

Pemodelan dan Simulasi Antrian pada Persimpangan dengan Simulator *Discrete Event System*

Herman Y. Sutarto

SYSTeMS Research Group, EESA, Universiteit Gent

B-9052 Zwijnaarde, Belgium

herman.sutarto@ugent.be

Abstract— Pemodelan aliran trafik dengan memanfaatkan teori antrian beserta simulasinya dengan menggunakan simulator *Discrete Event System* (DES) untuk kasus area Jalan M.H. Thamrin di Jakarta diusulkan dalam makalah ini. Analisis statistik pada data sensor-video pengukuran trafik dilakukan untuk menentukan model laju kedatangan dan model servis. Selain itu, data durasi lampu hijau dan merah diperlukan sebagai masukan untuk membangun simulator DES yang selanjutnya diimplementasikan dengan menggunakan Simulink dan SimEvents. Hasil simulasi menunjukkan keefektifan kerangka simulator yang dibangun sehingga bisa digunakan untuk menganalisis kinerja sistem manajemen trafik yang ada.

Keywords— Sistem Transportasi Cerdas, Teori Antrian, Sistem Stokastik, Sistem Kejadian Diskrit, Simulator Trafik

Abstract— *Traffic flow modeling utilizing queueing theory along with its simulation using the simulator Discrete Event System (DES) for the case of Jalan M.H.Thamrin in Jakarta area is presented in this paper. Statistical analysis on the data-video sensor measurements was conducted to determine the model of arrival and the model of service. In addition, the data of duration of green and red light are needed as input to build the DES simulator which is implemented by using Simulink and SimEvents. Simulation results show the effectiveness of the simulator framework so that the simulator can be used to analyze the performance of the existing traffic management system.*

Keywords—*Intelligence Transportation System, Queueing Theory, Stochastic System, Discrete Event System, Traffic Simulator*

I. INTRODUCTION

Jaringan trafik perkotaan adalah suatu sistem stokastik yang berskala luas dan rumit yang meliputi banyak perempatan yang saling terhubung [1]. Berbagai teknik pemodelan sudah diusulkan untuk menjelaskan perilaku jaringan trafik perkotaan dan biasanya teknik-teknik tersebut dipakai untuk mendapatkan model bagi perancangan sistem kontrol trafik optimal untuk mengurangi kemacetan di perkotaan. Selain itu, pemodelan tersebut juga dipakai di dalam melakukan uji kinerja sistem manajemen trafik lalu-lintas melalui serangkaian simulasi pada suatu *platform* simulator, baik yang bersifat mikroskopik ataupun makroskopik.

Beberapa teknik yang umum dipakai dalam pemodelan trafik dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok, yaitu: pemodelan kontinyu, seperti: persamaan diferensial parsial, *cellular automata*, *Stochastic Cell Transmission Method*[1]; pemodelan *Discrete Event System* (DES)[2], seperti: *Petri-Net*

(PN), *automata*, teori antrian[5]; dan pemodelan *hybrid: hybrid* PN [7], *stochastic-hybrid* [8,9,10]. Pendekatan *hybrid* seringkali dipandang mampu untuk menggambarkan secara lebih lengkap fenomena trafik yang seringkali meliputi sistem kontinyu (aliran/ *flow*, kerapatan/ *density* dan kecepatan/ *speed*) dan sistem kejadian diskrit/ DES (waktu *switching* lampu lalu-lintas, panjang *cycle*, dll.). Meskipun demikian, kompleksitas perhitungan meningkat sehingga memerlukan kompromi antara kompleksitas perhitungan dengan akurasi pemodelan. Akurasi pemodelan tergantung pada abstraksi dan penyederhanaan dari kasus sebenarnya.

Teori antrian sampai saat ini masih sering dipakai pada teknologi trafik perkotaan guna pemahaman dan pengontrolan kemacetan perkotaan. Kemacetan terjadi jika jumlah kendaraan melebihi kapasitas untuk bisa dilayani. Penggunaan beberapa ukuran, seperti waktu tunggu ataupun panjang antrian, kinerja dari sistem trafik secara keseluruhan akan dapat ditentukan. Salah satu alasan mengapa teori antrian masih dipakai hingga saat ini adalah kecepatan komputasi dari komputer yang semakin meningkat sehingga teori antrian termasuk dalam kategori model mikroskopik, karena masih melihat individu kendaraan sebagai entitas parameter pemodelannya. Peluang simulasi pada area jaringan urban yang luas masih memungkinkan karena meski jumlah parameter yang terlibat dalam simulator besar namun kecepatan komputer beserta *platform* perangkat lunak yang efisien memungkinkan untuk melakukan simulasi tersebut.

Dalam makalah ini akan dilakukan pemodelan dengan memanfaatkan data pengukuran dari sensor video yang menghitung aliran trafik dalam periode waktu tertentu pada lajur-lengan pada persimpangan di arterial tertentu di kota Jakarta dengan menggunakan teori antrian. Selanjutnya, simulasi dengan menggunakan model yang telah didapatkan yang diterapkan pada *platform* simulator berbasis MATLAB/SimEvents [3][6] dilakukan untuk melihat kinerja yang dihasilkan. Untuk pembahasan dengan menggunakan *platform* mikro-simulator VISSIM dibahas di [11].

II. ARSITEKTUR SIMULATOR SIMEVENTS

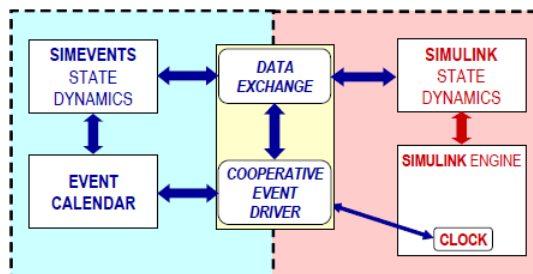
Simulator yang dipakai berbasis perangkat MATLAB® dan Simulink beserta SimEvent. *Platform* Simulink sudah sangat dikenal kemampuannya untuk mensimulasikan berbagai model sistem dinamik kontinyu yang umumnya berbasis pada suatu persamaan diferensial. Guna mampu mensimulasikan

aliran trafik pada suatu wilayah urban, maka diperlukan *platform* simulator lain, yaitu SimEvent yang secara khusus dirancang guna mampu mensimulasikan suatu sistem dinamik *hybrid* yang merupakan gabungan antara sistem dinamik kontinyu dengan DES/ *Discrete Event System*. Di dalam trafik, sistem kontinyu menggambarkan aliran trafik sedang DES untuk menggambarkan suatu *event/* kejadian, seperti *switching* lampu lalu-lintas yang dalam hal ini adalah *switching* dari hijau ke kuning dan ke merah. Untuk itulah simulator memerlukan Simulink dan SimEvent guna mensimulasikan suatu aliran trafik.

Gambar 1 mendeskripsikan komponen fungsional utama dari keseluruhan arsitektur SimEvents dan Simulink. Sebagai mesin simulator DES (*Discrete Event System*), SimEvents digerakkan oleh Kalender Kejadian (*Event Calendar*) dimana semua kejadian/ *event* yang bakal terjadi diurutkan dalam waktu-penjadwalan. SimEvents selalu memproses kejadian pertama dalam daftar tersebut dan meng-*update* DES ketika sebuah kejadian terjadi. *Cooperative Event Driver* bertanggung jawab untuk mengubah menjadi sinyal Simulink dimana modul *Data Exchange* sedemikian hingga akan *trigger time-driven process*. Sebaliknya, *time-driven process* yang berada dibawah koordinasi Simulink akan menghasilkan *event* sebagai hasil logika *level-crossing points*. Aspek tantangan terbesar koordinasi dinamika *time-driven* dan *event-driven* adalah pewaktuuan yang tepat (*proper timing*). Dalam Gambar 1, sistem *clock* diatur oleh Simulink, sedangkan *Cooperative Event Driver* bertanggung jawab untuk menjaga konsistensi antara blok Simulink dan blok SimEvents yang berinteraksi dengan *Event Calendar*.

A. Fungsionalitas SimEvents

Di dalam Simulink, komunikasi diantara blok didasarkan pada sinyal, sedangkan pada SimEvents ini didasarkan pada sinyal dan entitas. Konsep entitas didasarkan dalam perspektif DES yang terdiri atas ‘*user*’ dan ‘*resources*’: *users* meminta *resources* untuk menjalankan suatu tugas dan menggunakan *resources* tersebut dalam perioda waktu tertentu kemudian ‘melepaskan’ agar pengguna lainnya dapat mempergunakannya. Contoh dari pengguna adalah pesan dalam jaringan komunikasi dan kendaraan dalam trafik jalan raya, sedangkan *resources* adalah lampu trafik. Tipikal skenario sistem hibrida muncul ketika sebuah entitas mengakses *resources* dengan inisiasi dalam bentuk proses fisik (definisikan sebuah *event* di SimEvents) sampai dengan



Gambar 1. Skematik Fungsionalitas SimEvents [3]

kondisi terminisi dipenuhi (suatu *event* di SimEvents). Berdasarkan pendekatan ini, SimEvents terdiri dari sejumlah blok dengan fungsi yang berbeda. Komponen utama [6] adalah:

- Generator:** Blok yang menghasilkan entitas atau *function calls* (*events* yang memanggil blok Simulink).
- Queues:** Blok-blok dimana entitas dapat disimpan sementara sambil menunggu akses *resources*.
- Server:** Blok yang memodelkan beberapa tipe *resources*.
- Gates:** Blok yang mengontrol aliran entitas dengan menghidupkan/ mematikan akses blok tertentu.
- Routing:** Blok yang mengatur pergerakan entitas ketika mereka memiliki akses *queue* dan server.
- Event Translation:** Blok yang menghidupkan komunikasi anatara SimEvents dengan Simulink dengan mengubah *events* menjadi *function calls*.
- Attributes:** Blok yang menempatkan dan memodifikasi data menjadi entitas. Beberapa aksi kontrol dibuat berdasarkan nilai dari data dan yang memungkinkan blok untuk membedakan entitas yang sedang diproses.
- Subsystems:** Ini memungkinkan blok-blok untuk dieksekusi berdasar waktu kejadian yang spesifik (bukan berdasar waktu cuplikan Simulink).
- Timers dan Counters:** Blok yang mengukur waktu antar kejadian dan blok yang menghitung waktu kejadian *event-event* tertentu. Data ini diberikan ke *display* atau blok *scope* dalam Simulink ataupun *scope* di SimEvents.

III. TEORI SISTEM ANTRIAN

Dalam bagian ini akan dijelaskan secara singkat beberapa konsep dasar yang seringkali muncul dalam teori antrian, yaitu [7]:

- Laju kedatangan λ , jumlah elemen yang datang dalam sistem per satuan waktu.
- N adalah jumlah elemen dalam sistem.
- Laju servis μ , jumlah elemen yang pergi per satuan waktu.
- Faktor utilitas $\rho, 0 \leq \rho \leq 1$ dimana $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
- Rata-rata waktu servis $\bar{X} = \frac{1}{\mu}$.

Berdasarkan asumsi bahwa laju kedatangan adalah λ per satuan waktu t dan tidak ada elemen dalam sistem pada waktu awal $t_0 = 0$, maka distribusi kedatangan adalah distribusi Poisson dengan rata-rata λt dan variansi λt , dimana distribusinya adalah:

$$f(n, \lambda) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad (1)$$

Dalam makalah ini diasumsikan bahwa model antrian yang akan dipakai adalah model antrian M/M/1. Model antrian ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Distribusi antar-waktu kedatangan adalah eksponensial.
- Distribusi waktu servis adalah eksponensial.
- Hanya ada satu server.
- Regulasi server adalah mengikuti prinsip FIFO (*First In First Out*).
- Jumlah elemen adalah tak terhingga.

Distribusi dari model antrian ini mengikuti distribusi geometri dengan rata-rata dan variansi:

$$E(n) = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (2)$$

$$Var(n) = \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \quad (3)$$

Rata-rata dari model ini memberikan karakteristik yang penting untuk sistem antrian sbb:

$$L_s = E(n) = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (4)$$

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\rho^2}{1-\rho} \quad (5)$$

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \quad (6)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \quad (7)$$

IV. STUDI KASUS DI WILAYAH URBAN

A. Area Pengujian

Area yang akan dijadikan studi kasus adalah persimpangan Jalan M.H. Thamrin–Jalan Budi Kemulyaan, Jakarta. Dalam area ini terpasang sistem sensor video di setiap lajur pada setiap lengan di persimpangan 313 ini. Sistem sensor video ini dipergunakan untuk mendeteksi jumlah kendaraan yang melintas per-satuan waktu [4]. Sistem sensor tersebut terhubung dengan sistem “SCATS” (*The Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*) guna pengaturan aliran trafik dengan mengatur durasi lampu lintas pada setiap persimpangannya sehingga bisa dilakukan koordinasi antar persimpangan yang terdekat. Dengan demikian panjang antrian pada setiap lengan persimpangan bisa direduksi. Data persimpangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1.
DATA PERSIMPANGAN 313

No Lengan	No Lajur	Arah	Jalan
20	1,2,3,4,5	Utara	Medan Merdeka Barat
22	8,9,10	Selatan	M.H. Thamrin
23	6,7	Barat	Budi Kemulyaan
24	11,12,13,14	Timur	Medan Merdeka Selatan

Gambar skematik yang berisi penomoran lajur beserta arah aliran trafik bisa dilihat seperti pada Gambar 2. Seperti sudah disinggung diatas, di setiap lajur terpasang sensor video yang berfungsi untuk mendeteksi aliran kendaraan per-satuan waktu. Pada makalah ini, meskipun dalam setiap lengan jumlah lajur lebih dari satu lajur namun lajur-lajur tersebut dikontrol dengan lampu trafik yang sama. Oleh karena itu, cukup beralasan untuk menganggap lampu trafik dimodelkan sebagai satu *server*. Data yang digunakan merupakan hasil pengamatan yang dikumpulkan dari 5 September 2012 (Rabu) s/d 7 September 2012 (Jumat) yang merepresentasikan aliran trafik secara umum.

B. Model Kedatangan

Pemodelan dilakukan pada aliran trafik kedatangan pada persimpangan 313 dengan nomer lengan L-20 nomor lajur 1, 2, 3, 4, 5 dan juga pada nomor lengan L-23 dengan nomer lajur 6-7. Data tersebut dikumpulkan setiap 5 menit dalam kurun waktu 16.30-17.00. Data pada masing-masing lajur pada setiap lengan selanjutnya dijumlahkan. Data tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

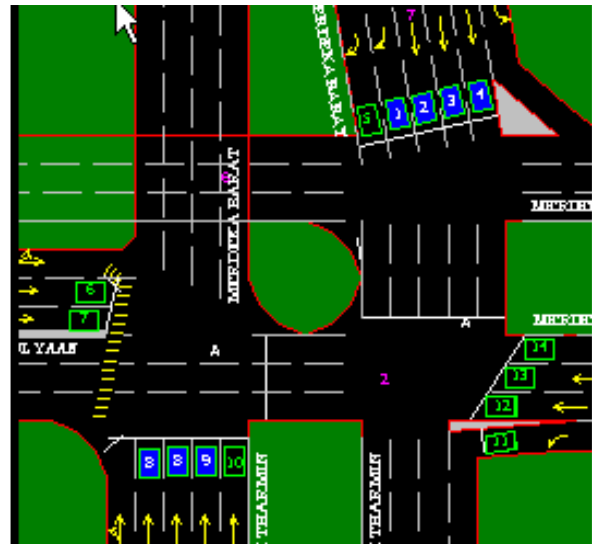
Berdasarkan data ini didapatkan nilai rata-rata untuk periode tersebut adalah:

$$\lambda_{L-20} = \frac{0.269 + 0.252 + 0.249}{3} = 0.257 \text{ kend/detik.}$$

$$\lambda_{L-23} = \frac{0.153 + 0.142 + 0.114}{3} = 0.136 \text{ kend/detik}$$

Untuk penyederhanaan, dianggap bahwa waktu-antar kedatangan adalah terdistribusi secara eksponensial. Model distribusi eksponensial dianggap mendekati aliran trafik secara umum. Pola kedatangan aliran trafik adalah Markovian dengan laju kedatangan:

$$\lambda_{L-20} = 0.257 \text{ dan } \lambda_{L-23} = 0.136.$$



GAMBAR 2. SKEMATIK PERSIMPANGAN 313

C. Model Servis

Untuk memodelkan pola servis, **pertama-tama**, perlu pengaturan durasi lampu hijau (tambahkan durasi lampu kuning) dan durasi lampu merah. Data durasi tersebut dikumpulkan dalam kurun waktu 16.00 – 17.00 selama 3 hari dari tanggal 05 Sept s/d 07 Sept 2012, seperti terlihat di Tabel 3. Perhitungan durasi lampu hijau-merah dihitung untuk lengan L-20. Karena pada persimpangan 313 mempunyai 2 fase dalam 1 siklus, maka hal ini berarti durasi hijau di L-20 dan durasi merah di L-23. Dengan demikian, rata-rata durasi hijau $T_h = 106.38$ detik dan $T_m = 73.55$ detik.

Untuk menentukan pola servis, **kedua**, diperlukan pengukuran laju servis ketika lampu hijau menyala (ON). Untuk mengukur tersebut diperlukan deteksi jumlah kendaraan yang lewat ketika lampu hijau menyala (ON). Tabel 4 menggambarkan jumlah kendaraan yang terdeteksi selama kurun waktu lampu-hijau menyala.

Sehingga didapatkan waktu servis rata-rata selama lampu hijau adalah sebagai berikut:

$$\bar{x}_{hijau} = \frac{557}{485} = 1.148$$

Dalam model ini, selanjutnya diasumsikan bahwa server selalu berjalan sehingga kendaraan pertama yang melewati persimpangan ketika lampu hijau menyala. Jika dianggap bahwa waktu servis terjadi selama durasi lampu merah maka rata-rata waktu servis untuk kendaraan tsb adalah $\bar{x}_{merah} = T_m = 73.55$ detik. Jadi selama lampu hijau menyala selama periode 16.30 – 17.00, hanya ada satu kendaraan yang

mempunyai waktu servis x_{merah} sedangkan kendaraan yang lain mempunyai waktu servis x_{hijau} . Lampu hijau berganti sebanyak 6 kali, sehingga jumlah kendaraan dengan waktu servis x_{merah} adalah sebanyak 6 kendaraan. Sehingga probabilitas bahwa satu pengguna yang mempunyai x_{merah} adalah:

$$\text{Prob}[x = x_{merah}] = \frac{6}{485} \approx 0.01$$

Probabilitas bahwa pengguna mempunyai waktu servis x_{hijau} adalah:

$$\text{Prob}[x = x_{hijau}] = 1 - \text{Prob}[x = x_{merah}] = 0.99$$

sehingga rata-rata waktu servis:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \text{Prob}[x = x_{hijau}] \cdot \bar{x}_{hijau} + \text{Prob}[x = x_{merah}] \cdot \bar{x}_{merah} \\ &= 0.99 \times 1.148 + 0.01 \times 73.55 = 1.87 \end{aligned}$$

Maka didapatkan bahwa laju servis rata-rata adalah:

$$\mu = \frac{1}{\bar{x}} = 0.53$$

Jika diperhatikan lebih lanjut, terlihat bahwa sistem lengan L-20 adalah *ergodic* karena :

$$\rho = \frac{\lambda_{L20}}{\mu} = \frac{0.25}{0.53} \approx 0.5 \leq 1$$

Ini berarti waktu tunggu pada lengan L-20 tidak menuju divergen dengan kata lain waktu-tunggu L-20 atau lajur 1-5 dalam kondisi stabil.

TABEL 2

KOLEKSI JUMLAH KEDATANGAN KENDARAAN

Waktu	5 Sept		6 Sept		7 Sept	
	L-20	L-23	L-20	L-23	L-20	L-23
16 ³⁰ - 16 ³⁵	108	20	57	26	52	35
16 ³⁵ - 16 ⁴⁰	91	31	91	23	52	27
16 ⁴⁰ - 16 ⁴⁵	69	47	76	38	71	23
16 ⁴⁵ - 16 ⁵⁰	84	64	80	48	69	37
16 ⁵⁰ - 16 ⁵⁵	51	63	78	64	114	26
16 ⁵⁵ - 17 ⁰⁰	82	50	72	57	91	58
Total	485	275	454	256	449	206
λ (kend/det)	0.2694	0.153	0.252	0.142	0.2494	0.114

TABEL 3

RATA-RATA DURASI LAMPU HIJAU DAN LAMPU MERAH

Tanggal	Rata-rata durasi hijau	Rata-rata durasi merah
05	92.83	87.16
06	110.75	69.16
07	115.58	64.33
Rata-rata	106.38	73.55

TABEL 4

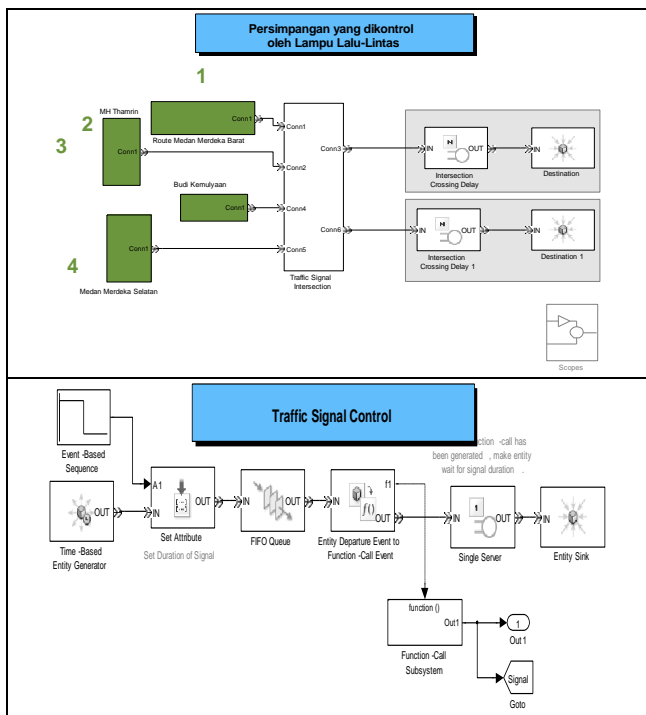
JUMLAH KENDARAAN PADA KURUN WAKTU LAMPU HIJAU

Waktu	Jumlah kendaraan	Durasi lampu hijau
16 ³⁰ - 16 ³⁵	108	108
16 ³⁵ - 16 ⁴⁰	91	90
16 ⁴⁰ - 16 ⁴⁵	69	78
16 ⁴⁵ - 16 ⁵⁰	84	95
16 ⁵⁰ - 16 ⁵⁵	51	91
16 ⁵⁵ - 17 ⁰⁰	82	95
Total	485	557

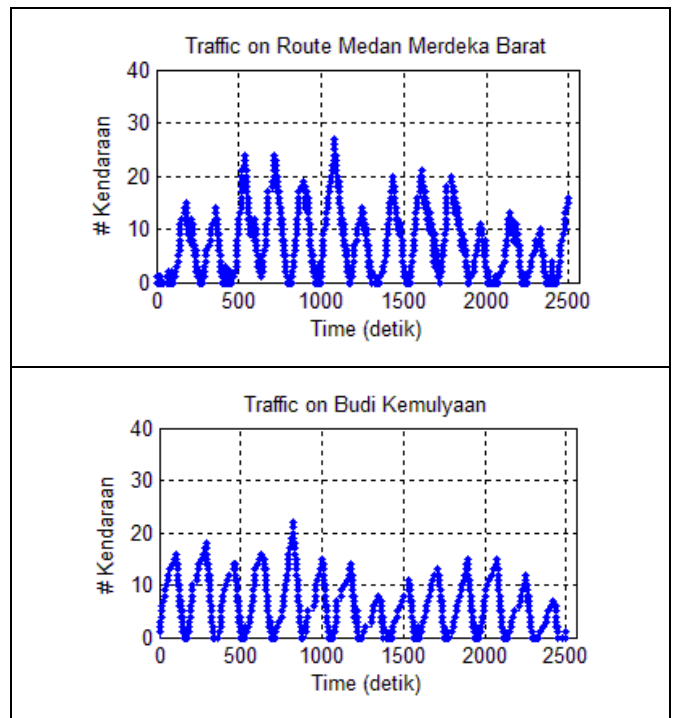
Dengan melakukan proses yang sama seperti tahapan-tahapan diatas untuk L-23 maka akan didapat laju-keberangkatan, laju-servis beserta dengan pengaturan durasi hijau dan merahnya. Dengan harga-harga parameter tersebut, selanjutnya dibangun simulator trafik pada persimpangan 313. Simulator tersebut dibangun dengan menggunakan *Simulink* dan *Simevents* seperti terlihat pada Gambar 3. Persimpangan 313 dengan empat lengan aliran trafik diatur dengan *Traffic Signal Control*. Pemodelan aliran trafik kedatangan pada masing-masing lengan dicirikan dengan laju kedatangan yang bersifat *Poisson* dan juga laju-servisnya. Dengan menentukan dua parameter tersebut dan panjang durasi lampu hijau-merah, maka sistem trafik dapat disimulasikan panjang-antrian di setiap lengan L-20 dan L-23, diperlihatkan pada Gambar 4.

Dengan menggunakan simulator yang telah dibangun, dapat dilakukan perubahan panjang durasi lampu hijau-merah untuk mempelajari dampaknya terhadap evolusi panjang antrian di setiap lengannya. Hal tersebut sangat membantu dalam melakukan uji kinerja Sistem Manajemen Trafik di suatu area tertentu, sehingga akan sangat berguna untuk memprediksi/mengestimasi suatu intensitas aliran trafik pada jam periode waktu tertentu.

Validasi hasil simulasi dengan hasil pengukuran terkendala dengan ketiadaan data pengukuran panjang antrian di area studi. Hal ini merupakan topik yang menarik untuk penelitian lanjutan.



Gambar 3. Simulator dengan Simulink / SimEvent



Gambar 4. Panjang Antrian di L-20 dan L-23

V. KESIMPULAN

Teori antrian dan simulator DES mampu memberikan kerangka yang cukup efektif dalam mempelajari kinerja sistem manajemen trafik yang dinyatakan dalam bentuk panjangnya antrian dalam setiap lengan persimpangan. Dalam makalah ini, parameter masukan ke simulator didapatkan dengan merujuk kepada data pengukuran trafik yang menggunakan sensor video. Parameter-parameter dinyatakan dalam bentuk laju kedatangan dan laju servis. Dengan melakukan analisa statistik yang cukup detail pada masing-masing lengan di setiap persimpangan maka simulator ini mampu membantu dalam melakukan studi kinerja manajemen trafik secara sederhana namun cukup efisien dan efektif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih untuk data pengukuran dan diskusi yang sangat membantu dalam penelitian ini kepada Ir. Rosyad dan Ir. Agoes Soewardi (P.T. Newtel). Penelitian ini sebagian di dukung oleh Program Penelitian dan Inovasi, Institut Teknologi Bandung, 2013.

REFERENSI

- [1] Boel, R.K dan Mihaylova,L , “A Compositional Stochastic Model for real time freeway traffic simulation”, *Transportation Research Part-B Methodology*, Vol. 40, No. 4, pp. 319-334, 2006
- [2] Cassandras, C.G , *Discrete Event Systems: Modeling and Performance Analysis*, Irwin Publishing, USA,1993
- [3] Clune, M.I, Mosterman, P.J dan Cassandras, C.G, *Discrete Event and Hybrid System Simulation with SimEvents*, 8th International Workshop on Discrete Event Systems, Ann Arbor, MI, USA, pp. 386-387, July 2006.
- [4] Currin, Thomas R, 2012, “Introduction to Traffic Engineering: A Manual for Data Collection and Analysis ”, Cengage Learning, USA, 2 edition.
- [5] Kleinrock, L, “Queueing Systems,Volume I: Theory”, John Wiley & Sons, Canada, 1975
- [6] MathWorks, *SimEvents User's Guide*, The MathWorks, Inc, 2005
- [7] Renato.C, Sutarto, H.Y, Boel, R dan Silva, M, ”Hybrid Petri net model of a traffic intersection in an urban network”, *IEEE Int. Conf. on Control Application*, 2010, Yokohama-Japan, pp. 658-664, 2010.
- [8] Sutarto,H.Y, Joelianto,E, ”Expectation-Maximization Based Parameter Identification for Hidden Markov Model of Urban Traffic Flow” *Int J. Appl.Math.Stat*, Vol.53(2), 2015.
- [9] Sutarto, H.Y, RK Boel, and E.Joelianto, “Parameter estimation for stochastic hybrid model applied to urban traffic flow estimation”, *IET Control Theory and Applications*,2015, 10.1049/iet-cta.2014.0909.
- [10] Sutarto, H.Y, RK Boel and Aditya Nugroho, ” On-line Bayesian State-Parameter Estimation in Stochastic Hybrid Model Applied to Queue-Length Estimation”, *Automatica* (Under-reviewed, 2015).
- [11] Sutarto, H.Y, ” Modeling, Identification, estimation and simulation of urban traffic flow in Jakarta and Bandung” *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology* 06,2015

H.Y.Sutarto, Menerima gelar Sarjana Teknik dan Master Teknik dari Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, keduanya dengan spesialisasi Sistem Kendali. Saat ini aktif sebagai Kandidat Doktor, Universiteit Gent, Belgia dan juga mengajar beberapa matakuliah di ITHB. Mempunyai minat riset yang kuat di bidang teknik identifikasi, estimasi, kontrol, *approximate abstraction* dan *formal verification* untuk Sistem Stokastik Hibrida dan *Discrete Event System* dengan aplikasinya pada autonomous vehicles, sistem transportasi cerdas dan *system biology*. Selain itu juga mempunyai minat dalam kajian *Biosemiotics* dan *Science and Technologies Studies*.