

## PEMODELAN DAN SIMULASI KONTROL ADAPTIF LAMPU LALU LINTAS MENGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN SYARAF TIRUAN

### *MODEL AND SIMULATION OF TRAFFIC LIGHT CONTROL ADAPTIVE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ALGORITHM*

Yusuf Rohmatu Rifa'i<sup>1</sup>, Dr.Ir. Sony Sumaryo M.T.<sup>2</sup>, Erwin Susanto, S.T., M.T., Ph.D<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
<sup>1</sup>[yusufrrifai@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:yusufrrifai@student.telkomuniversity.ac.id)<sup>2</sup>[sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id](mailto:sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id)  
<sup>3</sup>[erwinelektro@telkomuniversity.ac.id](mailto:erwinelektro@telkomuniversity.ac.id)

---

#### Abstrak

Sistem transportasi merupakan sistem dinamis yang kompleks dan sulit untuk dimodelkan secara tepat. Model yang tepat membutuhkan validasi dan verifikasi model. Makalah ini menyajikan model dan simulasi *event* diskrit yang lebih baik dari kontrol lampu lalu lintas waktu tetap (*fixed time*) pada persimpangan tunggal. Model yang dikembangkan menggunakan Simulink / SimEvent *toolbox* yang disediakan oleh Matlab. Penulis mengusulkan model yang ditingkatkan menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan sebagai kontrol adaptif lampu lalu lintas yang terdapat pada blok lampu lalu lintas cerdas. Model persimpangan jalan menggunakan empat pendekatan, masing – masing pendekatan terdiri dari satu jalur aliran lurus dan aliran belok kanan. Setiap aliran dimodelkan sebagai antrian M/M/1. Metode FIFO diterapkan pada antrian kendaraan di setiap aliran lalu lintas. Waktu kedatangan antar kendaraan dimodelkan menggunakan distribusi eksponensial. Validasi model dilakukan dengan dua skenario waktu kedatangan antar kendaraan masing – masing 3 detik (lalu lintas padat) dan 9 detik (lalu lintas lengang). Hasil percobaan menunjukkan bahwa jumlah antrian kendaraan dan waktu tunggu rata – rata kendaraan pada sistem kontrol lampu lalu lintas adaptif lebih rendah dibandingkan pada sistem kontrol lampu lalu lintas *fixed time*. Hal tersebut berarti bahwa model yang diusulkan lebih baik daripada model yang telah dikembangkan sebelumnya.

**Kata kunci :** model event diskrit, kontrol lampu lalu lintas, jaringan syaraf tiruan, persimpangan tunggal, distribusi, validasi.

---

#### Abstract

*Transportation systems are complex dynamic systems that hard to be modeled exactly. The correct model need model verification and validation. This paper presents better discrete event models and simulations of fixed-time traffic controls at single intersections. Model is developed using Simulink / SimEvent toolbox provided by Matlab. The author propose enhanced models using artificial neural network algorithms as adaptive controls of traffic lights contained in intelligent traffic light blocks. The intersection model uses four approaches, and each approach consists of one through stream and one right turn stream. Each stream is modeled as an M/M/1 queue. FIFO discipline is applied to the vehicles queue in each stream. The arrival time between vehicles is modeled using an exponential distribution. Model validation is done with two scenarios of arrival time between vehicles each - 3 seconds (high traffic volume) and 9 seconds (low traffic volume). The experimental results show that the number of vehicle queues and the average waiting time of the vehicles on the adaptive traffic control system is lower than in the fixed time traffic control system. This means that the proposed model is better than the previously developed model.*

**Keywords:** discrete event model, traffic light control, artificial neural network, single intersection, distribution, validation.

---

#### 1. Pendahuluan

Saat ini kemacetan lalu lintas bertambah parah dan menjadi masalah yang kritis bagi pemerintah pusat dan daerah, tidak terkecuali di kota – kota besar di Indonesia. Permasalahan umum pada pengaturan lalu lintas di kota besar adalah pengaturan waktu penyalan lampu lalu lintas umumnya masih menggunakan waktu tetap (*fixed time*) di setiap persimpangan jalan. Optimasi fungsi lampu lalu lintas di persimpangan jalan telah dipertimbangkan sebagai salah satu cara yang efektif menanggulangi kemacetan lalu lintas [1].

Sistem transportasi merupakan sistem dinamis yang kompleks dan sulit dimodelkan secara tepat [2]. Tanpa pemodelan sistem secara tepat, karakteristik sistem transportasi tidak dapat diidentifikasi untuk mengevaluasi algoritma yang ada dan untuk mengidentifikasi potensi masalah. Model yang “benar” memerlukan validasi dan verifikasi. Sebuah model dikembangkan untuk tujuan spesifik tertentu [3]. Banyak penelitian yang telah



$$y_k = \varphi\left(\sum_{j=1}^p w_{kj}x_j + b_k\right) \tag{1}$$

$x_1, x_2, \dots, x_p$  adalah sinyal *input*;

$w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kp}$  adalah bobot-bobot sinaptik dari *neuron*  $k$ ;

$b_k$  adalah bias;

$\varphi(\cdot)$  adalah fungsi aktivasi;

$y_k$  adalah sinyal *output* dari *neuron*.

**2.3. Struktur Model Antrian Lalu Lintas**

Berdasarkan penelitian [11], bahwa model antrian secara analitik dengan konsep teori antrian (*queueing theory*) dapat merekonstruksi diagram fundamental. Seperti yang diuraikan di atas diagram fundamental adalah diagram yang merepresentasikan aliran lalu lintas dalam parameter : kecepatan–kepadatan, kecepatan–aliran dan aliran–kepadatan. Aliran lalu lintas sering diperlakukan sebagai aliran cairan (*fluid*). Jalan dibagi ke dalam beberapa bagian (Gambar 2) dengan panjang masing – masing sama dengan  $1/C$ , yang sesuai dengan panjang minimal yang dibutuhkan kendaraan.  $C$  adalah kepadatan lalu lintas maksimum dalam satuan kendaraan/km. Setiap bagian jalan dianggap sebagai *server*, di mana kendaraan tiba dengan laju kedatangan rata – rata  $\lambda$  (kendaraan/jam). Antriannya dengan menggunakan metode *First In First Out* (FIFO).



Gambar 2 Pemodelan antrian lalu lintas [11].

Penggambaran aliran lalu lintas ( $q$ ), kepadatan ( $E$ ) dan kecepatan ( $s$ ) dapat dirumuskan dengan formula:

$$q = E * s \tag{2}$$

**2.4. Model M/M/1**

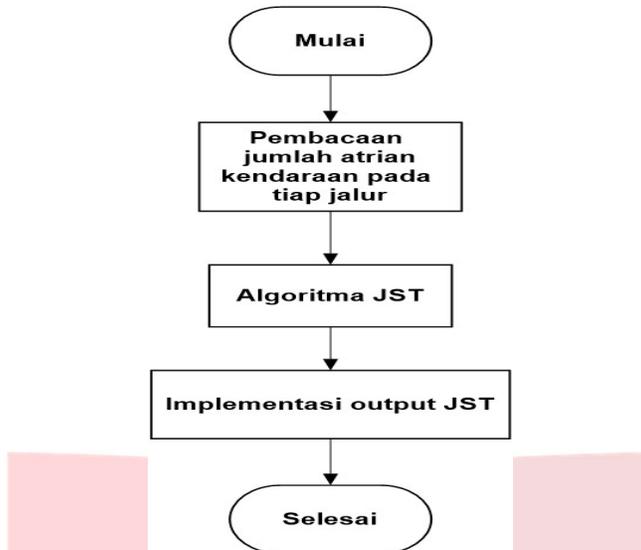
Notasi M/M/1 mengandung pengertian yaitu huruf M yang pertama menyatakan waktu antar-kedatangan terdistribusi secara eksponensial (*Markovian*) di mana laju kedatangan rata – rata mengikuti distribusi *poisson* [12] dengan ekspektasi waktu antar-kedatangan sama dengan  $1/\lambda$  (dengan  $\lambda$  adalah laju kedatangan rata – rata dari lalu lintas  $E$  dan kecepatan nominal  $SN$ ). Notasi M yang kedua menyatakan waktu layanan yang menggambarkan waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati satu segmen jalan dan terdistribusi eksponensial (*Markovian*) [12] dengan laju layanan rata-rata  $\mu$  mengikuti distribusi *poisson*. Ketika kendaraan melaju dengan kecepatan nominal  $SN$ , waktu layanan dapat ditulis sebagai:  $1/(SN * C)$  dan  $\mu$  sama dengan hasil kecepatan nominal  $SN$  dengan kepadatan maksimum lalu lintas  $C$ . Sedangkan notasi terakhir yaitu angka 1 menyatakan jumlah layanan atau *server* sebanyak satu buah [12] atau pada penelitian ini satu jalur jalan.

**3. Pembahasan**

**3.1. Perancangan Sistem dan Model Persimpangan Tunggal**

Persimpangan jalan secara umum pada kenyataan terdiri dari empat pendekatan (Barat, Timur, Utara, Selatan) [4], [5], [6], [7], [8] yang menggunakan pengaturan lampu lalu lintas waktu tetap (*fixed time*). Di mana setiap pendekatan dimodelkan dengan tiga aliran lalu lintas (aliran lurus, aliran belok kanan dan aliran belok kiri) maupun dengan dua aliran lalu lintas (aliran lurus dan aliran belok kanan). Pada penelitian ini penulis mengembangkan sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan.

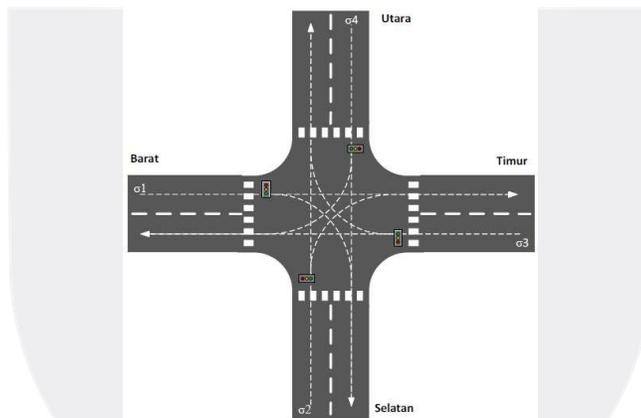
Gambar 3 menunjukkan diagram algoritma sistem dalam satu siklus penyalaaan lampu lalu lintas. Masukan dari sistem berupa data jumlah antrian kendaraan yang berada pada setiap jalur jalan. Algoritma JST digunakan untuk menentukan jalur yang terdeteksi padat kendaraan dibandingkan dengan tiga jalur lainnya kemudian menetapkan jalur yang sesuai serta pengaturan terkoordinasi antar persimpangan. Selanjutnya mulai melakukan pengkondisian sesuai algoritma yang telah dibuat, jika jalur lebih padat kendaraan maka jalur tersebut akan dieksekusi terlebih dahulu dan lampu hijau akan aktif lebih lama. Proses tersebut berlangsung terus menerus selama sistem dijalankan sehingga tidak terjadi penumpukan antrian kendaraan yang berlebihan.



Gambar 3 Diagram algoritma sistem dalam satu siklus

**3.2. Model Konseptual**

Gambar 4 menunjukkan model konseptual persimpangan jalan tunggal yang merepresentasikan sistem lalu lintas nyata. Terdapat empat pendekatan dalam model ini (Barat, Timur, Utara, Selatan) dengan 8 total aliran lalu lintas. Setiap pendekatan terdiri dari dua aliran yaitu: satu aliran lurus dan satu aliran belok kanan. Sedangkan untuk aliran belok kiri tidak dipertimbangkan. Diasumsikan adanya sensor secara akurat untuk mendeteksi kedatangan dan keluarnya setiap kendaraan yang diamati secara berturut – turut.



Gambar 4 Model aliran lalu lintas persimpangan tunggal

Setiap aliran dimodelkan sebagai M/M/1 pada teori antrian yang didasarkan tiga konsep utama: *costumer*, antrian (*queue*), dan layanan (*server*). M pertama dan kedua dalam M/M/1 adalah singkatan “memoryless” untuk distribusi waktu kedatangan dan waktu layanan. Angka “1” menyatakan jumlah layanan atau *server* sebanyak satu buah [12] atau pada penelitian ini satu jalur jalan.

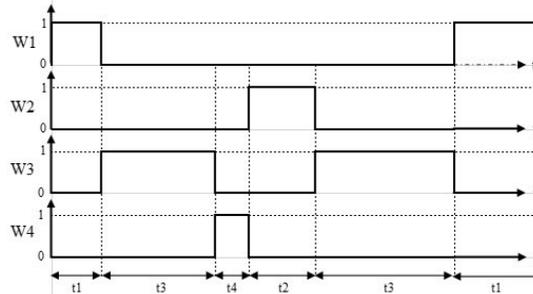
Metode FIFO (*First In First Out*) diterapkan pada antrian kendaraan. Dari teori antrian, kendaraan dalam model ini sebagai *costumer*, waktu layanan adalah waktu yang diperlukan kendaraan meninggalkan antrian dan melintasi persimpangan jalan.

Menurut penelitian [13] karakteristik kedatangan lalu lintas mengikuti model *poisson*. Model tersebut telah diuji dalam prakteknya dan masih digunakan [13]. Aliran lalu lintas dengan model *poisson* memiliki peluang kedatangan sebanyak  $m_i$  kendaraan dari jalur lalu lintas  $\sigma_i$  ke sebuah persimpangan, selama interval waktu  $\tau$  yang di rumuskan sebagai berikut [13]:

$$P_{mi}(\tau) = \frac{(q_i \tau)^{m_i}}{m_i!} e^{-q_i \tau} \tag{3}$$

$P_{mi}(\tau)$  : p[ $m_i$  kendaraan datang dalam interval waktu  $\tau$ ].  
 $q_i$  : banyaknya kendaraan yang memiliki nilai konstan.

Kontrol lampu lalu lintas dibagi menjadi empat kelompok sinyal (W1, W2, W3, W4), yaitu W1: untuk pendekatan Barat, W2: untuk pendekatan Selatan, W3: untuk pendekatan Timur, W4: untuk pendekatan Utara. Jika kelompok sinyal aktif kendaraan pada jalur yang sesuai dengan kelompok sinyal tersebut mendapatkan sinyal lalu lintas lampu hijau artinya kendaraan tersebut diizinkan untuk melewati persimpangan. Dalam penelitian ini, urutan dan durasi untuk kelompok sinyal ditentukan menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan, sehingga urutan dan durasi waktu hijau berbeda – beda dan dapat menyesuaikan dengan kondisi kepadatan lalu lintas yang terjadi. Jalur yang lebih padat mempunyai prioritas lebih dibandingkan dengan jalur lain yang mana kelompok sinyal akan aktif pada jalur tersebut. Gambar 5 menunjukkan urutan dan durasi kelompok sinyal. Angka “0” mengindikasikan kelompok sinyal tidak aktif sementara angka “1” adalah aktif. Jangka waktu setiap kelompok sinyal diberi label t1, t2, t3, dan t4 untuk kelompok sinyal W1, W2, W3, dan W4. Jangka waktu aktif masing – masing kelompok sinyal berbeda disebabkan tingkat kepadatan lalu lintas pada setiap jalur yang berbeda.

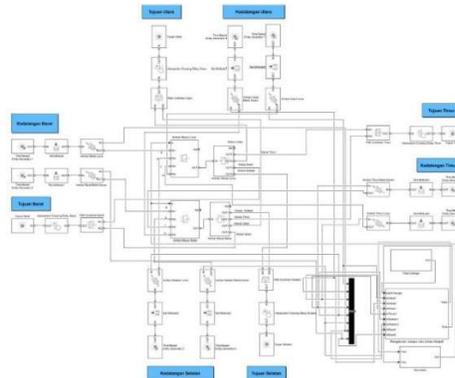


Gambar 5 Kelompok sinyal

**3.3. Model Komputer**

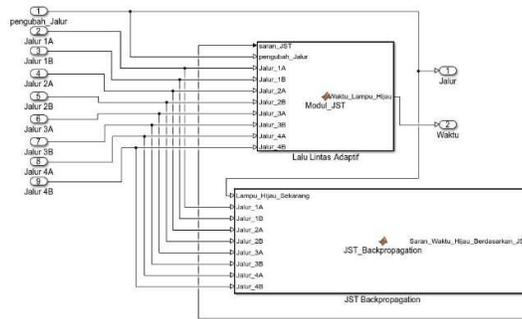
Pada penelitian ini digunakan program simulasi *Simulink* dan *SimEvent toolbox* pada Matlab. Perangkat lunak *SimEvent* memodelkan sistem *event* diskrit ke dalam *Simulink* yang berbasis waktu (*time based*). Dalam sistem berbasis waktu (*time-based system*), *state* baru terjadi secara sinkron terhadap waktu. Sedangkan, sistem *event* diskrit, transisi *state* tergantung pada kejadian diskrit yang terjadi secara asinkron yang disebut *event* [14].

Gambar 6 menunjukkan kelompok sinyal W1, W2, W3 dan W4 yang diimplementasikan menggunakan *input port* IN1, IN2, IN3, dan IN4 pada saklar masukan 1 dan saklar masukan 2. *Input port* dari saklar masukan 1 dan saklar masukan 2 dikendalikan oleh *output* sinyal blok Pengaturan Lampu Lalu Lintas Adaptif yang terhubung ke *input port* “p” dari saklar masukan. Saklar keluaran 1 dan 2 berfungsi mengeluarkan kendaraan sehingga dapat melintasi persimpangan.



Gambar 6 Model blok diagram persimpangan tunggal dengan Simulink/SimEvent.

Di dalam blok Pengaturan Lampu Lalu Lintas Adaptif (Gambar 7) mempunyai masukan dari blok pengubah jalur dan dari masing – masing jalur persimpangan jalan. Blok pengubah jalur merepresentasikan sistem lampu lalu lintas *fixed time* yang bekerja per satuan waktu sedemikian sehingga sistem JST selalu mendapatkan referensi tentang jalur yang “pada umumnya” akan hijau apabila tidak menggunakan JST. Berdasarkan pengubah jalur ini JST mendapatkan data jalur yang akan diubah statusnya dari merah ke hijau atau sebaliknya.



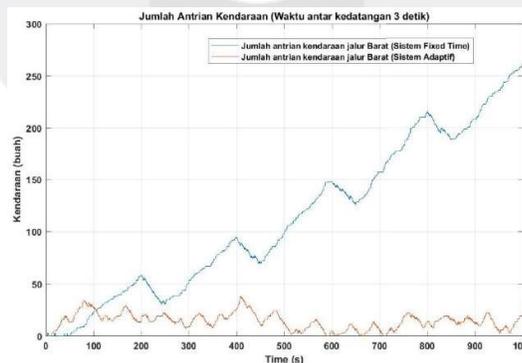
Gambar 7 Pengaturan Lampu Lalu Lintas Adaptif

Setelah sistem mendapat informasi tentang jalur yang akan berubah statusnya, sistem lampu lalu lintas adaptif akan membaca kondisi antrian di setiap lengan jalan. Berdasarkan kondisi yang ada, jalur yang biasanya berubah, dan hasil perubahan jalur sebelumnya, JST akan memperbaiki bobotnya untuk mengatasi *error* yang sebelumnya terjadi, kemudian menghitung waktu yang akan diterapkan untuk jalur yang akan dibuka atau dalam hal ini diberi lampu hijau. Dengan demikian akan diterapkan lama waktu hijau yang optimal berdasarkan *output* dari sistem JST. Sinyal keluran dari blok Pengaturan Lampu Lalu Lintas Adaptif akan mengontrol urutan aktivasi *port input* dari saklar masukan 1 dan 2. Karena model diimplementasikan menggunakan Simulink / SimEvents, verifikasi model dengan memastikan bahwa bahasa simulasi bebas dari kesalahan.

#### 4. Hasil dan Analisis

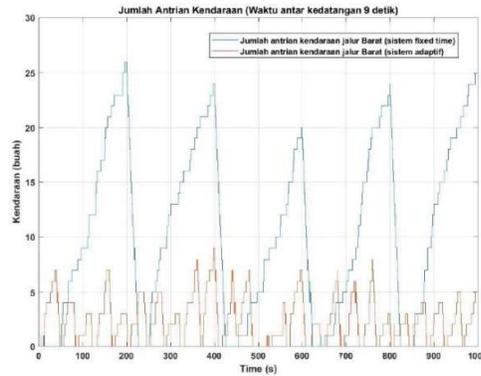
Tujuan dari simulasi ini adalah untuk memvalidasi model yang telah dibangun jika keluaran simulasi dari model ini lebih optimal dibandingkan dengan model sistem *fixed time* dan mempunyai karakteristik yang sama dengan sistem kontrol lampu lalu lintas sebenarnya. Keluaran dari simulasi yang dievaluasi sebagai indeks kinerja adalah jumlah kendaraan dalam antrian dan waktu tunggu rata – rata pada setiap aliran. Validasi dilakukan dengan durasi setiap kelompok sinyal pada sistem *fixed time* adalah 50 detik dan dua skenario waktu kedatangan antar kendaraan yang berbeda yaitu 3 detik (volume lalu lintas tinggi) dan 9 detik (volume lalu lintas rendah) pada setiap aliran lalu lintas.

Gambar 8 menunjukkan jumlah kendaraan pada setiap antrian yang menggunakan sistem lampu lalu lintas *fixed time* dan sistem lampu lalu lintas adaptif dengan waktu antar kedatangan 3 detik di jalur Barat (W1). Dari gambar tersebut tampak jika antrian kendaraan pada sistem lampu lalu lintas *fixed time* semakin lama semakin bertambah dibandingkan antrian kendaraan pada sistem lampu lalu lintas adaptif. Diambil contoh jalur Barat dengan menggunakan sistem lampu lalu lintas *fixed time*, mendapat kelompok sinyal aktif W1 selama 50 detik, maka jumlah kendaraan di antrian tersebut sedikit. Untuk 50 detik sampai 200 detik di mana kelompok sinyal W1 tidak aktif maka jumlah kendaraan bertambah. Pada waktu 200 detik sampai 250 detik, ketika kelompok sinyal W1 kembali maka jumlah kendaraan berkurang. Jumlah kendaraan bertambah kembali ketika 250 detik sampai 400 detik ketika kelompok sinyal tidak aktif dan demikian seterusnya.



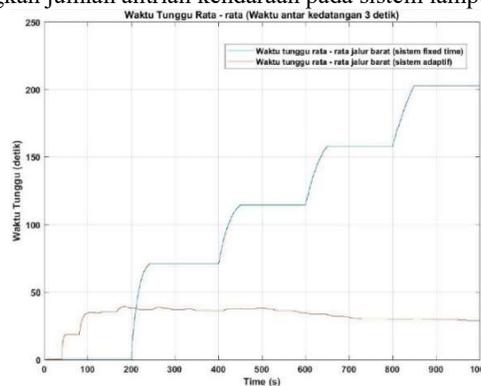
Gambar 8 Jumlah antrian kendaraan dengan waktu antar kedatangan 3 detik.

Dengan menggunakan sistem lampu lalu lintas adaptif menunjukkan jumlah antrian kendaraan pada setiap jalur lebih sedikit jika dibandingkan dengan sistem lampu lalu lintas *fixed time* walaupun volume lalu lintas tinggi. Hal tersebut dikarenakan sistem lampu lalu lintas adaptif mampu menyesuaikan kondisi lalu lintas yang terjadi dan memberikan waktu aktif lampu hijau sesuai dengan jumlah antrian kendaraan pada setiap jalur.



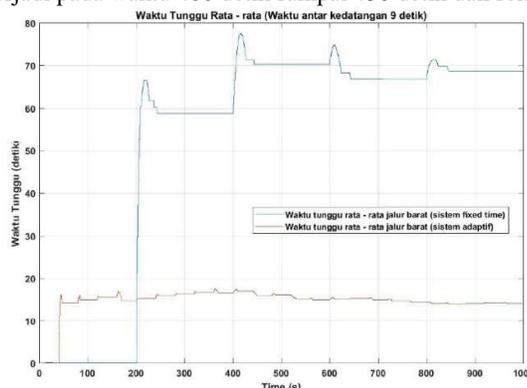
Gambar 9 Jumlah antrian kendaraan dengan waktu antar kedatangan 9 detik.

Jika waktu antar kedatangan diubah menjadi 9 detik, maka jumlah kendaraan yang datang ke antrian berkurang atau volume lalu lintas rendah. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 9 di mana jumlah antrian kendaraan lebih sedikit daripada jika waktu antar kedatangan 3 detik atau volume lalu lintas tinggi. Gambar 9 juga menunjukkan perbandingan antara jumlah antrian kendaraan dengan sistem lampu lalu lintas *fixed time* dan sistem lampu lalu lintas adaptif. Sebagai contoh kembali, dengan sistem lalu lintas *fixed time* di jalur Barat pada waktu 0 sampai 200 detik jumlah antrian kendaraan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah antrian kendaraan dengan sistem lampu lalu lintas adaptif. Karakteristik yang sama ditunjukkan pada waktu 300 detik sampai 400 detik dan seterusnya. Dengan menggunakan sistem lampu lalu lintas adaptif saat volume lalu lintas rendah juga menunjukkan jumlah antrian kendaraan lebih sedikit dibandingkan jumlah antrian kendaraan pada sistem lampu lalu lintas *fixed time*.



Gambar 10 Waktu tunggu rata – rata dengan waktu antar kedatangan 3 detik.

Gambar 10 menunjukkan waktu tunggu rata – rata antrian kendaraan yang menggunakan sistem lampu lalu lintas *fixed time* dan sistem lampu lalu lintas adaptif dengan waktu antar kedatangan 3 detik di jalur Barat. Matlab memperbaharui (meng-*update*) waktu tunggu rata – rata di dalam antrian untuk entitas (*costumer*) yang telah meninggalkan antrian. *Costumer* meninggalkan antrian jika kelompok sinyal pada jalur tersebut aktif. Sebagai contoh, jalur Barat mendapatkan kelompok sinyal aktif (W1) selama durasi 50 detik pertama waktu tunggu di antrian sangat pendek. Untuk waktu 50 detik sampai 200 detik di mana kelompok sinyal dari jalur Barat tidak aktif, maka Matlab tidak memperbaharui waktu tunggu rata – rata. Pada waktu 200 detik sampai 250 detik, ketika kelompok sinyal aktif, tampak waktu tunggu bertambah karena jumlah antrian kendaraan bertambah dari waktu 50 detik sampai 200 detik. Karakteristik yang sama juga terjadi pada waktu 400 detik sampai 450 detik dan selanjutnya.



Gambar 11 Waktu tunggu rata – rata dengan waktu antar kedatangan 9 detik.

Gambar 11 menunjukkan waktu tunggu rata – rata antrian kendaraan yang menggunakan sistem lampu lalu lintas *fixed time* dan sistem lampu lalu lintas adaptif dengan waktu antar kedatangan 9 detik di jalur Barat. Seperti dijelaskan pada Gambar 10, jika waktu antar kedatangan diubah menjadi 9 detik maka jumlah antrian kendaraan rendah atau volume lalu lintas rendah. Akibatnya waktu tunggu lebih sedikit daripada jika waktu antar kedatangan 3 detik atau volume lalu lintas tinggi. Dari Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan perbedaan waktu tunggu rata – rata pada sistem lampu lalu lintas *fixed time* dan sistem lampu lalu lintas adaptif yang relatif berbeda jauh untuk waktu pengamatan yang cukup lama

## 5. Kesimpulan

Penelitian ini mengusulkan pengembangan model simulasi yang lebih baik dari kontrol lampu lalu lintas waktu tetap (*fixed time*) pada persimpangan tunggal. Pengembangan model adalah dengan dimodelkannya algoritma jaringan syaraf tiruan ke dalam blok Pengaturan Lampu Lalu Lintas Adaptif. Berdasarkan terori antrian, model simulasi ini mudah dikembangkan menggunakan Matlab dengan *toolbox* Simulink/SimEvents.

Simulasi menunjukkan bahwa model berfungsi dengan benar. Hasil percobaan menunjukkan bahwa jumlah antrian kendaraan dan waktu tunggu rata – rata pada sistem lampu lalu lintas adaptif lebih rendah dibandingkan pada sistem lampu lalu lintas *fixed time*. Hal tersebut berarti bahwa sistem lebih optimal untuk mengatasi kemacetan di persimpangan jalan. Model dapat dikembangkan lebih lanjut untuk model persimpangan banyak dan diimplementasikan ke dalam sebuah prototipe sistem nyata.

## Daftar Pustaka :

- [1] Z. Yang, X. Huang, C. Du, M. Tang, and F. Yang, "Hierarchical Fuzzy Logic Traffic Controller for Urban Signalized Intersections," pp. 5203–5207, 2008.
- [2] J. Li, X. Pan, and X. Wang, "State-Space Equations and the First-Phase Algorithm for Signal Control of Single Intersections," *Tsinghua Sci. Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 231–235, 2007.
- [3] R. Sargent, "Verification and Validation of Simulation Models," *Proc. 2009 Winter Simul. Conf.*, vol. 37, pp. 162–176, 2009.
- [4] A. Che, S. Lai, and G. Rhung, "MATLAB Simulation of Fuzzy Traffic Controller for Multilane Isolated Intersection," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 02, pp. 924–933, 2010.
- [5] Z. Gacovski, S. Deskovski, and K. Veljanovska, "Fuzzy Traffic Controller for Urban Intersection Developed in Simulink/SimEvents," *IFAC Proc. Vol.*, pp. 122–125, 2012.
- [6] B. Zhou, J. Cao, and H. Wu, "Adaptive Traffic Light Control of Multiple Intersections in WSN-Based ITS," pp. 1–5, 2011.
- [7] B. Zhou, J. Cao, X. Zeng, and H. Wu, "Adaptive traffic light control in wireless sensor network-based intelligent transportation system," *Veh. Technol. Conf. Fall (VTC 2010-Fall)*, 2010 *IEEE 72nd*, pp. 1–5, 2010.
- [8] S. Sumaryo, A. Halim, and K. Ramli, "Improved Discrete Event Simulation Model of Traffic Light Control on A Single Intersection," *IEEE*, pp. 116–120, 2013.
- [9] Y. Wang, Z. Wu, X. Yang, and L. Huang, "Design and Implementation of an Access Control System Based on Cooperative Vehicle-Infrastructure Technology," *J. Korea Spat. Inf. Soc.*, vol. 21, no. 4, pp. 15–24, 2013.
- [10] B. Zaman, M. Fajar, M. E. Suryana, and A. Ramadhan, "Implementasi Sistem Klasifikasi Mobil Pada Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Terdistribusi Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan," *Ilmu Komput. dan Inf.*, vol. 4, p. 8, 2011.
- [11] T. Van Woensel, N. Vandaele, and A. Verbruggen, "A Queueing Based Traffic Flow Model," *Transp. Res. Transp. Environ.*, vol. 5, no. 2, pp. 121–135, 2000.
- [12] R. Hall, "Queueing Methods for Services and Manufacturing," *Englewood Cliffs*, 1991.
- [13] S. Guberinic, G. Senborn, and B. Lazic, *Optimal Traffic Control: Urban Intersections*. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
- [14] MathWorks, "SimEvents-getting started guide R2012a," 2012.