

DESAIN DAN PERMODELAN PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS UNTUK MENGAKOMODASI KENDARAAN DARURAT YANG LEWAT PERLINTASAN JALAN

(DESIGN AND MODELING TRAFIC LIGHT SYSTEM FOR ACCOMODATING EMERGENCY VEHICLE VIA JUNCTION ROAD)

Agung Siwi Widagda¹, Dr.Ir. Sony Sumaryo M.T.², Erwin Susanto, S.T., M.T., Ph.D³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
agungsiwi@student.telkomuniversity.ac.id ²sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id
³erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Selain mengganggu aktivitas masyarakat, kemacetan juga menyebabkan kendaraan-kendaraan darurat seperti ambulans dan mobil pemadam kebakaran mengalami hambatan untuk melintas di persimpangan jalan. Makalah ini menyajikan sebuah desain dan permodelan dari sebuah lampu lalu lintas yang lebih baik dari kontrol sinyal waktu tetap (*fixed time*) di sebuah persimpangan tunggal. Model yang dikembangkan menggunakan SIMULINK/SimEvent yang disediakan oleh aplikasi MATLAB. Model yang dikembangkan adalah dengan menggunakan *pre-emptive traffic signal logic* yang akan digabungkan dengan satu buah *switch*, *switch* tersebut akan menghubungkan jalur pada persimpangan. Dalam penelitian ini, kontrol algoritmanya berada pada *traffic signal logic* block. Masing-masing jalan terdiri dari satu jalur untuk aliran lurus. Setiap aliran dimodelkan dalam model M/M/1. Antrian pada setiap jalurnya menggunakan disiplin FIFO. Waktu antar kedatangan kendaraan dimodelkan dengan distribusi eksponensial. Validasi model di uji dengan dua skenario yaitu dengan menggunakan *pre-emptive traffic logic* dan *normal traffic logic*. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa waktu tempuh rata-rata kendaraan darurat pada lampu lalu lintas dengan menggunakan *pre-emptive logic* lebih cepat dibanding dengan lampu lalu lintas *fixed time*. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan lebih baik dari model yang sudah ada.

Kata kunci : kendaraan darurat, kemacetan, lampu lalu lintas, adaptif, simulasi.

Abstract

Traffic jam can disrupting people activities and also cause emergency vehicles like ambulance and firetruck blocked its way to go through a road junction. This paper provides design and model from a traffic light that is better than fixed time signaling control at a single junction. The model is developed using SIMULINK/SimEvent from MATLAB. Developed model uses pre-emptive traffic signal logic that will be combined with one switch. The switch will connect lanes from a junction. In this research, the algorithm control is in the traffic signal logic block. Each road consists one lane for straight flow. Each flow is designed in M/M/1 model. The queue on each lane uses FIFO discipline. The time between arriving vehicles is designed with exponential distribution. Model validation is tested with two scenarios, which are using pre-emptive traffic logic and normal traffic logic. The result from this research shows that emergency vehicles average travelling time on traffic light that uses pre-emptive logic is faster than fixed time traffic light. It proves that the developed model from this research is better than current applied model.

Keywords: emergency vehicles, traffic jam, traffic lights, adaptive, simulation.

1. Pendahuluan

Dewasa ini tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi menyebabkan terjadinya kemacetan dan menjadi masalah utama di kota-kota besar, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Kemacetan lalu lintas yang terjadi setiap harinya menjadi masalah kritis bagi pemerintah pusat dan daerah.

Meningkatnya kepadatan transportasi telah menjadi masalah yang serius bagi para peneliti di seluruh dunia. Banyak sistem transportasi cerdas yang diusulkan guna mengatasi permasalahan lalu lintas tersebut. Permasalahan umum pada pengaturan lalu lintas di kota besar adalah pengaturan trafik melalui sinyal trafik khususnya di persimpangan jalan. Sinyal trafik dibuat sedemikian rupa sehingga mampu mengatasi konflik antara

aliran trafik pada persimpangan jalan. Berbagai metode untuk mengatasi konflik trafik tersebut. Metode yang tepat dapat meminimalisir masalah yang ada seperti kemacetan dan kecelakaan. Optimasi fungsi lampu lalu lintas di persimpangan jalan telah dipertimbangkan sebagai salah satu cara yang efektif menanggulangi kemacetan lalu lintas [1].

Permasalahan lain adalah penanganan trafik untuk kendaraan darurat seperti mobil ambulance dan pemadam kebakaran. Pengaturan sinyal trafik ini membutuhkan pengaturan *pre-emptive*. Pengaturan *pre-emptive* dirancang untuk memberikan sinyal trafik tertentu kepada jenis kendaraan darurat atau kendaraan yang memiliki prioritas tinggi untuk melewati persimpangan jalan. Beberapa keuntungan pengaturan sinyal *pre-emptive* adalah meningkatkan waktu respon dari kendaraan darurat dan meningkatkan keamanan dan kendala untuk kendaraan yang memerlukan sinyal *pre-emptive* [1].

Untuk memodelkan sebuah sistem transportasi secara tepat, perlu dilakukan validasi dan verifikasi model. Sebuah model dibangun untuk tujuan spesifik tertentu dan validasinya ditentukan terhadap tujuan spesifik tersebut [2]. Pertanyaan-pertanyaan terhadap masalah yang ada dapat dijawab dengan validasi model yang didasarkan pada setiap pertanyaan tersebut.

Teori antrian (*Queueing Theory*) yang digunakan untuk permodelan trafik sudah banyak dilakukan oleh para peneliti. Ketika sebuah layanan memiliki kapasitas yang terbatas, sedangkan permintaan layanan melebihi kapasitas tersebut maka akan terjadi sebuah antrian. Hal ini dapat kita amati pada lampu lalu lintas pada persimpangan, ada beberapa karakteristik seperti waktu tunggu atau panjang antrian. Waktu tunggu yang lama akan menyebabkan terjadinya antrian, konsep teori ini yang nantinya akan digunakan untuk menganalisis panjang antrian dan pengosongan antrian di depan kendaraan darurat.

Untuk memodelkan antrian ini digunakan model M/M/1, karena kondisi dari model ini adalah *steady-state*. Yang dimaksud *steady-state* dalam sistem lalu lintas yaitu bahwa aliran trafik yang diamati adalah stasioner atau semua kendaraan akan selalu bergerak.

Sistem ini diusulkan dalam bentuk model karena sistem ini dibangun dengan asumsi tertentu dari sistem nyata. Model dibangun dengan target bahwa kendaraan darurat dapat melewati persimpangan jalan dalam waktu tertentu dan kecepatan konstan sehingga *delay* waktunya menjadi minimum. Validasi model dilakukan dengan metode *operational graphics*. Penelitian ini sangat penting sebagai dasar penelitian lebih lanjut dalam hal implementasi sistem *pre-emptive* yang dilengkapi dengan metode pengosongan antrian di depan kendaraan darurat pada persimpangan jalan.

2. Dasar Teori

2.1 Konsep Lalu Lintas

Untuk mengatur lalu-lintas di persimpangan jalan dengan efektif adalah dengan menggunakan lampu lalu-lintas. Lampu lalu-lintas adalah sebuah alat elektrik (dengan sistem pengatur waktu) yang memberikan hak jalan pada satu arus lalu-lintas atau lebih sehingga aliran lalu-lintas ini bisa melewati persimpangan dengan aman dan efisien [3].

2.2 Traffic Signal Pre-emption

Traffic Signal Preemption adalah perubahan operasi sinyal pengaturan dari operasi normal ke mode operasi khusus. Pengaturan ini dirancang untuk memberikan algoritma khusus untuk jenis kendaraan yang memiliki prioritas tertinggi untuk melewati persimpangan jalan [4]. Jadi terdapat perbedaan prioritas antara kendaraan seperti ambulance atau pemadam kebakaran dengan kendaraan umum. Beberapa teknologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi kendaraan dengan pengaturan *pre-emptive* antara lain: cahaya, suara, transmisi radio dan tombol yang diaktifkan ketika kendaraan mendekati persimpangan [4]. Pengaturan *pre-emptive* memiliki pengaruh sangat besar terhadap pengaturan waktu sinyal trafik karena di dalam prosesnya yaitu mengganti dari fase normal ke fase *pre-emptive*. Tahapan dalam algoritma *pre-emptive* diantaranya adalah *preparation*, *pre-emptive sequence*, *recovery* [5].

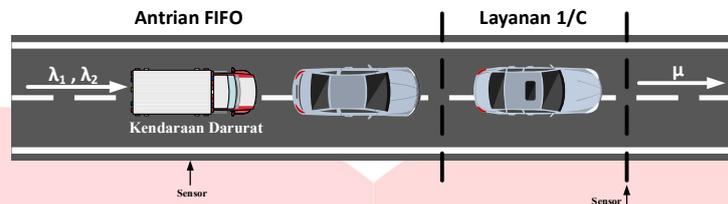
$$T_E = \frac{L_E}{V_E} \quad (2.1)$$

2.3 Model Aliran Trafik Berdasarkan Teori Antrian

Sistem Transportasi merupakan sistem dinamis yang kompleks yang sulit dimodelkan secara tepat [6]. Model trafik jalan dapat direpresentasikan dalam tiga model utama yaitu: model Mikroskopik, model Mesoskopik dan model Makroskopik. Model Mikroskopik mendeskripsikan setiap kendaraan secara terpisah dan berdasarkan pada teori bagaimana kendaraan-kendaraan tersebut bermanuver (mengatur gerakan) pada trafik jalan. Dalam model Makroskopik, semua individu kendaraan di-aggregate dan direpresentasikan sebagai aliran atau flow. Model Mesoskopik merepresentasikan kombinasi elemen pada model Mikroskopik dan model Makroskopik. Dalam penelitian ini dikembangkan model Makroskopik dengan menggunakan teori antrian (*queueing theory*).

Model antrian secara analitik dapat merekonstruksi diagram fundamental yaitu diagram yang merepresentasikan aliran dalam parameter kecepatan-kepadatan, kecepatan-aliran dan aliran-kepadatan [7]. Pada

Gambar 1 dapat dilihat bahwa jalan dibagi menjadi beberapa bagian dengan panjang $1/C$ sesuai dengan panjang kendaraan yang paling minimal. C adalah kepadatan trafik maksimum dalam satuan kendaraan/km. Setiap bagian jalan dianggap sebagai server, di mana kendaraan tiba dengan laju kedatangan rata-rata λ (kendaraan/jam) dan mendapat layanan dengan laju layanan rata-rata μ (kendaraan/jam). Antriannya menggunakan prinsip First In First Out (FIFO).



Gambar 1 Model kenseptual aliran trafik dengan adanya kendaraan darurat

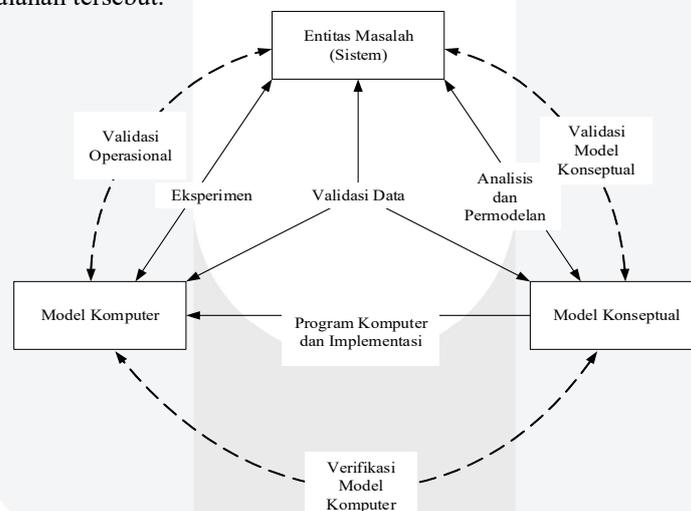
Diasumsikan terdapat sensor di *upstream* dan *downstream* pada ruas jalan untuk mendeteksi kedatangan dan keluarnya kendaraan darurat pada persimpangan jalan. Waktu yang dibutuhkan kendaraan darurat diharapkan dapat seminimal mungkin sehingga model yang dibuat sesuai dengan yang diharapkan.

2.4 Model M/M/1

Notasi M/M/1 mengandung pengertian yaitu huruf M yang pertama menyatakan waktu antar-kedatangan terdistribusi secara eksponensial dengan ekspektasi waktu antar-kedatangan sama dengan $1/\lambda$. Notasi M yang kedua menyatakan waktu layanan yang menggambarkan waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati satu segmen jalan dan terdistribusi eksponensial dengan laju layanan rata-rata μ mengikuti distribusi Poisson. Sedangkan notasi terakhir yaitu angka "1" menyatakan jumlah layanan atau server sebanyak satu buah atau untuk kasus ini satu jalur jalan [8].

2.5 Model Simulasi

Model yang benar memerlukan validasi dan verifikasi model. Sebuah model dibangun dengan tujuan untuk menyelesaikan sebuah masalah tertentu [2]. Sebuah model akan berjalan dengan baik jika sistem dirancang dengan tepat sasaran dan tepat guna. Tepat sasaran diartikan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.



Gambar 2 Proses pemodelan simulasi dengan komputer

Proses pembuatan model komputer secara sederhana dapat dilihat dari Gambar 2 menurut [2]. Entitas masalah adalah sebuah sistem, ide, situasi, atau fenomena yang dimodelkan. Model konseptual representasi matematis/logis/verbal dari entitas masalah untuk tujuan tertentu. Model konseptual yang diimplementasikan ke dalam komputer disebut model komputer. Model konseptual dibangun melalui fase analisis dan pemodelan, sedangkan model komputer dibangun melalui fase pemrograman dan implementasi. Kesimpulan tentang entitas masalah diperoleh melalui percobaan komputer pada model komputer di dalam fase percobaan.

3. Perancang Sistem

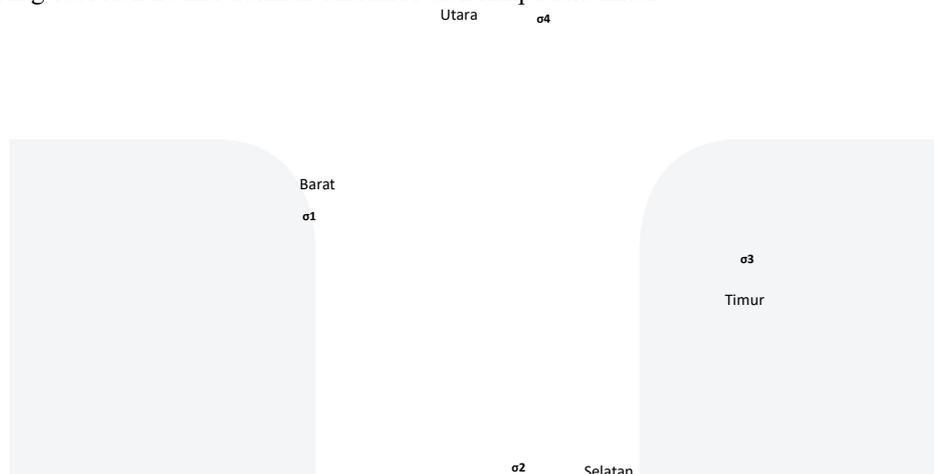
3.1 Pearancangan Sistem dan Model Persimpangan

Model konseptual yang dibuat adalah sebuah persimpangan jalan yang terdiri dari empat ruas jalan untuk masing-masing satu jalur. Salah satu ruas jalan adalah ruas jalan kedatangan kendaraan darurat dan ruas jalan lainnya adalah tujuan kendaraan darurat. Kondisi aliran lalu lintas dimodelkan dengan model antrian M/M/1. Sebagai ukuran kinerja adalah waktu tempuh rata-rata kendaraan normal dan kendaraan darurat di persimpangan dengan pengaturan waktu tetap (*fixed time*). Ukuran kinerja lainnya adalah waktu tempu rata-rata kendaraan normal dan kendaraan darurat untuk melewati persimpangan dengan pengaturan waktu adaptif. Ukuran kinerja yang digunakan adalah waktu tempuh rata – rata kendaraan pada sistem lampu lalu lintas *fixed time*. Ukuran kinerja lainnya adalah waktu tempuh rata – rata pada sistem lampu lalu lintas adaptif. Kemudian waktu tempuh kendaraan darurat pada kedua sistem dibandingkan dan diamati.

Masukan dari sistem adalah data antrian kendaraan dan sinyal kendaraan darurat baik kedatangan maupun kepergian kendaraan darurat tersebut. Sistem mulai dengan mendeteksi adanya kendaraan darurat di ruas jalan tertentu, kemudian penyesuaian sistem sesuai dengan kondisi lampu pada saat itu. Proses ini berlangsung selama sistem belum menerima sinyal keluarnya kendaraan darurat.

3.2 Model Konseptual dan Asumsi Struktural Persimpangan

Persimpangan diasumsikan memiliki 4 ruas jalan yaitu Barat, Utara, Timur, Selatan. Dalam setiap ruas/lengan jalan diasumsikan hanya satu jalur. Jalur ini digunakan untuk kendaraan yang bergerak arah lurus maupun belok kanan. Jalur yang digunakan untuk berbelok ke kiri tidak diperhitungkan dalam model ini, karena kendaraan yang berbelok ke kiri tidaklah dikontrol oleh lampu lalu lintas.



Gambar 3 Model grafis arus trafik pada persimpangan jalan tunggal

Seperti yang sudah dibahas, jalur dimodelkan sebagai M/M/1. Untuk distribusi waktu kedatangannya masih tetap terdistribusi secara eksponensial (*Markovian*). Namun, pada model penelitian ini distribusi waktu layanan adalah konstan atau *Deterministic* dan server tunggal. Sehingga model M/M/1 sedikit diubah menjadi M/D/1. Disiplin FIFO diterapkan pada antrian kendaraan. Kendaraan didefinisikan sebagai customer dan waktu layanan adalah lamanya kendaraan melintasi persimpangan jalan.

penelitian [9] menyebutkan bahwa karakteristik kedatangan lalu lintas mengikuti model *poisson* yang sudah diuji dalam prakteknya dan masih digunakan sampai sekarang. Aliran trafik dengan model *poisson* ditumuskan dengan formula berikut [9]:

$$P_{mi}(\tau) = \frac{(q_i \tau)^{m_i}}{m_i!} e^{-q_i \tau} \quad (3.1)$$

$P_{mi}(\tau)$: peluang (m_i) kendaraan datang dalam interval waktu τ

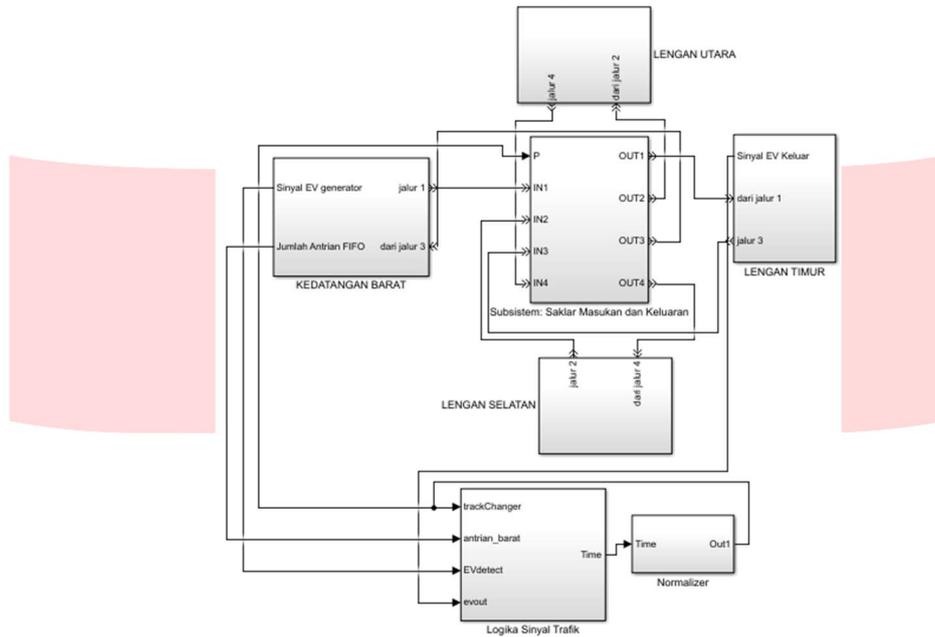
q_i : volume kendaraan dengan nilai konstan.

3.3 Model Komputer

Pada penelitian ini digunakan program simulasi *SIMULINK* dan *SimEvent* toolbox pada MATLAB. *SimEvent* memodelkan sistem berbasis *event* (*event based*) ke dalam *Simulink* yang berbasis waktu (*time based*). Dalam sistem yang berbasis waktu, simulasi akan sinkron terhadap waktu. Sedangkan sistem yang berbasis *event*, transisi simulasi tergantung dengan kejadian diskrit yang terjadi secara asinkron [10]

Model ini adalah hasil pengembangan terhadap model [11] yaitu dengan merubah logika sinyal trafiknya yang awalnya adalah *fixed time* menjadi adaptif sesuai dengan tujuan daripada penelitian ini. Selain itu

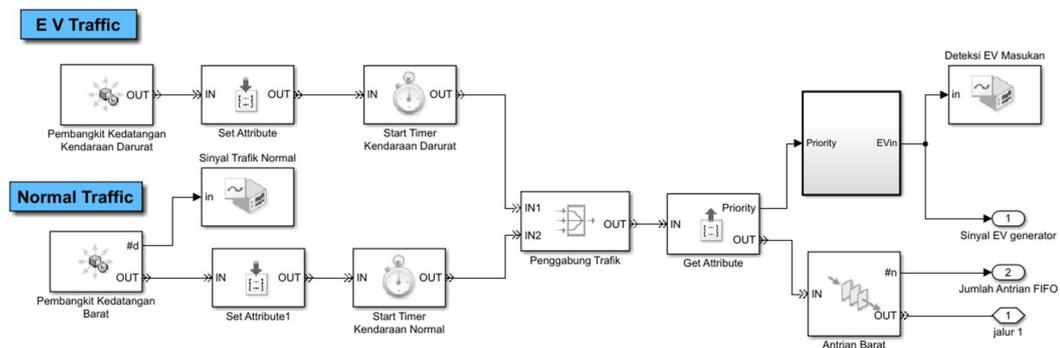
ditambahkan juga sinyal kedatangan kendaraan darurat pada lengan jalan kedatangan barat. Jalur 1, jalur 2, jalur 3 dan jalur 4 adalah notasi untuk jalur $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ dan σ_4 (pada Gambar 4) secara berturut-turut. Lengan persimpangan jalan terdiri dari lengan barat, lengan selatan, lengan timur dan lengan utara.



Gambar 4 Model komputer persimpangan tunggal

Isi dari subsistem lengan persimpangan terdiri dari jalur kedatangan dan jalur tujuan. Terdapat pembangkit kedatangan pada setiap lengan persimpangan dengan waktu antar kedatangan kendaraan terdistribusi eksponensial. Antrian pada setiap lengan menggunakan disiplin FIFO. Terdapat juga sebuah server yang digunakan untuk memberikan waktu layanan pada setiap kendaraan/waktu yang diperlukan sebuah kendaraan untuk melintasi persimpangan.

Model simulasi untuk kendaraan darurat dibedakan dari pembangkit kedatangannya. Pembangkit kendaraan darurat (Gambar 5) akan membangkitkan kendaraan dengan *attribute* berbeda dengan kendaraan normal. Kemudian kedua pembangkit trafik akan digabung agar antrian pada jalur tersebut sesuai dengan antrian yang sebenarnya.



Gambar 5 Model lengan persimpangan dengan adanya kendaraan darurat

Agar kendaraan dapat melintasi persimpangan, dalam model ini digunakan saklar masukan dan saklar keluaran yang akan aktif sesuai dengan logika yang diberikan. Saklar tersebut akan dikontrol oleh blok subsistem logika sinyal trafik. IN1, IN2, IN3, IN4 merupakan masukan (*input*) dari jalur 1,2,3,4 secara berturut-urut.

Algoritma pengaturan trafik dilakukan pada bagian subsistem logika sinyal trafik. Algoritma terkait tentang pengaturan trafik normal dan trafik *pre-emptive*. Contohnya adalah bagaimana mengatur sinyal trafik ketika kendaraan darurat melintas di persimpangan tersebut dengan kondisi trafik yang ada. Tentu dengan model persimpangan yang lebih mendekati kondisi nyata, pengujian algoritmanya akan lebih luas dan menyeluruh.

Untuk dapat mengontrol sinyal trafik yang aktif diperlukan beberapa informasi data masukan antara lain: lengan persimpangan mana yang sedang hijau, panjang antrian lengan kedatangan yang terdapat kendaraan daruratnya (dalam model ini adalah lengan kedatangan barat), detektor masuknya kendaraan darurat dan detektor keluarnya kendaraan darurat dari persimpangan jalan.

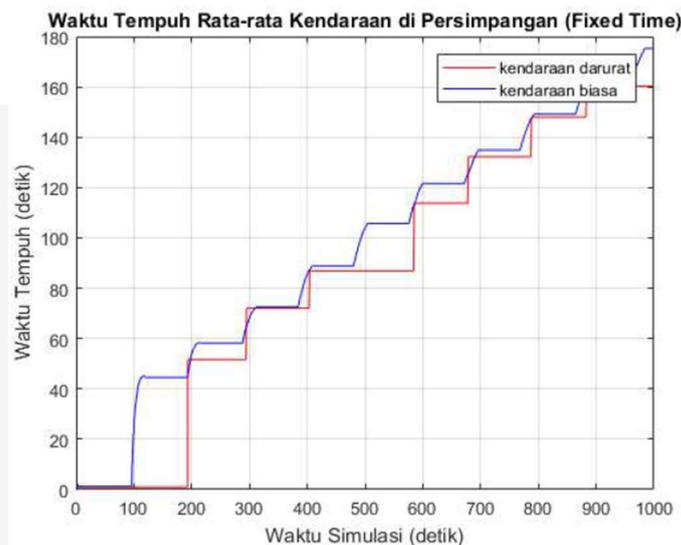
Setelah mendeteksi adanya kedatangan kendaraan darurat pada lengan persimpangan barat, sistem sinyal trafik akan membaca kondisi antrian pada lengan persimpangan barat dan keadaan sinyal trafik pada saat itu. Berdasarkan informasi data yang telah didapat, sistem akan mengubah sinyal trafik normal menjadi sinyal trafik *pre-emptive*, dimana jalur yang dilewati kendaraan darurat akan mendapat lampu hijau sedangkan lampu lalu lintas pada jalur lain akan berubah menjadi lampu merah. Kemudian ketika kendaraan darurat berhasil melewati persimpangan jalan, sistem akan mendeteksinya yang nantinya akan merubah pengaturan sinyal trafik menjadi normal kembali sesuai dengan kondisi awal sebelum kendaraan darurat melintas.

subsistem normalisasi sinyal digunakan untuk merubah data keluaran dari subsistem logika sinyal trafik yang berupa data *time-based* menjadi *event-based* diskrit sehingga dapat diimplementasikan pada saklar masukan dan keluaran. Saklar nantinya akan membuka dan menutup sesuai dengan pola jalur yang telah dikontrol.

4. Pengujian Sistem Dan Analisis

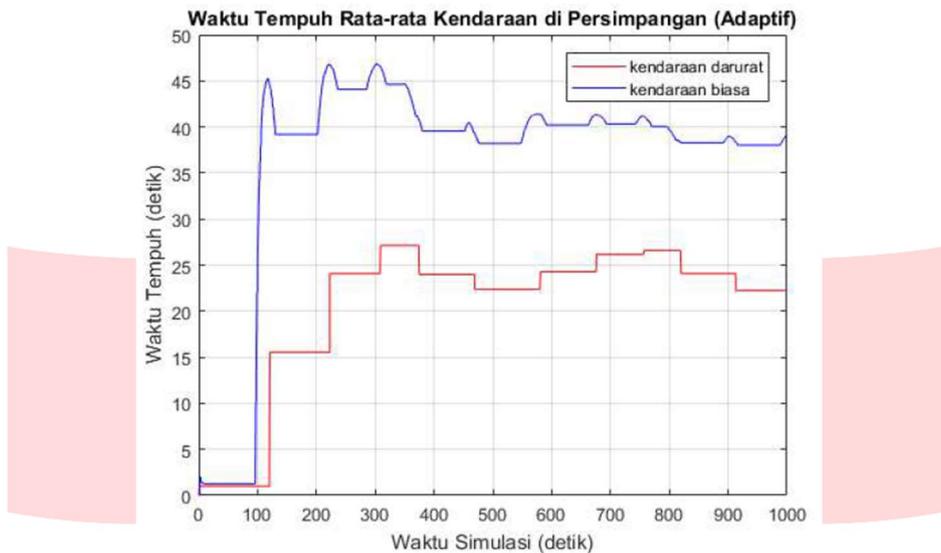
Simulasi ini bertujuan untuk validasi model yang telah dibuat memberikan keluaran yang lebih optimal dibandingkan dengan model sistem *fixed time* dan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Keluaran yang dianalisis sebagai indeks kinerja adalah waktu tempu rata-rata kendaraan darurat dan kendaraan normal dalam melewati persimpangan.

Gambar 6 menunjukkan percobaan dengan logika sinyal trafik waktu tetap. Di sini trafik menunjukkan terdapat dua jenis kendaraan yang melintasi persimpangan, yaitu kendaraan darurat dan kendaraan normal. Dapat diamati bahwa mulai pada detik ke 200, waktu tempuh kendaraan darurat terus meningkat dari 55 detik sampai 160 detik untuk melewati persimpangan. Begitu juga untuk kendaraan normal, waktu tempuh semakin lama. Hal ini menunjukkan trafik dengan logika sinyal waktu tetap menghasilkan waktu tempuh yang hampir sama antara kendaraan darurat dan kendaraan normal.



Gambar 6 Waktu tempuh kendaraan di persimpangan dengan logika sinyal trafik normal

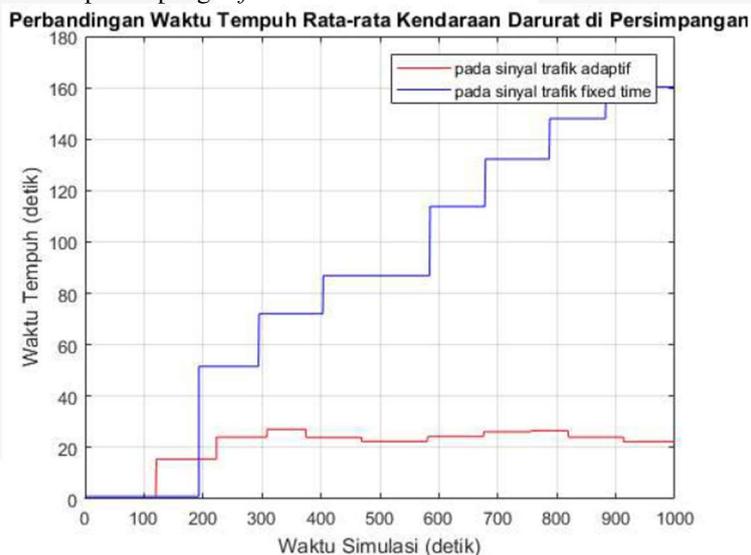
Gambar 7 menunjukkan percobaan dengan logika sinyal trafik *pre-emptive*. Di sini trafik menunjukkan waktu tempuh kendaraan yang lebih cepat. Waktu tempuh rata-rata sekitar 25 detik untuk kendaraan darurat dan 40 detik untuk kendaraan normal. Di sini waktu tempuh kendaraan normal juga tidak setinggi pada pengujian pertama, hal ini dikarenakan kendaraan normal harus mengikuti kendaraan darurat dimana harus mengosongkan antrian didepan kendaraan darurat tersebut.



Gambar 7 Waktu tempuh kendaraan di persimpangan dengan logika sinyal trafik *pre-emptive*

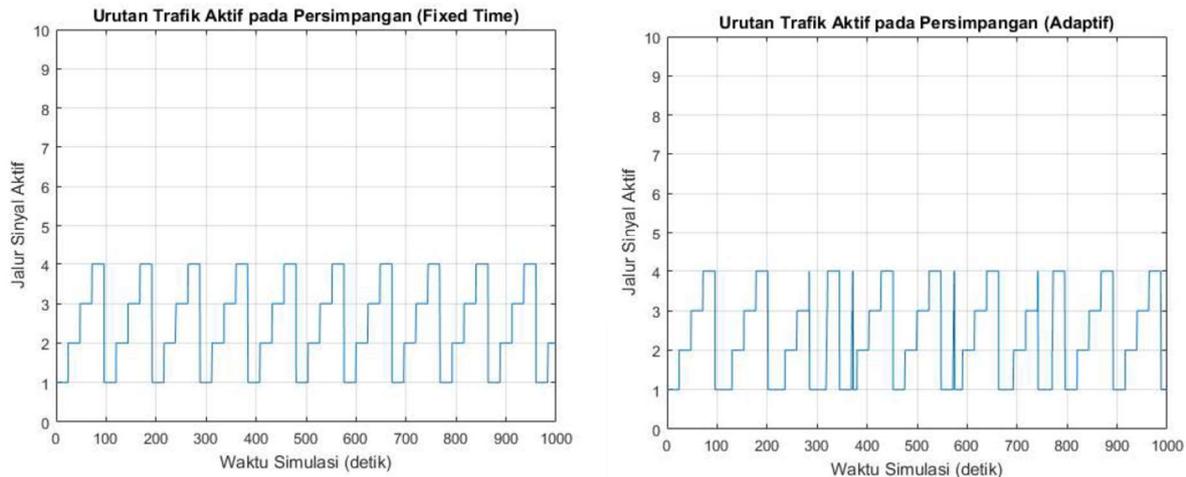
Dari Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dilihat perbedaan diantara kedua sistem. Sistem pertama (sinyal trafik normal) waktu tempuh kendaraan darurat semakin lama semakin membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melewati persimpangan. Sedangkan pada sistem kedua (sinyal trafik adaptif) waktu tempuh kendaraan darurat tidak selama pada sistem pertama. Waktu antar kedatangan kendaraan darurat sangatlah jarang karena tidak setiap saat kendaraan darurat melintas, hal ini sesuai dengan keadaan nyata. Dalam simulasi ini waktu antar kedatangan kendaraan darurat adalah 90.91 detik dan waktu antar kedatangan kendaraan biasa adalah 3 detik.

Waktu antar kedatangan sangatlah berpengaruh pada waktu tempuh rata-rata kendaraan darurat. Kondisi trafik dengan waktu antar kedatangan kendaraan yang lebih kecil akan menghasilkan waktu tempuh kendaraan darurat yang lebih lama dibandingkan dengan waktu antar kedatangan yang lebih besar. Disamping itu model persimpangan adaptif menunjukkan karakteristik waktu tempuh kendaraan darurat yang lebih rendah dibandingkan dengan model persimpangan *fixed time*.



Gambar 8 Waktu tempuh rata-rata kendaraan darurat

Perbedaan juga dapat dilihat dari pewaktu sinyal trafik yang dapat dilihat pada Gambar 9. Pada pewaktu tetap (*fixed time*) kelompok sinyal yang aktif adalah D1, D2, D3 dan D4 secara berturut-turut dengan waktu 24 detik. Trafik tidak berubah meskipun kendaraan darurat akan melintas pada persimpangan. Sedangkan pada pewaktu adaptif, kelompok sinyal yang aktif awalnya berurutan, namun sinyal akan berubah ke jalur D1 ketika ada kendaraan darurat dan kembali ke jalur sebelumnya ketika kendaraan darurat telah melintas. Sebagai contoh kendaraan akan melintas ketika kelompok sinyal yang aktif/jalur yang hijau adalah jalur D3, kelompok sinyal akan berubah ke jalur D1 dan ketika kendaraan darurat telah melintas maka kelompok sinyal yang aktif berikutnya adalah jalur D4.



Gambar 9 Urutan trafik aktif pada persimpangan *fixed time* dan adaptif

5. Kesimpulan

Penggunaan sistem lampu lalu lintas adaptif, secara keseluruhan memberikan perbaikan waktu tempuh rata-rata kendaraan darurat sebesar 3.47 kali dibanding dengan sistem lampu lalu lintas *fixed time*. Atau mengurangi waktu tempuh kendaraan darurat sebesar 71.15% dari sistem *fixed time*. Hal tersebut menjamin bahwa kendaraan darurat tidak terlambat secara signifikan. Validasi model dilakukan dengan menggunakan metode *internal validity*. Berdasarkan uji validasi, model yang dibangun telah sesuai dengan yang diharapkan.

Model baru simulasi sistem lampu lalu lintas berbasis *event* diskrit untuk persimpangan jalan tunggal. Model yang diusulkan adalah pengembangan dari model sederhana. Model ini lebih fleksibel karena dapat dikembangkan dan dapat dengan mudah melakukan pengujian algoritma tanpa melakukan perubahan kritis pada model.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Yang, X. Huang, C. Du, M. Tang dan F. Yang, "Hierarchical Fuzzy Logic Traffic Controller for Urban Signalized Intersections," *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2008.
- [2] R. G. Sargent, "VERIFICATION AND VALIDATION OF SIMULATION MODELS," *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 2009.
- [3] T. Kandaga dan E. Tjahjadi, "Aplikasi Simulasi Hubungan Antrian yang Terjadi Dan Penentuan Waktu Hidup Lampu Lalu Lintas Pada Persimpangan Jalan," *Jurnal Informatika*, vol. 7, pp. 87 - 97, 2011.
- [4] I. Kittelson & Associates, *Traffic Signal Timing Manual*, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2008.
- [5] R. Stewart dan M. Corby, "A Sophisticated Transit Signal Priority System - How it Works," *Paper for presentation at the Strategies for Transit Priority System Implementation of the 2006 Annual Conference of Transportation Association of Canada*.
- [6] L. Jinyuan, P. Xin dan W. Xiqin, "State-Space Equations and the First-Phase Algorithm for Signal Control of Single Intersections," *TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol. 12, no. 2, pp. 231-235, 2007.
- [7] N. Vandaele, T. V. Woensel dan A. Verbruggen, "A QUEUEING BASED TRAFFIC FLOW MODEL," *Transportation Research-D: Transport and environment*, vol. 5, no. 2, pp. 121-135, 2000.
- [8] R. W. Hall, *Queueing methods for series and manufacturing*, Prentice-Hall.
- [9] S. Guberinić, G. Šenborn dan B. Lazić, *Optimal traffic control: urban intersections*, CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
- [10] MathWorks, *SimEvents User's Guide*, MathWorks, 2012.
- [11] S. Sumaryo, A. Halim dan K. Ramli, "Improved Discrete Event Simulation Model of Traffic Light Control on A Single Intersection," *Quality in Research*, 2013.
- [12] M. Anokye, A. Abdul-Aziz, K. Annin dan F. T. Oduro, "Application of Queuing Theory to Vehicular Traffic at Signalized Intersection in Kumasi-Ashanti Region, Ghana," *American International Journal of Contemporary Research*, vol. 3, no. 7, 2013.