

OPTIMASI WAKTU PELAYANAN TERMINAL PURABAYA DENGAN PENDEKATAN ENTROPI MAKSIMUM

IMRON KUSWANDI

Jurusan Teknik Industri Universitas Trunojoyo

Jl. Raya Telang PO. Box. 2 Kamal, Bangkalan 69162 Telp. (031) 3011147, Fax. (031) 3011506

ABSTRACT

The main purpose in queue case was achieving equilibrium between service fees and the fees caused by the available waiting times. This case also happened on the queue system at Purabaya Terminal, Surabaya. In the one hand, the exceed service capacity preparation will cause the queue time. On the other hand, the less service capacity preparation will cause the bigger losses must be guaranteed by bus businessman because of not carrying a number of passengers. Cases at Purabaya Terminal were really general queue cases that can be solved by using the available queue theory. But which methodologically there were problems from the queue theory that has been available, in the queue theory that has been available frequently is less able to give real situation image from the observed system. This case was indicated by the happening several assumptions about the available probability distribution of certain system state in which this case will limit the real condition from the observed system. Because the conventional approach has weaknesses, this research used entropy approach. The entropy approach enables to handle the queue system by arrival rates which spread generally. Then, by entropy approach, it can be determined the optimal capacity service for the fast and limited bus armadas as follows: West Line I = 17 minutes 17 seconds, West Line II = 14 minutes 43 seconds, South Line = 13 minutes 21 seconds, East Line = 12 minutes 37 seconds, Madura Line = 2 hours 19 minutes, and Semarang Line = 1 hours 47 minutes.

Key words: *queue systems, systems probability distribution, entropy, optimization*

PENDAHULUAN

Sebagaimana permasalahan klasik yang selalu terjadi pada kasus-kasus antrian, hal yang sama juga terjadi pada sistem antrian yang ada di Terminal Purabaya Surabaya. Di satu pihak penyediaan kapasitas pelayanan yang berlebih akan menimbulkan bertambahnya waktu tunggu. Di lain pihak, penyediaan kapasitas pelayanan yang kurang akan mengakibatkan semakin besarnya kerugian yang harus ditanggung oleh pihak pengusaha bus akibat tidak terangkutnya sejumlah penumpang. Untuk mengatasi kondisi tersebut, diperlukan suatu studi guna menentukan kapasitas pelayanan yang optimal sehingga dapat diperoleh total ongkos minimal. Total ongkos di sini meliputi ongkos pelayanan dan ongkos penungguan.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis sistem antrian yang terdapat di Terminal Purabaya Surabaya khususnya pada jalur bus patas melalui pendekatan hukum entropi sehingga dapat diketahui karakteristik antrian yang meliputi distribusi probabilitas sistem,

jumlah rata-rata armada bus patas yang terdapat dalam sistem, jumlah rata-rata armada bus patas yang menunggu dalam antrian, jumlah rata-rata armada bus patas yang menerima pelayanan, waktu rata-rata dalam sistem serta waktu rata-rata dalam antrian. Selanjutnya dapat ditentukan kapasitas pelayanan yang optimal. Studi yang dilakukan dalam penelitian ini akan mencoba merumuskannya sehingga dapat diperoleh cukup informasi bagi penentuan kapasitas pelayanan yang dibutuhkan secara tepat agar dapat diperoleh total ongkos minimal.

METODE

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan observasi di Terminal Purabaya Surabaya untuk melihat bentuk permasalahan yang sesuai dengan model antrian yang dianalisis. Dari hasil pengkajian teori-teori yang relevan dan pemahaman sistem yang ada, kemudian dilakukan pemodelan sistem yang selanjutnya akan digunakan untuk pemecahan masalah.

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data kedatangan armada bus patas per satuan waktu, data tentang laju pelayanan armada bus patas yang diberikan oleh pihak terminal per satuan waktu dan ongkos pelayanan serta ongkos penungguan. Langkah terakhir dalam penelitian ini adalah menentukan kondisi rata-rata laju pelayanan per satuan waktu yang optimal sehingga dapat diperoleh total ongkos minimal.

Jika informasi tentang ekspektasi laju kedatangan per satuan waktu $[E(d)]$, rata-rata jumlah customer yang dilayani per satuan waktu (μ) dan rata-rata jumlah customer dalam sistem per satuan waktu (L) diketahui, maka melalui pendekatan entropi maksimum dapat ditentukan distribusi state sistem yang mungkin melalui formulasi berikut (Hadi, 2005):

$$P_n = \frac{L^n}{(1+L)^{n+1}}; (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Selanjutnya dengan menggunakan rumus LITTLE melalui pendekatan entropi maksimum dapat diturunkan model antrian G/M/1 sebagai berikut (Kouvatsos, 1998):

$$L_s = \frac{1/\mu[\text{var}(d)+E(d)]}{2[1-1/\mu \cdot E(d)]}$$

$$W_q = \frac{1/\mu[\text{var}(d)+E(d)]}{2E(d) \cdot [1-1/\mu \cdot E(d)]}$$

$$W_s = \frac{1/\mu[\text{var}(d)+E(d)]}{2E(d) \cdot [1-1/\mu \cdot E(d)]}$$

Verifikasi model ditujukan untuk memeriksa formulasi model yang dikembangkan tanpa melibatkan data empiris untuk mengetahui apakah model tersebut benar-benar menggambarkan sistem nyata yang dimodelkan (Djati, 2007). Karena model yang dikembangkan berlaku untuk sembarang distribusi kedatangan, berarti model tersebut seharusnya juga sesuai dengan model antrian M/M/1, dimana karena inputnya berdistribusi poisson, maka variansi kedatangannya adalah: $\text{var}(d) = \text{ekspektasi kedatangan } E(d) = \lambda$. Jika persamaan tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan-persamaan (1), (2), (3), (4) dan (5), maka akan diperoleh persamaan-persamaan berikut (Taha, 2006):

$$P_n = \left[\frac{\lambda}{\mu} \right]^n \cdot \left[1 - \frac{\lambda}{\mu} \right]; L_q = \frac{\lambda^2}{\mu \cdot (\mu - \lambda)}; L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda};$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu \cdot (\mu - \lambda)} \cdot \text{ dan } W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

(Djati, 2007) menyatakan validasi model ditujukan untuk memeriksa formulasi model yang dikembangkan dengan melibatkan data empiris untuk mengetahui apakah model tersebut benar-benar menggambarkan/mewakili sistem nyata yang dimodelkan, yang mana dalam hal ini ditunjukkan dengan contoh penerapan model yang telah dikembangkan tersebut di lapangan, yaitu untuk menentukan optimasi waktu pelayanan armada bus patas yang terdapat di Terminal Purabaya Surabaya untuk semua jurusan.

Yang dimaksud dengan kapasitas pelayanan adalah lamanya waktu yang diberikan oleh pihak terminal pada setiap armada bus patas yang berada pada posisi paling depan pada setiap jalur untuk menaikkan penumpang. Sedangkan yang dimaksud dengan ongkos pelayanan adalah besarnya kerugian yang harus ditanggung oleh pengusaha bus akibat tidak terangkutnya sejumlah penumpang sehubungan dengan lamanya waktu pelayanan yang diberikan oleh pihak terminal terhadap armada bus patas setiap kali memasuki terminal untuk menaikkan penumpang. Dan yang dimaksud dengan ongkos penungguan adalah besarnya ongkos yang harus dikeluarkan oleh pihak pengusaha bus sehubungan dengan tidak beroperasinya armada bus patas tersebut. Tidak beroperasinya armada bus patas, artinya bahwa armada bus patas tersebut dalam keadaan menganggur karena harus antri terlebih dahulu sebelum mendapatkan kesempatan untuk menaikkan penumpang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen-komponen antrian yang akan dihitung dengan model antrian yang dikembangkan (dengan pendekatan entropi maksimum) adalah jumlah rata-rata armada bus patas yang terdapat dalam sistem, rata-rata waktu menunggu

armada bus patas dalam antrian, rata-rata waktu menunggu armada bus patas dalam sistem, rata-rata laju pelayanan yang diberikan oleh pihak terminal terhadap armada bus patas, total ongkos pada laju pelayanan μ (saat ini) serta total ongkos pada laju pelayanan untuk μ optimal.

Selain dengan pendekatan entropi maksimum, komponen-komponen antrian tersebut juga akan dihitung dengan menggunakan model-model antrian yang sudah ada (pendekatan konvensional) serta dengan L_q , L_s , W_q dan W_s yang diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan (sebagai pembandingan).

Berdasarkan hasil pengamatan di Terminal Purabaya Surabaya, diketahui rata-rata kedatangan armada bus patas $[E(d)]$, variansi laju kedatangan armada bus patas $[\text{var}(d)]$ serta rata-rata laju kedatangan penumpang bus patas $[E(p)]$ per jam untuk semua jurusan sebagaimana dapat disimak pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil pengamatan di Terminal Purabaya Surabaya tersebut, juga diketahui rata-rata jumlah armada bus patas yang dilayani per jam (μ) serta rata-rata waktu pelayanan yang diberikan oleh pihak terminal terhadap armada bus patas ($1/\mu$) untuk semua jurusan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Selanjutnya pada Tabel 3 berikut ini disajikan perbandingan perhitungan komponen-komponen antrian yang diperoleh dengan pendekatan entropi maksimum, model-model antrian yang sudah ada (teori konvensional) serta dari hasil pengamatan.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pendekatan entropy maksimum cenderung dapat memberikan hasil yang lebih memuaskan dibandingkan dengan menggunakan teori konvensional. Hal ini terjadi karena pola kedatangan armada bus patas di Terminal Purabaya tidak benar-benar berdistribusi poisson. Semakin besar tingkat penyimpangannya dari distribusi poisson, maka hasil perhitungan yang

Tabel 1. Data rata-rata laju kedatangan armada bus patas, variansi laju kedatangan armada bus patas, serta rata-rata laju kedatangan penumpang bus patas untuk semua jurusan di terminal purabaya

Jurusan	Barat I	Barat II	Selatan	Timur	Madura	Semarang
E(d)	3,07 bus/jam	3,69 bus/jam	3,92 bus/jam	4,33 bus/jam	0,31 bus/jam	0,43 bus/jam
Var(d)	2,70	1,00	2,47	3,45	0,08	0,51
E(p)	75,51 org/jam	95,54 org/jam	96,92 org/jam	104,61 org/jam	8,55 org/jam	11,21 org/jam

Tabel 2. Data rata-rata jumlah armada bus patas yang dilayani serta rata-rata waktu pelayanan yang diberikan terminal terhadap armada bus patas

Jurusan	Barat I	Barat II	Selatan	Timur	Madura	Semarang
μ	4,18 bus/jam	4,98 bus/jam	5,49 bus/jam	5,68 bus/jam	0,45 bus/jam	0,59 bus/jam
$1/\mu$	14 menit 22 detik	12 menit 15 detik	10 menit 55 detik	10 menit 34 detik	2 jam 14 menit	1 jam 42 menit

Tabel 3. Perhitungan Komponen-komponen Antrian

	Barat I			Barat II			Selatan		
	Entropi	Konvensional	Pengamatan	Entropi	Konvensional	Pengamatan	Entropi	Konvensional	Pengamatan
Lq	1,920 bus	2,044 bus	1,950 bus	1,343 bus	2,112 bus	1,350 bus	1,445 bus	1,773 bus	1,500 bus
Ls	2,611 bus	2,780 bus	2,610 bus	1,813 bus	2,853 bus	1,950 bus	2,026 bus	2,486 bus	2,100 bus
Wq	0,611 jam	0,666 jam	0,625 jam	0,291 jam	0,573 jam	0,325 jam	0,335 jam	0,453 jam	0,400 jam
Ws	0,850 jam	0,905 jam	0,860 jam	0,492 jam	0,774 jam	0,550 jam	0,517 jam	0,635 jam	0,500 jam
	Timur			Madura			Semarang		
	Entropi	Konvensional	Pengamatan	Entropi	Konvensional	Pengamatan	Entropi	Konvensional	Pengamatan
Lq	2,194 bus	2,443 bus	2,250 bus	0,950 bus	1,501 bus	1,100 bus	2,228 bus	2,045 bus	2,250 bus
Ls	2,879 bus	3,205 bus	2,950 bus	1,384 bus	2,188 bus	1,500 bus	3,029 bus	2,781 bus	2,900 bus
Wq	0,489 jam	0,564 jam	0,500 jam	2,273 jam	4,888 jam	2,500 jam	5,299 jam	4,725 jam	5,100 jam
Ws	0,665 jam	0,740 jam	0,675 jam	4,508 jam	7,122 jam	4,750 jam	6,999 jam	6,425 jam	6,850 jam

diperoleh dengan menggunakan teori konvensional akan semakin menyimpang pula dari kondisi sistem yang sesungguhnya. Sedangkan apabila digunakan pendekatan entropi maksimum, maka hal ini tidak banyak berpengaruh karena pendekatan entropi maksimum berlaku untuk sembarang distribusi kedatangan.

Pengambilan keputusan dari model antrian yang dikembangkan di sini berangkat dari suatu anggapan bahwa μ dapat dikendalikan sehingga dapat ditentukan nilai optimalnya.

Jika diketahui bahwa C_I = ongkos pelayanan dan C_{II} = ongkos tunggu, maka total ongkos pada laju pelayanan sebesar μ diberikan oleh formula berikut: $TC(\mu) = C_I + C_{II}$. Karena $C_I = [K - 1/\mu \cdot E(p)] \cdot [Tp - (20\% + 10\% + 5\%) \cdot Tp]$ dan $C_{II} = Cb \cdot Wq$, maka: $TC(\mu) = [K - 1/\mu \cdot E(p)] \cdot [Tp - (20\% + 10\% + 5\%) \cdot Tp] + Cb \cdot Wq$

Perhitungan besarnya biaya tunggu dianalogikan dengan biaya rata-rata yang dikeluarkan perusahaan otobus per jam yang besarnya sama dengan biaya rata-rata operasional bus patas per jam. Sedangkan aturan penetapan ongkos sopir, kondektur dan kernet terdapat variasi untuk setiap perusahaan otobus.

Pada penelitian ini diambil nilai rata-rata untuk ongkos sopir, kondektur dan kernet masing-masing sebesar 20%, 10%, dan 5% dari total pemasukan.

Secara matematis, nilai optimal dari μ dapat ditentukan dengan rumusan berikut Arifin, 2005):

$$\begin{aligned} TC(\mu) &= [K - 1/\mu \cdot E(p)] \cdot [Tp - (20\% + 10\% + 5\%) \cdot Tp] + Cb \cdot Wq \\ &= 0,65 \cdot K \cdot Tp - \frac{0,65 \cdot E(p) \cdot Tp}{\mu} + Cb \cdot \left[\frac{1/\mu [\text{var}(d) + E(d)] - 1}{2 \cdot E(d) \cdot [1 - 1/\mu \cdot E(d)]} \right] \\ &= 0,65 \cdot K \cdot Tp - \frac{0,65 \cdot E(p) \cdot Tp}{\mu} + \frac{Cb/\mu \cdot [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot E(d) \cdot [1 - 1/\mu \cdot E(d)]} - \frac{Cb}{\mu} \\ TC(\mu) &= 0,65 \cdot K \cdot Tp - \frac{0,65 \cdot E(p) \cdot Tp}{\mu} + \frac{Cb \cdot [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot E(d) \cdot [\mu - E(d)]} - \frac{Cb}{\mu} \end{aligned}$$

Nilai optimal dari μ dapat ditentukan dengan mencari turunan pertama dari $TC(\mu)$ terhadap μ sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\frac{\partial TC(\mu)}{\partial \mu} = 0 + \frac{0,65 \cdot E(p) \cdot Tp}{\mu^2} - \frac{Cb \cdot [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot E(d) \cdot [\mu - E(d)]^2} + \frac{Cb}{\mu^2}$$

$$\frac{\partial TC(\mu)}{\partial \mu} = \frac{0,65 \cdot E(p) \cdot Tp + Cb}{\mu^2} - \frac{Cb \cdot [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot E(d) \cdot [\mu - E(d)]^2}$$

Nilai μ tersebut optimal jika: $\frac{\partial TC(\mu)}{\partial \mu} = 0$

$$\text{sehingga: } \frac{0,65 \cdot E(p) \cdot Tp + Cb}{\mu^2} - \frac{Cb \cdot [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot E(d) \cdot [\mu - E(d)]^2}$$

Selanjutnya berdasarkan persamaan (7) tersebut, besarnya μ optimal dapat ditentukan. Pada Tabel 4 berikut ini disajikan perhitungan $TC(\mu)$ berdasarkan μ saat ini dan berdasarkan μ optimal terhadap komponen-komponen antrian di terminal Purabaya untuk armada bus patas semua jurusan.

SIMPULAN

Pendekatan entropi merupakan suatu pendekatan untuk menyelesaikan persoalan sistem antrian yang sulit diselesaikan dengan pendekatan konvensional. Pendekatan entropi ini memungkinkan untuk menangani sistem-sistem antrian dengan laju kedatangan yang tersebar secara umum. Literatur-literatur *operation research* yang ada sampai saat ini belum memberikan contoh penerapan pendekatan entropi ini di lapangan.

Jika informasi tentang ekspektasi laju kedatangan per satuan waktu $[E(d)]$, rata-rata jumlah customer yang dilayani per satuan waktu (μ) dan rata-rata jumlah customer dalam sistem per satuan waktu (L) diketahui, maka melalui pendekatan entropi maksimum dapat ditentukan distribusi state sistem yang mungkin melalui

$$\text{formulasi berikut: } P_n = \frac{L^n}{(1+L)^{n+1}}; (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Dengan menggunakan rumus LITTLE melalui pendekatan entropi maksimum dapat diturunkan model antrian G/M/1 sebagai berikut:

$$Lq = \frac{1/\mu [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot [1 - 1/\mu \cdot E(d)]};$$

$$Wq = \frac{1/\mu [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot E(d) \cdot [1 - 1/\mu \cdot E(d)]} \cdot \frac{1}{\mu};$$

dan

$$Ws = \frac{1/\mu [\text{var}(d) + E(d)]}{2 \cdot E(d) \cdot [1 - 1/\mu \cdot E(d)]}.$$

Tabel 4. Perhitungan TC(μ)

	Barat I		Barat II		Selatan	
	Berdasarkan μ Saat ini	Berdasarkan μ Optimal	Berdasarkan μ Saat ini	Berdasarkan μ Optimal	Berdasarkan μ Saat ini	Berdasarkan μ Optimal
μ	4,18 bus/jam	3,47 bus/jam	4,98 bus/jam	4,07 bus/jam	5,49 bus/jam	4,50 bus/jam
$1/\mu$	14 menit 22 detik	17 menit 17 detik	12 menit 15 detik	14 menit 43 detik	10 menit 55 detik	13 menit 21 detik
Lq	1,920 bus	6,393 bus	1,343 bus	5,484 bus	1,445 bus	4,801 bus
Ls	2,611 bus	7,224 bus	1,813 bus	6,060 bus	2,026 bus	5,511 bus
Wq	0,611 jam	2,064 jam	0,291 jam	1,398 jam	0,335 jam	1,185 jam
Ws	0,850 jam	2,352 jam	0,491 jam	1,643 jam	0,57 jam	1,407 jam
TC (μ)	Rp768.620,46	Rp577.926,24	Rp656.352,13	Rp440.602,57	Rp699.087,00	Rp415.331,96

	Timur		Madura		Semarang	
	Berdasarkan μ Saat ini	Berdasarkan μ Optimal	Berdasarkan μ Saat ini	Berdasarkan μ Optimal	Berdasarkan μ Saat ini	Berdasarkan μ Optimal
μ	5,68 bus/jam	4,75 bus/jam	0,45 bus/jam	0,43 bus/jam	0,59 bus/jam	0,56 bus/jam
$1/\mu$	10 menit 34 detik	12 menit 37 detik	2 jam 14 menit	2 jam 19 menit	1 jam 42 menit	1 jam 47 menit
Lq	2,194 bus	8,379 bus	0,950 bus	1,097 bus	2,228 bus	2,896 bus
Ls	2,879 bus	9,197 bus	1,384 bus	1,546 bus	3,029 bus	3,739 bus
Wq	0,489 jam	1,913 jam	2,273 jam	2,724 jam	5,299 jam	6,849 jam
Ws	0,665 jam	2,124 jam	4,508 jam	5,034 jam	6,999 jam	8,638 jam
TC (μ)	Rp1.111.238,56	Rp727.259,87	Rp418.233,70	Rp440.602,57	Rp1.073.500,84	Rp1.035.610,93

Dari uji verifikasi dapat disimpulkan bahwa model antrian tersebut dapat diterima karena dengan mensubstitusikan variansi kedatangan $\text{var}(d) = \text{ekspektasi kedatangan } E(d) = \lambda$ kedalam persamaan-persamaan tersebut dapat diperoleh persamaan-persamaan yang berlaku untuk model M/M/1.

Hasil perhitungan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pendekatan entropi maksimum cenderung dapat memberikan hasil yang lebih memuaskan dibandingkan dengan menggunakan teori konvensional. Hal ini terjadi karena pola kedatangan armada bus patas di Terminal Purabaya tidak benar-benar berdistribusi poisson. Semakin besar tingkat penyimpangannya dari distribusi poisson, maka hasil perhitungan yang diperoleh dengan menggunakan teori konvensional akan semakin menyimpang pula dari kondisi sistem yang sesungguhnya. Sedangkan apabila digunakan pendekatan entropi maksimum, maka hal ini tidak banyak berpengaruh karena pendekatan entropy maksimum berlaku untuk sembarang distribusi kedatangan. Hal ini menunjukkan bahwa model antrian yang dikembangkan tersebut cukup valid.

Selanjutnya dengan menggunakan pendekatan entropi maksimum tersebut dapat diketahui bahwa kapasitas pelayanan (rata-rata waktu pelayanan

oleh pihak terminal Purabaya) yang optimal yang dapat memberikan total ongkos (ongkos pelayanan dan ongkos penungguan) minimal untuk armada bus patas adalah: Jurusan Barat I = 17 menit 17 detik, Jurusan Barat II = 14 menit 43 detik, Jurusan Selatan = 13 menit 21 detik, Jurusan Timur = 12 menit 37 detik, Jurusan Madura = 2 jam 19 menit, dan Jurusan Semarang = 1 jam 47 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariffin, M.K., 2005. *Termodinamik Asas*. Edisi ke-1, Johor Darul Takzim. Penerbit UTM.
- Djati, B.S.L., 2007. *Simulasi: Teori dan Aplikasinya*, Edisi ke-1. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- Guiasu, S., 1986. Maximum Entropy Condition in Queueing Theory. *Journal of the Operational Research Society*, 37(3): 293–301.
- Hadi, M., 2005. *Entropy dan Hukum Kedua Termodinamika*. Fisika LIPI, <http://www.fisikanet.lipi.go.id>
- Kouvatsos, D.D., 1988. A Maximum Entropy Analysis of the G/G/1 Queue at Equilibrium, *Journal of the Operational Research Society*, 39(2): 183–200.
- Taha, H.A., 2006. *Operations Research: An Introduction*, 8th edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Walpole, Ronald E., Myers, R.H., Myers, Sharon S.L., dan Ye, K., 2006. *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*, 7th Edition. New Jersey: Prentice Hall.