

PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI UNTUK ANALISIS SISTEM JALAN TOL SEMARANG

Singgih Saptadi dan Susatyo Nugroho

LABORATORIUM SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN

Program Studi Teknik Industri

Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang

Kampus UNDIP Tembalang Semarang

Email: singgihs@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, kami mengembangkan sebuah model simulasi yang merepresentasikan sistem jalan tol. Setelah membuktikan model simulasi cukup memadai merepresentasikan sistem jalan tol, maka kami melakukan analisis terhadap model untuk mendapatkan dugaan kinerja sistem saat ini. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dibangun usulan sistem yang baru dengan harapan memberikan kinerja yang lebih baik. Kinerja sistem diukur dengan standar kinerja berupa utilisasi fasilitas layanan, rata-rata panjang antrian dan waktu tunggu kendaraan dalam antrian. Perbandingan antara model simulasi sistem awal dan model simulasi sistem usulan memberikan hasil bahwa model simulasi sistem usulan memberikan rata-rata panjang antrian dan rata-rata waktu tunggu yang lebih kecil dengan tetap mempertahankan utilisasi fasilitas layanan. Ini berarti sistem yang diusulkan diduga memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem yang berjalan saat ini.

Kata Kunci: Model, Simulasi, Analisis sistem, Standar kinerja.

Pendahuluan

Sebagai kota industri terbesar di Jawa Tengah, sekaligus titik pertemuan dua jalur transportasi utama di pulau Jawa (*jalur pantai utara dan jalur selatan Jawa*), Semarang selalu dihadapkan pada permasalahan kemacetan lalu lintas yang terjadi di dalam kota. Untuk mengalihkan kepadatan kendaraan yang melewati kota Semarang, maka dilakukan pembangunan jalan tol di Semarang. Saat ini, jalan tol Semarang memiliki beberapa pintu masuk dan keluar – baik dilengkapi fasilitas pelayanan pembayaran tol maupun tidak. Yang tidak dilengkapi fasilitas pelayanan pembayaran tol: pintu masuk

Jatingaleh dari arah kota, pintu masuk Jatingaleh dari arah Gombel, pintu masuk Gayamsari ke arah Muktiharjo, pintu keluar Jatingaleh dari arah timur, pintu keluar Jatingaleh dari arah Manyaran, pintu keluar Gayamsari dari arah Muktiharjo. Yang memiliki fasilitas pelayanan pembayaran tol, yaitu: pintu masuk dan keluar Manyaran, Tembalang, Muktiharjo dan Gayamsari.

Terjadinya fluktuasi arus kendaraan yang menggunakan fasilitas jalan tol Semarang, yang ditandai dengan volume dan waktu antar kedatangan kendaraan yang stokastik, sangat mempengaruhi sistem pelayanan jalan tol Semarang. Terjadinya kepadatan arus kendaraan yang menggunakan jalan tol pada waktu-waktu tertentu, menyebabkan antrian yang panjang dan lama. Hal ini akan berdampak pada berkurangnya kenyamanan pengguna jalan tersebut. Sementara rendahnya volume arus kendaraan yang menggunakan jalan pada waktu lainnya, menyebabkan banyaknya fasilitas pelayanan yang menganggur, yang berarti pemborosan dalam operasional jalan tol yang dilakukan.

Simulasi jalan tol Semarang sebagai sebuah teknik analisis sistem jalan tol Semarang secara terintegrasi, dapat memberikan gambaran tentang kondisi layanan pada seluruh gerbang tol Semarang. Setiap fluktuasi volume kendaraan yang terjadi pada pintu masuk jalan tol akan dapat diketahui dampaknya terhadap seluruh gerbang tol Semarang secara langsung. Hal ini memudahkan evaluasi dan pengambilan kebijakan dalam mengoperasikan fasilitas pelayanan yang sesuai dengan kebutuhan.

Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang kondisi layanan diseluruh gerbang tol Semarang yang diukur dengan utilisasi fasilitas pelayanan (U), rata-rata panjang antrian (L_q), dan rata-rata waktu tunggu (W_q). Selain itu, diharapkan hasil penelitian ini membantu PT. Jasa Marga dalam mengoperasikan jalan tol Semarang, khususnya dalam melakukan evaluasi terhadap kondisi layanan fasilitas pelayanan yang akan dioperasikan pada waktu-waktu tertentu.

Model Simulasi

Sistem didefinisikan sebagai kumpulan entitas, seperti : manusia atau mesin, yang melakukan aksi atau berinteraksi untuk mencapai sebuah tujuan [Law00]. Sebagai contoh, sistem manufaktur mobil. mesin-mesin, komponen-komponen dan para pekerja menjalankan operasi bersama untuk menghasilkan mobil berkualitas tinggi [Banks98]. Sebuah sistem sering dipengaruhi oleh perubahan yang terjadi diluar sistem. Perubahan-perubahan tersebut disebut terjadi dilingkungan sistem. Penentuan sistem dan lingkungannya ditentukan oleh tujuan studi yang dilakukan. karena itu, kumpulan entitas yang menyusun sebuah sistem bagi sebuah studi, mungkin saja sebuah bagian dari sebuah sistem yang lebih besar [Law00].

Dalam sebuah sistem, sebuah entitas adalah sebuah obyek yang menjadi perhatian dalam sistem. Sebuah server adalah entitas yang melakukan fungsi tertentu atau entitas yang berinteraksi dengan entitas selainnya menjalankan sebuah aktivitas. Sebuah atribut adalah karakteristik yang dimiliki oleh sebuah entitas. Sebuah aktivitas merepresentasikan sebuah rentang waktu tertentu. Sebuah event adalah kejadian sesaat dalam sistem yang menyebabkan perubahan status sistem. Status (state) sebuah sistem adalah kumpulan variabel yang diperlukan untuk menggambarkan perilaku sistem pada suatu waktu tertentu relatif terhadap tujuan dari studi yang dilakukan [Law00]. Dalam studi terhadap rantai produksi sebuah pabrik, sebagai contoh, banyak mesin sibuk, banyak job dilantai pabrik dan banyak komponen menunggu di proses dilantai produksi bisa menjadi variabel-variabel status sistem pabrik.

Model adalah representasi sistem yang ditentukan untuk tujuan studi terhadap sistem. Bagi sebagian besar studi, tidak perlu memperhatikan semua detail sebuah sistem. Karena itu, sebuah model tidak sekedar menjadi pengganti sistem, namun model adalah penyederhanaan sebuah sistem. Sebaliknya, sebuah model harus cukup detail untuk memberikan kesimpulan valid yang bisa menggambarkan sistem yang dikaji [Banks98]. Sebuah sistem bisa direpresentasikan oleh lebih dari satu model. Perilaku sistem nyata bisa dipelajari melalui eksperimen langsung terhadap sistem nyata atau melalui eksperimen terhadap model yang merepresentasikan sistem nyata. Eksperimen terhadap sistem nyata seringkali tidak memungkinkan untuk dilakukan dan tidak efektif

dalam biaya, sehingga model - baik fisik maupun matematis – digunakan sebagai sarana untuk menggambarkan perilaku sistem nyata.

Jerry Banks mendefinisikan simulasi sebagai tiruan bekerjanya proses atau sistem nyata yang berjalan dalam suatu rentang waktu [Banks98]. Simulasi komputer adalah komputasi yang memodelkan perilaku sebuah sistem (nyata ataupun tidak) dalam suatu rentang waktu. Simulasi diskrit event adalah model yang merepresentasikan sistem dan beroperasi dalam suatu rentang waktu dengan perubahan variabel status terjadi pada titik-titik waktu yang terpisah. Titik-titik waktu adalah titik-titik waktu terjadinya event yang merupakan kejadian sesaat (*instantaneous occurrence*) yang mengubah status sistem [Law00]. Simulasi digunakan untuk menggambarkan perilaku sebuah sistem nyata ketika proses pembentukan model matematis sulit dilakukan karena sistem nyata yang kompleks [Law00].

Pengembangan Model

Dalam mengembangkan model simulasi untuk sistem jalan tol, asumsi yang digunakan mencakup:

1. Kemampuan semua petugas gardu pembayaran jalan tol diasumsikan sama. Ini memberikan konsekuensi kecepatan layanan setiap fasilitas pelayanan memiliki pola data yang sama.
2. Tidak ada perbedaan antar hari libur dengan bukan hari libur.
3. Disiplin antrian menggunakan *first come first served* tanpa kelas prioritas yaitu kendaraan yang lebih awal datang akan dilayani lebih dahulu dan tidak akan bisa dimundurkan posisinya dalam antrian oleh kedatangan berikutnya.

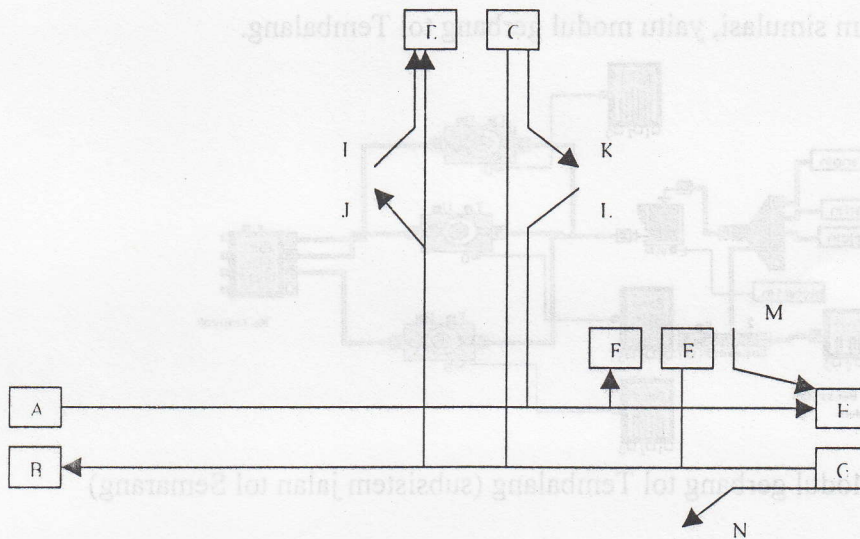
Model fisik jalan tol Semarang dan fasilitas pelayanan yang tersedia di dalamnya ditunjukkan dalam tabel 1 dan gambar 1.

Tabel 1. Kuantitas fasilitas layanan tersedia dan probabilitas tujuan dalam sistem jalan tol Semarang

Asal	Tujuan	Probabilitas	Asal	Tujuan	Probabilitas
Tembalang (3)*	Manyaran (3)	0,60	Gayamsari (2)	Tembalang (3)	0,40
	Muktiharjo (3)	0,30		Manyaran (3)	0,40
	Gayamsari (3)	0,05		Jatingaleh (0)	0,20
	Jatingaleh (0)	0,05	Jatingaleh (0)	Tembalang (3)	0,80

Manyaran (3)	Tembalang (3)	0,89	Muktiharjo (3)	0,10
	Muktiharjo (3)	0,05	Gayamsari (3)	0,10
	Gayamsari (3)	0,01		
	Jatingaleh (0)	0,05		
Muktiharjo (4)	Tembalang (3)	0,74		
	Manyaran (3)	0,20		
	Gayamsari (3)	0,01		
	Jatingaleh (0)	0,05		

Tanda *: angka dalam tanda kurung adalah kuantitas fasilitas layanan tersedia



Gambar 1. Model fisik sistem jalan tol Semarang

Data dikumpulkan pada rentang-rentang waktu sibuk. Berdasarkan pengujian terhadap data, diperoleh pola kedatangan (dalam bentuk distribusi waktu antar-kedatangan) di setiap gerbang tol sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 2. Kondisi normal adalah laju kedatangan sebesar 50% laju kedatangan pada kondisi sibuk. Kondisi sepi adalah laju kedatangan 50% laju kedatangan pada kondisi normal.

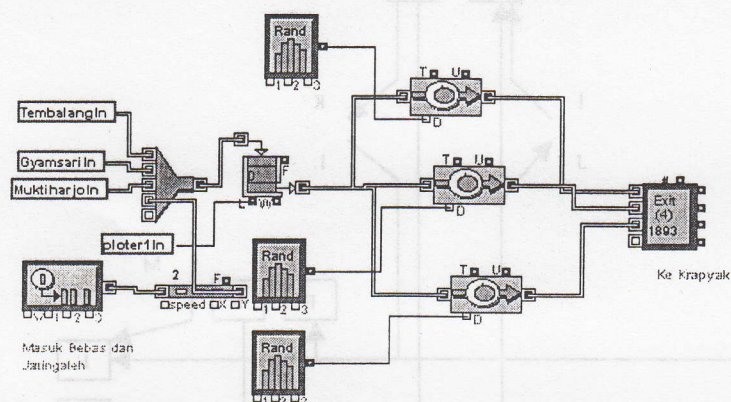
Tabel 2. Pola waktu antar-kedatangan dan layanan di setiap gerbang tol

Lokasi	Kondisi			
	Normal (jam 19.00-21.00)		Sepi (jam 01.00-03.00)	
	Distribusi	Rata-rata (detik)	Distribusi	Rata-rata (detik)
Gerbang masuk Tembalang	Eksponensial	5,6	Eksponensial	9,3
Gerbang masuk Manyaran	Eksponensial	8,4	Eksponensial	14
Gerbang masuk Muktiharjo	Eksponensial	7,6	Eksponensial	12,7
Gerbang masuk Gayamsari	Eksponensial	14	Eksponensial	23,3

Masuk Gayamsari ke Muktiharjo	Eksponensial	360	Eksponensial	600
Jatingaleh ke solo, Muktiharjo	Eksponensial	16	Eksponensial	26,7
Jatingaleh ke Manyaran	Eksponensial	600	Eksponensial	1000
Layanan di setiap fasilitas layanan	Poisson			8,21

Program Simulasi

Dalam penelitian ini, kami memanfaatkan perangkat lunak khusus simulasi untuk mengembangkan program simulasi. Perangkat lunak yang kami pilih adalah Extend versi 4. Pemilihan lebih didasarkan pada kemudahan penggunaan dan ketersediaan fasilitas yang dimiliki perangkat lunak. Sebagai sebuah contoh, kami tampilkan sebuah modul dalam program simulasi, yaitu modul gerbang tol Tembalang.



Gambar 2. Modul gerbang tol Tembalang (subsistem jalan tol Semarang)

Verifikasi dilakukan terhadap jalannya program simulasi secara keseluruhan dan setiap modul hanya dengan melihat animasi aliran entitas (mobil) dalam program simulasi. Verifikasi memberikan hasil berupa kesesuaian aliran entitas yang berjalan dalam program simulasi dengan kondisi nyata.

Validasi dilakukan dengan membandingkan standar kinerja berupa utilisasi fasilitas layanan. Untuk kebutuhan validasi, pengumpulan data dilakukan kembali untuk mendapatkan utilisasi fasilitas pelayanan. Tabel 3 menampilkan data dari sistem nyata dan table 4 menampilkan data dari program simulasi untuk validasi.

Tabel 3. Data utilisasi fasilitas layanan dari system nyata

Pengumpulan Data ke-	Tembalang		Manyaran		Gayamsari		Muktiharjo	
	masuk	keluar	masuk	keluar	masuk	keluar	masuk	keluar
1	0.994	0.940	0.712	0.803	0.620	0.109	0.712	0.848
2	0.958	0.921	0.812	0.839	0.411	0.119	0.730	0.885
3	0.930	0.912	0.639	0.839	0.575	0.100	0.593	0.857
4	0.921	0.940	0.821	0.821	0.575	0.119	0.675	0.885
5	0.912	0.930	0.675	0.821	0.721	0.109	0.593	0.830

Tabel 4. Data utilisasi fasilitas layanan dari program simulasi

Run ke -	Tembalang		Manyaran		Gayamsari		Muktiharjo	
	masuk	keluar	masuk	keluar	masuk	keluar	masuk	keluar
1	0.999	0.935	0.716	0.804	0.612	0.105	0.705	0.850
2	0.958	0.915	0.793	0.844	0.401	0.119	0.728	0.883
3	0.929	0.911	0.639	0.841	0.567	0.102	0.606	0.855
4	0.920	0.941	0.816	0.812	0.563	0.115	0.671	0.888
5	0.920	0.928	0.688	0.815	0.723	0.112	0.598	0.825

Validasi dilakukan dengan membandingkan secara statistik kedua data dalam tabel (tabel 3 dan 4) pada tingkat signifikansi $\alpha = 0.05$ dan diperoleh hasil bahwa model simulasi valid. Ini berarti model simulasi telah menjadi representasi yang cukup memadai bagi sistem nyata, sehingga perilaku model simulasi sebagai dampak perlakuan terhadapnya diduga kuat (tingkat keyakinan 95%) merupakan perilaku sistem nyata jika diberi perlakuan yang serupa.

Analisis dan Pembahasan

Program simulasi dijalankan untuk mendapatkan data-data untuk kebutuhan analisis. Tabel 5 dan 6 menampilkan keluaran program simulasi setelah dijalankan sebanyak 5 replikasi.

Tabel 5. Rata-rata standar kinerja program simulasi di setiap gerbang ketika tiga kondisi

Lokasi Gerbang	Jenis Gerbang					
	Masuk			Keluar		
	Lq	Wq	U	Lq	Wq	U
SIBUK						
Tembalang	19.840	55.162	0.975	15.527	41.836	0.923
Manyaran	0.682	3.080	0.646	2.308	7.041	0.823
Muktiharjo	0.169	0.628	0.551	5.011	15.869	0.858
Gayamsari	0.354	2.476	0.585	0.000	0.000	0.111
NORMAL						
Tembalang	0.132	0.723	0.497	0.119	0.698	0.464
Manyaran	0.055	0.473	0.341	0.075	0.487	0.415
Gayamsari	0.040	0.548	0.299	0.000	0.000	0.053
Muktiharjo	0.006	0.044	0.276	0.086	0.536	0.442
SEPI						
Tembalang	0.017	0.163	0.303	0.013	0.123	0.279
Manyaran	0.007	0.088	0.202	0.011	0.122	0.247
Gayamsari	0.007	0.154	0.177	0.000	0.000	0.035
Muktiharjo	0.001	0.015	0.166	0.012	0.125	0.266

Tabel 6. Rata-rata standar kinerja program simulasi jalan tol Semarang

Rancangan simulasi	Lq	Wq	U
Model awal pada waktu sibuk	5.796	15.815	0.684
Model awal pada waktu normal	0.064	0.439	0.348
Model awal pada waktu sepi	0.008	0.099	0.209
Model alternatif pada waktu sibuk	1.142	3.272	0.654

Kondisi layanan di beberapa gerbang pelayanan (dengan konfigurasi sistem nyata) mengalami ketidakseimbangan. Kondisi layanan di gerbang Tembalang, baik - gerbang masuk maupun gerbang keluar, menunjukkan tingginya nilai Lq, Wq dan U. Tingginya nilai Lq dan Wq memberi indikasi bahwa terjadi antrian yang panjang dan lama di fasilitas pelayanan yang ada. Hal ini juga berarti bahwa kuantitas fasilitas yang ada tidak sesuai dengan kondisi volume kedatangan kendaraan yang terjadi.

Kondisi layanan di gerbang keluar yang melalui gerbang Gayamsari, menunjukkan sangat rendahnya nilai Lq, Wq dan utilisasi. Rendahnya nilai Lq dan Wq yang disertai rendahnya utilisasi, mengindikasikan fasilitas pelayanan yang ada lebih banyak menganggur. Hal ini bisa disebabkan oleh volume kendaraan yang kecil dengan berlebuhnya fasilitas pelayanan yang dibuka.

Terjadi perbedaan yang sangat besar terhadap kondisi layanan yang di ukur dengan nilai Lq, Wq dan utilisasi untuk tiga kondisi yang berbeda. Terjadi penurunan yang sangat besar nilai Lq, Wq dan utilisasi menunjukkan bahwa pada kondisi layanan yang ada sudah cukup dalam mengantisipasi kendaraan yang melawati gerbang pelayanan. Akan tetapi rendahnya nilai utilisasi, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan waktu menganggur fasilitas pelayanan yang ada, karena berkurangnya volume kendaraan yang melewatinya dan atau kuantitas fasilitas yang dibuka tetap.

Berdasarkan analisis tersebut dikembangkan model sistem alternatif yang menjadi usulan perbaikan terhadap sistem yang berjalan saat ini. Model sistem alternatif memiliki konfigurasi sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 7.

Tabel 7. Konfigurasi sistem usulan

Gerbang Tol	Masuk	Keluar
Tembalang	4	4
Manyaran	3	3
Gayamsari	2	1
Muktiharjo	3	4

Dengan perubahan konfigurasi sistem sebagaimana dalam sistem usulan, terjadi penurunan yang sangat besar dari nilai L_q dan W_q . Ini berarti bahwa kondisi layanan sudah cukup baik. Sementara itu, nilai utilisasi fasilitas pelayanan juga mengalami penurunan, akan tetapi nilainya sangat kecil. Ini berarti secara keseluruhan pengembangan model melalui perubahan konfigurasi jumlah fasilitas pelayanan telah mampu menurunkan rata-rata panjang antrian dan rata-rata lamanya menunggu di dalam antrian dengan tetap mempertahankan utilisasi fasilitas pelayanan yang ada (penambahan fasilitas yang dibuka tidak menaikkan waktu mengganggu fasilitas layanan).

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa model simulasi yang dikembangkan bisa dimanfaatkan dalam analisis terhadap perilaku sistem nyata. Hanya saja, untuk pengembangan lebih lanjut perlu diidentifikasi standar kinerja yang perlu dilibatkan dalam pengambilan keputusan untuk mengimplementasikan perubahan sistem nyata menjadi model sistem usulan. Selain itu, perlu dikembangkan sistem-sistem usulan yang lebih beragam dan dilakukan pemilihan berdasarkan standar kinerja yang terlibat dalam pengambilan keputusan. Analisis yang melibatkan faktor biaya juga perlu dilakukan, sehingga sebuah sistem usulan cukup layak secara ekonomis untuk diimplementasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Kelton, W. David and Averil M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw Hill Publishing Co, New York, 2000
- Banks, Jerry and John S. Carson, *Discrete Event Simulation*, McGraw Hill Publishing Co, New York, 1998
- Taha, Hamdy, *Operation Research*, Prentice Hall. Inc, Arkansas, 1997
- Simatupang, Togar, *Pemodelan Sistem*, Penerbit Kanida, Klaten, 1995