

Pemodelan Antrian Kendaraan Bermotor Menggunakan Model Antrian M/M/1 di Simpang SAMSAT Soekarno-Hatta Kota Bandung Jawa Barat

Muhammad Farhan Rahmatiar*, Erwin Harahap, Farid Hirji Badruzzaman

Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*m.farhan.rhmt@gmail.com, erwin2h@gmail.com, faridhbadruzzaman@yahoo.com

Abstract. Conditions regarding urban traffic, especially big cities, for example in the Soekarno Hatta area, Bandung City, until now transportation in the area has experienced rapid development both in quality and quantity, resulting in congestion. One of the traffic lights that experiences a buildup of vehicles in Soekarno Hatta, Bandung City is at the traffic light at the Soekarno Hatta SAMSAT intersection, especially during peak hours (working hours). One alternative solution to reduce or prevent the accumulation of vehicles at traffic lights is to analyze the traffic system at times that are prone to vehicle accumulation using queuing theory. Analysis of the vehicle queuing system at traffic lights at the Soekarno-Hatta SAMSAT intersection using the M/M/1 queuing model. Based on the analysis using the M/M/1 queuing model, it can be concluded that the calculation results obtained the value of the average time proportion required for vehicles to pass through the queuing system is 97,47%, the average number of vehicles in the system is 38,46, The average number of vehicles waiting in the system is 0,36. the average waiting time in the queue is 0,35 and the average number of vehicles waiting in the queue is 37,48.

Keywords: *modeling, M/M/1 queue, traffic light crossing, transportation, congestion.*

Abstrak. Kondisi mengenai lalu lintas perkotaan khususnya kota-kota besar misalnya di Daerah Soekarno Hatta, Kota Bandung, hingga saat ini transportasi di daerah tersebut mengalami perkembangan yang pesat baik secara kualitas maupun kuantitas, sehingga mengakibatkan kemacetan. Salah satu lampu lalu lintas yang mengalami penumpukan kendaraan di Soekarno Hatta, Kota Bandung adalah di lampu lalu lintas persimpangan SAMSAT Soekarno Hatta, terutama pada saat jam sibuk (jam kerja). Salah satu alternatif solusi untuk mengurangi atau mencegah penumpukan kendaraan pada lampu lalu lintas adalah dengan melakukan analisis pada sistem lalu lintas pada waktu yang rawan terjadi penumpukan kendaraan dengan menggunakan teori antrian. Analisis sistem antrian kendaraan pada lampu lalu lintas di persimpangan SAMSAT Soekarno-Hatta menggunakan model antrian M/M/1. Berdasarkan analisis dengan menggunakan model antrian M/M/1 dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan diperoleh nilai proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian adalah 97,47%, jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem adalah 38,46, waktu rata-rata kendaraan menunggu dalam sistem adalah 0,36, waktu rata-rata menunggu dalam antrian adalah 0,35 dan jumlah rata-rata kendaraan yang menunggu dalam antrian adalah 37,48.

Kata Kunci: *pemodelan, antrian M/M/1, persimpangan lampu lalu lintas, transportasi, kemacetan.*

A. Pendahuluan

Kondisi mengenai lalu lintas perkotaan khususnya kota-kota besar misalnya di daerah Soekarno-Hatta, Kota Bandung, hingga saat ini transportasi di daerah tersebut mengalami perkembangan yang pesat baik secara kualitas maupun kuantitas. Perkembangan secara kualitas dapat dilihat dari kendaraan bermotor yang dari tahun ke tahun selalu mengalami perubahan dalam bentuk maupun sistem mesinnya. Secara kuantitas, jumlah kendaraan bermotor juga mengalami kenaikan.

Meningkatnya daya beli masyarakat terhadap kendaraan bermotor memicu meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Hal inilah yang menjadi salah satu alasan terjadinya kemacetan ataupun kecelakaan lalu lintas. Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (Bernaldy, 1997:1-2), meningkatnya kemacetan pada jalan perkotaan maupun jalan luar kota diakibatkan bertambahnya kepemilikan kendaraan, terbatasnya sumber daya untuk pembangunan jalan raya, dan belum optimalnya pengoperasian fasilitas lalu lintas yang ada. Hal ini merupakan persoalan utama di banyak kota.

Permasalahan kemacetan ini tidak bisa dibiarkan dan perlu langkah-langkah untuk mengatasinya. Solusi awal yang dapat dilakukan adalah dengan melebarkan jalan raya, namun hal tersebut memerlukan dana yang besar. Selain itu jalan raya yang terbatas, tidak mungkin lagi untuk diperlebar. Salah satu alternatif solusi untuk mengurangi atau mencegah penumpukan kendaraan pada lampu lalu lintas adalah dengan melakukan analisis pada sistem lalu lintas pada waktu yang rawan terjadi penumpukan kendaraan sehingga menimbulkan kemacetan. Terdapat beberapa metode analisis untuk mengurangi kemacetan kendaraan, salah satunya adalah dengan menggunakan teori antrian.

Kemacetan kendaraan dapat terjadi diberbagai titik lokasi lalu lintas, diantaranya adalah pada persimpangan lampu lalu lintas. Pada umumnya lampu lalu lintas dipergunakan untuk menghindari kemacetan persimpangan akibat konflik arus lalu lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi lalu lintas jam puncak (jam sibuk). Lampu lalu lintas ini berada pada persimpangan yang merupakan penghubung antara satu ruas jalan dengan ruas jalan lainnya. Permasalahan yang terjadi di persimpangan lampu lalu lintas adalah lamanya kendaraan berada di titik persimpangan tersebut karena distribusi durasi waktu lampu merah dan hijau yang tidak seimbang. Oleh karena itu, diperlukan sebuah model yang menjadikan persimpangan lampu lalu lintas dapat menyelesaikan antrian pada tiap jalur di persimpangan lampu lalu lintas dan mengawali siklus lampu lalu lintas selanjutnya tanpa ada antrian yang tersisa atau minimal tidak mengalami peningkatan jumlah antrian (Ortuzar & Willumsen, 1990).

Dalam penelitian ini akan dibahas pemodelan antrian waktu tunggu kendaraan pada persimpangan lampu lalu lintas SAMSAT Soekarno-Hatta dengan pola kedatangan kendaraan dengan model antrian M/M/1. Selain itu, pemodelan disusun dengan menggunakan data riil.

Persimpangan SAMSAT Soekarno-Hatta merupakan salah satu lokasi yang memiliki kepadatan tinggi di Kota Bandung, terutama pada saat jam kerja. Dipilihnya persimpangan

SAMSAT Soekarno-Hatta karena selain memiliki kepadatan tinggi juga presentase waktu pelayanannya kurang optimal.

B. Metodologi Penelitian

Model Antrian M/M/1

Model ini mempunyai pola kedatangan berdistribusi *poisson* dan waktu pelayanan berdistribusi eksponensial. Dalam situasi ini, kedatangan membentuk satu jalur tunggal untuk dilayani oleh satuan sistem tunggal. Perumusan nilai L dalam model antrian M/M/1 diperoleh berdasarkan rantai markov. Jika diasumsikan bahwa laju kedatangan adalah λ dan proporsi waktu dalam keadaan 0 adalah P_0 maka laju dimana proses meninggalkan keadaan 0 adalah λP_0 . Dimana keadaan 0 hanya bisa dicapai dari keadaan 1 melalui sebuah kedatangan. Artinya, jika ada satu pelanggan dalam sistem dan dia melengkapi layanannya, maka sistem menjadi kosong karena tingkat pelayanan μ dan proporsi waktu sistem memiliki tepat satu pelanggan adalah P_1 , maka laju proses memasuki keadaan 0 adalah (Ross, 2007). Maka berdasarkan prinsip tersebut

didapatkan persamaan :

$$\lambda P_0 = \mu P_1 \quad (2.1)$$

Jika keadaan saat ini dimisalkan sebagai n , maka keadaan selanjutnya adalah $n+1$ dan keadaan sebelumnya adalah $n-1$ maka berdasarkan persamaan (2.1) didapatkan :

$$(\lambda + \mu)P_n = \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+1} \quad (2.2)$$

Dari persamaan 2.5 dan 2.6 maka diperoleh :

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \quad (2.3)$$

$$P_2 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_0 \quad (2.4)$$

.

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \quad (2.5)$$

Jika $\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1$, maka $P_0 \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = 1$, kemudian diperoleh:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n} \quad (2.6)$$

Server utilization (ρ) dinyatakan sebagai $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, maka :

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n &= \sum_{n=0}^{\infty} (\rho)^n \\ &= \frac{1}{1 - \rho} \end{aligned}$$

Dimana nilai $\rho < 1$, kemudian diperoleh persamaan-persamaan berikut:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n} = 1 - \rho \quad (2.7)$$

$$P_1 = \rho P_0$$

$$P_2 = (\rho)^2 P_0$$

.

$$\begin{aligned} P_n &= (\rho)^n P_0 \\ &= (\rho)^n (1 - \rho) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Maka didapat nilai L sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L &= \sum_{n=0}^{\infty} n P_n \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n (1 - \rho) \\ &= (1 - \rho) \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n \\ &\quad \text{Dimana } \rho^n = \rho^1 \cdot \rho^n \cdot \rho^{-1}, \text{ maka} \\ L &= (1 - \rho) \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^{n-1} \\ &= (1 - \rho) \rho \frac{d}{d\rho} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \rho^n \right) \\ &= (1 - \rho) \rho \frac{d}{d\rho} \left(\frac{1}{1 - \rho} \right) \\ &= (1 - \rho) \rho \frac{1}{(1 - \rho)^2} \\ &= \frac{1}{(1 - \rho)} \\ &= \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Setelah didapatkan nilai L , maka nilai W, W_q, L_q sebagai berikut:

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2.10)$$

$$W_q = W - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.11)$$

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.12)$$

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah kendaraan yang melintasi persimpangan SAMSAT Soekarno-Hatta. Data tersebut didapatkan berdasarkan hasil pengamatan dalam waktu satu pekan. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah jumlah kedatangan kendaraan pada satu siklus lampu lalu lintas dan jumlah kendaraan yang mampu melalui satu siklus lampu lalu lintas. Jumlah kedatangan kendaraan yang dihitung adalah jumlah kendaraan yang menunggu untuk melalui lampu lalu lintas tanpa melihat sisa kendaraan sebelumnya dalam jarak tertentu. Jumlah kendaraan yang berhasil melalui lampu lalu lintas dihitung berdasarkan banyaknya kendaraan yang mampu melalui lampu lalu lintas.

Tabel 1. Lama waktu lampu lalu lintas

Waktu	Lampu Hijau		Lampu Merah	
	Detik	Menit	Detik	Menit
07:11:00 - 07:16:53	132 detik	2,2 menit	221 detik	3,68 menit
07:16:54 - 07:21:56	112 detik	1,87 menit	190 detik	3,17 menit
07:30:32 - 07:38:34	194 detik	3,23 menit	288 detik	4,8 menit
07:48:35 - 07:53:46	117 detik	1,95 menit	194 detik	3,23 menit
08:12:51 - 08:18:52	131 detik	2,18 menit	230 detik	3,83 menit
08:48:53 - 08:54:29	126 detik	2,1 menit	210 detik	3,5 menit
09:09:05 - 09:17:09	208 detik	3,47 menit	276 detik	4,6 menit
09:20:16 - 09:25:55	119 detik	1,98 menit	220 detik	3,67 menit
09:32:38 - 09:37:37	110 detik	1,83 menit	189 detik	3,15 menit
09:46:53 - 09:51:52	106 detik	1,77 menit	193 detik	3,22 menit
Rata-Rata	136 detik	2,26 menit	221 detik	3,68 menit

Tabel 2. Jumlah Kedatangan Kendaraan

Pengamatan ke	Waktu satu siklus		Jumlah Kendaraan
	Detik	Menit	
1	357	5,95	702
2	488	8,13	811

3	329	5,48	670
4	486	8,10	906
5	343	5,72	573
6	303	5,05	647
7	303	5,05	307
Rata-Rata	373	6,21	659

Tabel 3. Jumlah Keberangkatan Kendaraan

Pengamatan	Rata-rata Waktu lampu hijau		Rata-rata Waktu satu siklus		Rata-rata Jumlah Kendaraan
	Detik	Menit	Detik	Menit	
1	113	1,88	357	5,95	256
2	222	3,70	488	8,13	344
3	141	2,35	329	5,48	330
4	211	3,52	486	8,10	458
5	147	2,45	343	5,72	235
6	113	1,88	303	5,05	211
7	109	1,82	303	5,05	83
Rata-Rata Total	151	2,51	373	6,21	274

Model Antrian M/M/1

Kondisi sistem antrian ditentukan berdasarkan jumlah rata-rata kendaraan, waktu rata-rata yang digunakan sebuah kendaraan, serta menghitung kendaraan. Sebelum menghitung kondisi sistem antrian terlebih dahulu, menghitung jumlah rata-rata kedatangan dan jumlah rata-rata keberangkatan. Satuan waktu yang digunakan dalam menghitung kinerja adalah menit.

Kondisi sistem antrian dihitung dengan menggunakan model M/M/1 dan diperoleh nilai rata-rata kedatangan (λ) sebesar 106,16 atau 106 kendaraan permenit. Maksud dari hasil perhitungan tersebut adalah bahwa dalam satu menit rata-rata kendaraan yang datang berjumlah 106 kendaraan. Rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas adalah sebanyak 274 kendaraan dalam satu siklus lampu lintas, yaitu 6,21 menit. Dengan demikian nilai laju keberangkatan (μ) adalah sebesar 108,92 kendaraan permenit yang artinya dalam satu menit rata-rata kendaraan meninggalkan lampu lalu lintas adalah 108 kendaraan. Berdasarkan nilai tersebut maka, sebagai berikut:

1. Nilai proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) adalah

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{106,16}{108,92} = 0,9747 = 97,47\%$$

Proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian (ρ) mengalami kepadatan sebesar 97,47%. Hal ini menunjukkan bahwa kendaraan akan padat 97,47% dari kapasitas jalan, sedangkan 2,53% dari waktunya atau merupakan waktu kendaraan tidak ramai. Berdasarkan nilai ρ pada setiap harinya, nilai $\rho < 1$ sehingga model sistem antrian masih efektif untuk digunakan dapat juga dikatakan memenuhi kondisi *steady state*.

2. Jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem (L)

$$L = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} = \frac{106,16}{(108,92 - 106,16)} = 38,4574$$

Maka berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rata-rata kendaraan dalam sistem adalah 38 kendaraan permenit

3. Waktu rata-rata kendaraan menunggu dalam sistem (W)

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{108,92 - 106,16} = 0,36226$$

Maka berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rata-rata kendaraan menunggu dalam sistem adalah 0,36 menit atau 22 detik. Pada pengamatan lain waktu rata-rata kendaraan menunggu selama 1,70 menit atau 102 detik, galat error yang didapat adalah 21 %.

4. Waktu rata-rata kendaraan menunggu dalam dalam antrian (Wq)

$$Wq = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{106,16}{108,92(108,92 - 106,16)} = 0,35308$$

Maka berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rata-rata kendaraan menunggu dalam sistem adalah 0,35 menit atau 21 detik. Pada pengamatan lain waktu rata-rata kendaraan menunggu selama 1,70 menit atau 102 detik, galat error yang didapat adalah 21 %.

5. Jumlah rata-rata kendaraan dalam antrian (Lq)

$$Lq = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{106,16^2}{108,92(108,92 - 106,16)} = 37,48278$$

Maka berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai rata-rata kendaraan dalam antrian adalah 37 kendaraan.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan tentang teori antrian lampu lalu lintas pada persimpangan SAMSAT Soekarno-Hatta dengan menggunakan model antrian M/M/1 didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Model antrian M/M/1 dapat menghitung sistem antrian ditentukan berdasarkan jumlah rata-rata kendaraan dalam sistem dan antrian, waktu rata-rata yang digunakan sebuah kendaraan. Sebelumnya dilakukan uji distribusi eksponensial agar dipastikan bahwa data yang digunakan berdistribusi eksponensial.
2. Kondisi sistem antrian lalu lintas pada persimpangan SAMSAT Soekarno-Hatta pada bulan Mei 2021 dengan jumlah kendaraan dalam sistem adalah 38,4574 kendaraan permenit, jumlah kendaraan dalam antrian adalah 37,4927 kendaraan permenit, rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam sistem adalah 0,3622 menit dan rata-rata waktu yang dibutuhkan kendaraan dalam antrian adalah 0,3531 menit
3. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan tentang penerapan teori antrian lampu lalu lintas di persimpangan SAMSAT Soekarno Hatta dengan menggunakan model antrian M/M/1 didapatkan Hasil analisis antrian di persimpangan SAMSAT Soekarno-Hatta, proporsi waktu rata-rata yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati sistem antrian pada bulan Mei 2021 dengan kepadatan 97,47%. Dengan nilai $\rho < 1$ sehingga model sistem antrian masih efektif untuk digunakan dapat juga dikatakan memenuhi kondisi *steady state*.

Daftar Pustaka

- [1] Fakhri, M. Y. (2019). *Model Antrian dan Algoritma Welch-Powell Pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas (Studi Kasus Lampu Lalu lintas Pasteur Bandung)*. Bandung: Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung.
- [2] Harahap, E., Badruzzaman, F., Permanasari, Y (2018). *Analisis Antrian Lalu Lintas Pada Persimpangan Buah Batu-Soekarno Hatta Bandung*. Bandung., Vol. 17., No.2
- [3] Mufidah, N. (2018). *Pemodelan Antrian Kendaraan Bermotor Menggunakan Model Antrian M/M/1 di Simpang Tiga Ringroad Utara Yogyakarta Pada Pagi Hari dan Sore Hari*.
- [4] Yogyakarta: Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
- [5] Puspitasari, D. (2016). *Analisis Kinerja Sistem Lalu Lintas Persimpangan Menggunakan*

Metode Teori Antrian dengan Model Constans Service Time (M/D/1). Yogyakarta: Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.

- [6] Riana, M. (2014). *Model Antrian Waktu Tunggu Kendaraan di Persimpangan Lampu Lalu Lintas Condong Catur dengan Compound Poisson Arivals dan Memperhatikan Sisa Antrian Sebelumnya*. Yogyakarta: Program Studi Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [7] Subekti, R. (2013). *Modul Praktikum Teori Antiran*. Yogyakarta: Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [8] Fakhri Muammar Yusuf, Harahap Erwin, Badruzzaman Farid Hirji, (2021). *Implementasi Algoritma Welch-Powell pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas Pasteur Bandung*. Jurnal Riset Matematika, 1(2), 91-98.