Aspirasi

Jalan Tol

Jalan tol adalah jalan umum yang kepada pemakainya dikenakan kewajiban membayar tarif tol sesuai jarak yang ditempuh dan merupakan jalan alternatif lintas jalan umum yang telah ada. Peranan Jalan Tol untuk melayani jasa distribusi utama yang mempunyai spesifikasi bebas hambatan agar dicapai tingkat efisiensi yang maksimal dalam penggunaan sumber daya [6].

Gerbang Tol

Gerbang tol adalah tempat pelayanan transaksi tol bagi pemakai tol yang terdiri dari beberapa gardu dan sarana kelengkapan lainnya. Gardu tol adalah ruang tempat bekerja pengumpul tol untuk melaksanakan tugas pelayanan kepada pemakai jalan tol [6].

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada perusahaan PT. Jasa Marga (Persero) Cabang Belmera yang berlokasi di Jalan Simpang Tanjung No. 1A Medan, 20241. Perusahaan tersebut bergerak dalam bidang pelayanan sekaligus pengelola Jalan Tol yang ada di Kota Medan. Variabel yang diteliti adalah sistem antrian yang diterapkan pada gardu keluar yang melayani transaksi pembayaran tarif tol di gerbang tol Tanjung Mulia. pengujian distribusi dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SPSS versi 23 dengan metode *Kolmogorov-Smirnov Test*.

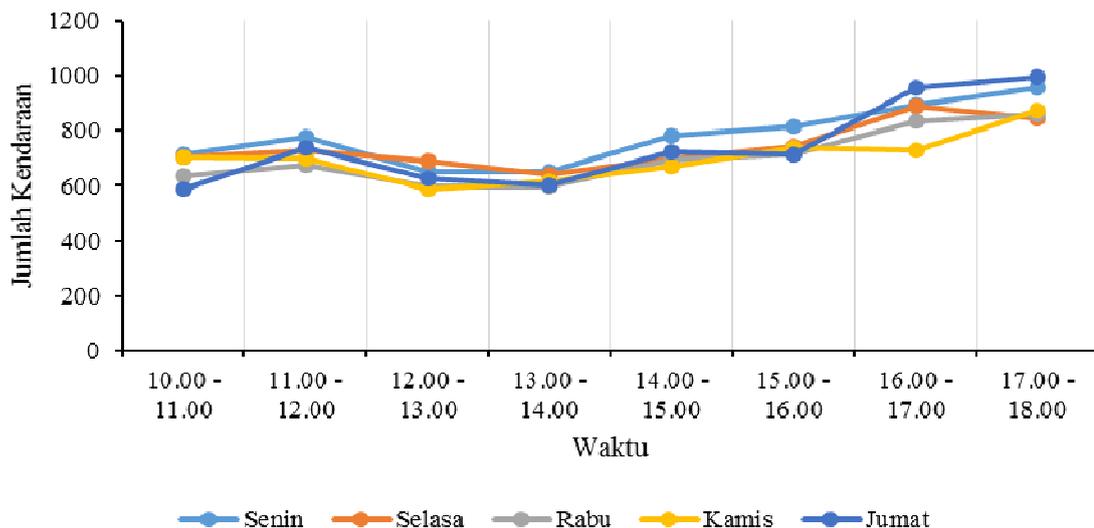
Metode yang digunakan dalam menganalisis data yang telah diperoleh adalah analisis deskriptif yang dipergunakan untuk memperoleh gambaran mengenai sistem antrian di PT. Jasa Marga (Persero) cabang Belmera. Dalam menganalisis data, peneliti menggunakan bantuan komputerisasi melalui perangkat lunak *WinQSB* dengan

metode *Queuing Analysis* sehingga akan diketahui hasil perhitungan variabel-variabel seperti:

1. Probabilitas tingkat kesibukan operator gardu (ρ)
2. Probabilitas terdapat 0 kendaraan dalam sistem (tidak adanya kendaraan dalam sistem (P_0)).
3. Jumlah kendaraan rata-rata dalam sistem (L_s).
4. Waktu rata-rata yang dihabiskan setiap kendaraan dalam antrian atau sedang dilayani (dalam sistem) (W_s).
5. Jumlah kendaraan rata-rata yang menunggu dalam antrian (L_q).
6. Waktu rata-rata yang dihabiskan oleh setiap kendaraan untuk menunggu dalam antrian (W_q).

Hasil dan Pembahasan

Data jumlah kedatangan kendaraan pada sistem antrian gerbang tol Tanjung Mulia dikumpulkan setiap interval 60 menit selama 5 hari. Untuk mempermudah melihat hasil jumlah kendaraan yang diamati, disini peneliti merangkum dalam bentuk grafik. Berikut ini adalah grafik jumlah kedatangan kendaraan dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kedatangan Kendaraan

Sesuai grafik diatas, dapat dijelaskan bahwa tingkat kedatangan kendaraan normal terdapat pada waktu 10.00 – 11.00 dan 11.00 – 12.00. Pada waktu 12.00 – 13.00 dan 13.00 – 14.00 tingkat kedatangan kendaraan dapat dikatakan sepi. Sedangkan untuk waktu 14.00 – 15.00 hingga 17.00 – 18.00 tingkat kedatangan kendaraan mulai ramai.

Pengujian Distribusi Data Jumlah Kedatangan Kendaraan

Pengujian ini dibedakan untuk setiap jam dari hasil pengamatan selama 5 hari. Pengujian ini menggunakan perangkat lunak *SPSS* dengan metode *Kolmogorov-Smirnov test*.

Tabel 2. Hasil Uji Distribusi Poisson Jumlah Kendaraan.

Hypothesis Test Summary			
	Null Hypothesis	Test	Sig. Decision
1	The distribution of 10.00 - 11.00 is Poisson with mean 669.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.161 Retain the null hypothesis.
2	The distribution of 11.00 - 12.00 is Poisson with mean 724.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.983 Retain the null hypothesis.
3	The distribution of 12.00 - 13.00 is Poisson with mean 630.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.768 Retain the null hypothesis.
4	The distribution of 13.00 - 14.00 is Poisson with mean 622.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.997 Retain the null hypothesis.
5	The distribution of 14.00 - 15.00 is Poisson with mean 714.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.665 Retain the null hypothesis.
6	The distribution of 15.00 - 16.00 is Poisson with mean 743.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.665 Retain the null hypothesis.
7	The distribution of 16.00 - 17.00 is Poisson with mean 861.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.293 Retain the null hypothesis.
8	The distribution of 17.00 - 18.00 is Poisson with mean 905.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	.254 Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Rata-rata Tingkat Kedatangan Kendaraan dan Pelayanan Kendaraan

Rata-rata tingkat kedatangan kendaraan dinotasikan dengan simbol lamda (λ). Rata-rata tingkat kedatangan kendaraan diperoleh dari hasil membagi jumlah kendaraan yang datang selama 5 hari dengan jumlah hari selama pengamatan.

Tabel 3. Rata-rata Tingkat Kedatangan Kendaraan

Periode Waktu (Jam)	Total Kendaraan Selama 5 Hari	λ (Kendaraan/Jam)
10.00 - 11.00	3345	669
11.00 - 12.00	3619	723,8
12.00 - 13.00	3151	630,2
13.00 - 14.00	3109	621,8
14.00 - 15.00	3568	713,6
15.00 - 16.00	3717	743,4
16.00 - 17.00	4303	860,6
17.00 - 18.00	4526	905,2

Untuk rata-rata tingkat pelayanan kendaraan dinotasikan dengan simbol miu (μ). Pada penelitian ini rata-rata tingkat pelayanan kendaraan diasumsikan sama untuk setiap kondisi kerjanya, hal ini dikarenakan pelayanan untuk setiap pengguna jalan tol dilakukan dengan kemampuan yang sama. Rata-rata tingkat pelayanan kendaraan diperoleh dari membagi waktu 3600 detik dengan waktu Standar Pelayanan Minimum (SPM), yaitu 11 detik.

Tabel 4. Rata-rata Tingkat Pelayanan Kendaraan

Periode Waktu (Jam)	Standar Waktu Pelayanan	μ (Kendaraan/Jam)
10.00 - 11.00	11 detik	327,27 kendaraan/jam (diperoleh dari 3600 detik/standar waktu pelayanan)
11.00 - 12.00		
12.00 - 13.00		
13.00 - 14.00		
14.00 - 15.00		
15.00 - 16.00		
16.00 - 17.00		
17.00 - 18.00		

Analisis Sistem Antrian Gerbang Tol Tanjung Mulia

Sistem antrian pada proses transaksi yang terjadi pada gardu keluar di gerbang tol Tanjung Mulia mengikuti struktur *Multi Channel Single Phase* dengan 3 gardu yang beroperasi pada saat penelitian berlangsung, dimana tingkat kedatangan kendaraan berdistribusi poisson dan tingkat pelayanan berdistribusi eksponensial. Sehingga sistem antrian pada gardu keluar tol mengikuti model antrian $(M/M/3):(FCFS/\infty/\infty)$.

Analisis Perhitungan Variabel Antrian

Dari hasil perhitungan distribusi jumlah kedatangan yang menunjukkan bahwa jumlah kedatangan kendaraan berdistribusi poisson, maka dapat ditentukan jenis model antrian yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu model antrian $(M/M/3):(FCFS/\infty/\infty)$, yang menyatakan:

1. Jumlah pelayanan atau server lebih dari satu ($M > 1$).
2. Disiplin pelayanan *First Come First Served*, tidak berhingganya jumlah kendaraan yang masuk dalam sistem antrian dan besarnya populasi tak terhingga.

Perhitungan dimulai dengan 3 (tiga) gardu tol yang beroperasi sesuai dengan keadaan saat penelitian berlangsung, hal ini bertujuan untuk mempertimbangkan tingkat kesibukan operator gardu karena apabila kurang dari 1 akan mengakibatkan antrian panjang dengan tingkat kedatangan kendaraan lebih besar dari waktu pelayanan.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Variabel-variabel Antrian

Periode Waktu	Variabel					
	ρ (%)	P_0 (%)	L_s (Kendaraan)	W_s (Jam)	L_q (Kendaraan)	W_q (Jam)
10.00 - 11.00	68,14	10,41	3,0395	0,0045	0,9953	0,0015
11.00 - 12.00	73,72	7,99	3,7491	0,0052	1,5375	0,0021
12.00 - 13.00	64,19	12,34	2,6607	0,0042	0,7351	0,0012
13.00 - 14.00	63,33	12,78	2,5883	0,0042	0,6883	0,0011
14.00 - 15.00	72,68	8,42	3,5966	0,005	1,4162	0,002
15.00 - 16.00	75,72	7,2	4,0767	0,0055	1,8051	0,0024
16.00 - 17.00	87,65	3,16	8,1391	0,0095	5,5095	0,0064
17.00 - 18.00	99,2	1,89	12,8825	0,0142	10,1166	0,0112

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa tingkat antrian paling tinggi terjadi pada periode waktu 17.00 – 18.00, hal ini dapat dilihat dari tingkat kesibukan operator yang mencapai 99,2% dan tingkat antrian paling rendah terjadi pada periode waktu 13.00 – 14.00 yang memperoleh tingkat kesibukan operator sebesar 63,33%.

Analisis Penentuan Jumlah Gardu Optimal dengan Model Tingkat Aspirasi

Pada penentuan jumlah gardu keluar tol yang optimal dengan model tingkat aspirasi ditentukan oleh dua faktor, yaitu waktu menunggu kendaraan dalam sistem (Ws) dan tingkat kesibukan operator gardu tol(X%).

Tabel 6. Perbandingan Jumlah Gardu Pada Saat Penelitian dengan Jumlah Gardu Berdasarkan Model Tingkat Aspirasi

Periode Waktu	Jumlah Gardu	
	Saat Penelitian	Berdasarkan Tingkat Aspirasi
10.00 - 11.00	3	4
11.00 - 12.00	3	4
12.00 - 13.00	3	3
13.00 - 14.00	3	3
14.00 - 15.00	3	4
15.00 - 16.00	3	4
16.00 - 17.00	3	4
17.00 - 18.00	3	4

Pada Tabel diatas, menunjukkan bahwa jumlah gardu keluar tol sebanyak 3 (tiga) gardu yang beroperasi untuk setiap periode waktu pada saat dilakukan penelitian masih kurang optimal terkecuali pada periode waktu 12.00 – 13.00 dan 13.00 – 14.00 yang sudah optimal untuk beroperasi, hal ini didasarkan dengan perbandingan dari grafik model tingkat aspirasi yang mengharuskan penambahan sebanyak 1 (satu) gardu untuk beroperasi.

Analisis Alternatif Terhadap Kondisi Perusahaan

Pada penelitian ini dihasilkan alternatif untuk memperbaiki masalah antrian yang terjadi di gerbang tol Tanjung Mulia. Alternatif yang ditentukan adalah dengan melakukan penambahan gardu keluar tol menjadi 4 (empat) gardu untuk beroperasi melayani pengguna jalan tol pada periode waktu tertentu. Alternatif ini didasarkan sesuai perbandingan antara kondisi perusahaan pada saat penelitian berlangsung dengan hasil perhitungan dengan model tingkat aspirasi. Namun mengingat dalam penambahan gardu harus membutuhkan biaya yang cukup besar dan lahan yang tersedia tidak mencukupi menjadi kendala bagi perusahaan. Alternatif menurut peneliti adalah dengan memanfaatkan 1 (satu) gardu masuk gerbang tol Tanjung Mulia, karena pada saat penelitian berlangsung gardu masuk tidak mengalami antrian atau kemacetan, kondisi lalu lintas kendaraan lancar karena pelayanan yang diberikan hanya memberikan tiket masuk jalan tol sesuai golongan kendaraan yang berlangsung maksimal selama 5 detik sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM). Penambahan jumlah gardu ini dilakukan hanya sebagai alternatif untuk mengetahui kebutuhan gardu yang tepat pada setiap periode waktu tertentu.



Gambar 4. Ilustrasi Penambahan Gardu Keluar Tol

Kesimpulan

1. Berdasarkan pengamatan sistem antrian pada proses transaksi yang terjadi pada gardu keluar di gerbang tol Tanjung Mulia mengikuti struktur *Multi Channel Single Phase* dengan 3 gardu yang beroperasi pada saat penelitian berlangsung dan mengikuti model antrian B ($M/M/3$): $(FCFS/\infty/\infty)$. Selanjutnya, berdasarkan hasil perhitungan variabel perhitungan menunjukkan bahwa tingkat antrian paling tinggi terjadi pada periode waktu 17.00 – 18.00, hal ini dapat dilihat dari tingkat kesibukan operator yang mencapai 99,2% dan tingkat antrian paling rendah terjadi pada periode waktu 13.00 – 14.00 yang memperoleh tingkat kesibukan operator sebesar 63,33%.
2. Berdasarkan hasil penentuan dengan model tingkat aspirasi menunjukkan bahwa jumlah gardu keluar tol sebanyak 3 (tiga) gardu yang beroperasi untuk setiap periode waktu pada saat dilakukan penelitian masih kurang optimal terkecuali pada periode waktu 12.00 – 13.00 dan 13.00 – 14.00 yang sudah optimal untuk beroperasi. Alternatif yang ditentukan adalah melakukan penambahan gardu keluar tol menjadi 4 (empat) gardu untuk beroperasi melayani pengguna jalantol pada periode waktu tertentu, dengan memanfaatkan 1 (satu) gardu masuk gerbang tol Tanjung Mulia.

Daftar Pustaka

- [1] Taha, H., 1996. *Riset Operasi*. Bina Rupa Aksara, Jakarta.
- [2] Hutahaean, Marthyn, 2007. *Evaluasi Kapasitas dan Pelayanan Gerbang Tol Tanjung Morawa*. <http://repository.usu.ac.id/>, diunduh pada tanggal 12 oktober 2016.
- [3] Ginting, Petrus Lajor, 2013. *Analisis Sistem Antrian dan Optimalisasi Layanan Teller*. <http://eprints.undip.ac.id/>, diunduh pada tanggal 12 oktober 2016

- [4] Sinulingga, Sukaria, 2008. *Pengantar Teknik Industri*, Edisi Pertama. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [5] Heizer, Jay dan Render, Bary. 2005. *Manajemen Operasi*. Edisi ketujuh. Salemba Empat, Jakarta.
- [6] Info Tol, 2016. <http://www.jasamarga.com/>, diakses pada tanggal 30 oktober 2016