

**SIMULASI PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS MENGGUNAKAN
CELLULAR AUTOMATA DAN FUZZY INFERENCE SYSTEM****TRAFFIC LIGHT CONTROL SIMULATION USING
CELLULAR AUTOMATA AND FUZZY INFERENCE SYSTEM****Septian Nugraha Kudrat¹****Yuliant Sibaroni²****Erwin Budi Setiawan³**

Program Studi Ilmu Komputasi – Universitas Telkom

septian.nk@gmail.com¹ysibaroni@gmail.com²setiawanerwinbudi@gmail.com³**ABSTRAK**

Kemacetan menjadi permasalahan di berbagai wilayah, terutama di kota-kota besar. Permasalahan ini tidak mudah untuk diatasi karena semakin hari pertumbuhan populasi kendaraan semakin bertambah. Salah satu efek yang timbul dari pertumbuhan populasi kendaraan adalah menjadi sensitifnya pengaturan *traffic light* pada suatu persimpangan. Sistem pengaturan *traffic light* yang tidak sesuai dengan keadaan jumlah kendaraan dapat memicu kemacetan. Saat ini, sistem pengaturan *traffic light* menggunakan pengaturan *Fixed Time*. Durasi *traffic light* hasil pengaturan *Fixed Time* tidak dapat menyesuaikan dengan keadaan jumlah kendaraan sehingga tundaan yang dihasilkan berpotensi lama, terutama jika proporsi jumlah kendaraan tidak sesuai dengan durasi *traffic light* yang diberikan. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan suatu skema pengaturan yang lebih baik dibanding skema *Fixed Time*. Dalam penelitian ini, dikembangkan skema pengaturan adaptif menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS). FIS menghasilkan durasi lampu hijau untuk tiap pendekatan. FIS tidak memiliki parameter performa untuk menguji kemampuan skema yang telah dibuat sehingga sistem perlu diintegrasikan dengan model *Cellular Automata* (CA). Pergerakan kendaraan yang dihasilkan CA dapat memunculkan tundaan dan kecepatan rata-rata. Indikator keberhasilan utama dalam perhitungan didasarkan pada waktu tunggu rata-rata dan kecepatan rata-rata yang dialami oleh setiap kendaraan dalam waktu pengamatan per *time step*. Selain itu, pembagian durasi lampu lalu lintas dalam satu siklus menjadi faktor pertimbangan tambahan untuk menganalisis performa sistem. Metode FIS menghasilkan hingga 76,2 % tundaan rata-rata pada kelas E dan menghasilkan hingga 23,8 % tundaan rata-rata pada kelas F. Skema *Fixed Time* menghasilkan 0 % tundaan rata-rata pada kelas E dan 100 % tundaan rata-rata pada kelas F sehingga tundaan yang dihasilkan skema *Fixed Time* lebih lama daripada tundaan yang dihasilkan metode FIS.

Kata kunci : *traffic light, Fixed Time, adaptif, Fuzzy Inference System, Cellular Automata.***ABSTRACT**

The traffic jam has been happening in various regions, especially in big cities. This problem is not easy to be solved because the vehicle populations are increasing. One of the effects that arising from the growing of vehicle population is the set of traffic light at an intersection becomes sensitive. If traffic light control system is not appropriated with the number of vehicles then traffic jam might be happen. Nowadays, traffic light control system is controlled by Fixed Time settings. Fixed Time duration settings couldn't adapted to traffic jam situation, so the delay in this situation potentially will be long, especially if the proportion of vehicles are not appropriated with traffic light duration. This study was carried out to produce a scheme that better than Fixed Time scheme. In this study, the adaptive control scheme using Fuzzy Inference System (FIS) is developed. FIS produces the green light duration for each way directions. FIS doesn't has the performance parameters for test the ability of schemes, so the system needs to be integrated with Cellular Automata (CA). The movement of vehicles are produced by CA can bring average of delay and average of speed. The main success indicators in calculation are based on average of delay and average of speed on each vehicle in the observation time per time step. In addition, distributions of traffic lights duration in one cycle become an additional factor to analyze the system performances. FIS method produces up to 76.2% average of waiting time at E class and down to 23.8% average of waiting time at F class. Fixed Time scheme method produces 0% average of waiting time at E class and 100% average of waiting time at F class. Therefore, the Fixed Time delay is longer than FIS delay.

Keywords : traffic light, Fixed Time, adaptive, Fuzzy Inference System, Cellular Automata.

1. PENDAHULUAN

Pengaturan lampu lalu lintas yang ada saat ini bersifat tetap (*Fixed Time*). Sistem pengaturan tersebut tidak adaptif menanggapi perubahan jumlah kendaraan. Oleh karena itu, pengaturan *traffic light* yang bersifat *Fixed Time* berpotensi

tidak efisien.

Pada Penelitian ini, dibentuk gabungan teori *Cellular Automata* dengan dengan *Fuzzy Inference System* (FIS) untuk mencari solusi pengaturan lampu lalu lintas. Metode *Cellular Automata* berperan sebagai pengatur pergerakan kendaraan, metode *Fuzzy Inference System* berperan sebagai pengatur durasi lampu lalu lintas, dan skema *Fixed Time* berperan sebagai pembanding kinerja bagi metode *Fuzzy Inference System*. Simulasi yang dibuat berdasarkan lokasi studi kasus, yaitu di persimpangan Jl. Soekarno Hatta – Jl. Ibrahim Adjie kota Bandung, provinsi Jawa Barat, Indonesia.

Penelitian ini diupayakan untuk menemukan skema pengaturan yang lebih baik sehingga diharapkan dapat meminimalisasi tingkat kemacetan. Parameter keberhasilan perhitungan didasarkan kepada waktu tunggu rata-rata dan kecepatan rata-rata kendaraan. Pembagian durasi lampu lalu lintas dalam satu siklus menjadi faktor pertimbangan tambahan untuk membantu proses analisa performa sistem. Proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memodelkan dan membuat sistem simulasi pengaturan lampu lalu lintas pada suatu persimpangan jalan empat lengan menggunakan pemodelan gabungan *Cellular Automata - Fuzzy Inference System - skema Fixed Time*, menganalisis elemen-elemen penyusun dalam proses pembentukan sistem, dan menganalisis perbandingan kinerja sistem pengendali lampu lalu lintas yang dihasilkan oleh setiap metode.

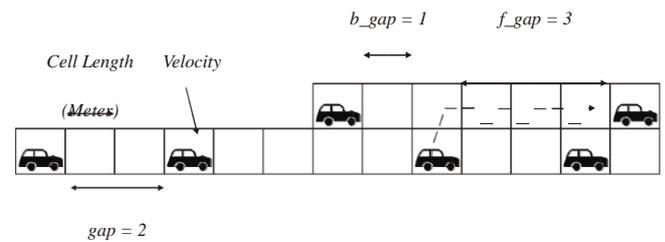
2. CELLULAR AUTOMATA (CA)

Cellular Automata merupakan sekumpulan sel identik yang berkumpul dan saling bertetangga, serta pada setiap *state* dari sel diberikan suatu aturan-aturan tertentu menurut status waktu iterasi yang ada. Model CA dalam penelitian ini direpresentasikan kedalam suatu *array*.

Prinsip kerja *Cellular Automata* adalah membentuk sel-sel dan menghubungkan sel-sel tersebut dengan suatu mekanisme ketetanggaan, lalu diterapkan *rule/transition function* pada setiap sel secara *parallel* untuk ditentukan *next state* pada *time step* selanjutnya. Pada kasus pergerakan kendaraan, CA memberikan model sebagai berikut.

A. Changing Line Rules

Aturan pindah lajur dilakukan untuk mengakomodir skema perpindahan dari satu lajur ke lajur yang lain [12].



Gambar 1. Ilustrasi model Two Lane

Aturan pindah lajur akan dilakukan jika terpenuhi syarat-syarat dibawah ini :

- Kendaraan di depannya terlalu dekat (kecepatan $>$ gap).
- Jalur di sebelahnya kosong.
- $f_gap \geq$ kecepatan.
- $b_gap \geq$ kecepatan_maksimum.
- Peluang untuk pindah terpenuhi ($rand() \leq$ peluang_pindah).

B. Nagel - Schreckenberg Model (Multi Speed Model)

Pada metode ini, Posisi setiap kendaraan di-update berdasarkan kecepatannya menggunakan empat langkah *rule*, yaitu *acceleration*, *distance adjustment*, *slowing down*, dan *car motion*. Pada skema *acceleration*, jika kecepatan lebih rendah dari kecepatan maksimum (V_{max}) dan jarak kendaraan di depan lebih dari kecepatan ditambah satu ($v + 1$) maka kecepatan dinaikkan satu [$v \rightarrow v + 1$]. Pada skema *distance adjustment*, jika kecepatan suatu kendaraan lebih besar daripada jarak kendaraan depannya ($v >$ jarak_depan) maka turunkan kecepatan menjadi sama dengan jarak depan atau gap ($v =$ jarak_depan). *Slowing down* berfungsi untuk menurunkan kecepatan akibat randomisasi komputer, bisa diartikan sebagai faktor hambatan kendaraan-kendaraan kecil. Dengan peluang sebesar p , kecepatan kendaraan setiap kendaraan yang tidak nol akan diturunkan satu ($v \rightarrow v - 1$). Pada proses *car motion*, Posisi setiap kendaraan akan di-update sesuai dengan kecepatannya masing-masing ($x_i = x_i + v_i$).

3. FUZZY INFERENCE SYSTEM (FIS)

Fuzzy Inference System berawal dari teori *Fuzzy Set* yang dikemukakan oleh Lofti Zadeh sekitar tahun 1965. Dengan *Fuzzy Set*, dapat direpresentasikan dan ditangani berbagai parameter ketidakpastian yang dalam hal ini bisa berarti keraguan, ketidaktepatan, kekuranglengkapan informasi, dan kebenaran yang bersifat sebagian [8]. Adapun proses-proses yang berjalan dalam *Fuzzy Inference System* terdiri dari *fuzzyfication*, *inference*, dan *defuzzyfication*. *Defuzzyfication* pada penelitian ini menggunakan *Weight Average method* [8].

Untuk menentukan batas *membership function* digunakan algoritma FCM sesuai dengan

teorema yang diberikan pada literatur [6]. Prinsip kerja dari algoritma FCM adalah mengubah pusat *cluster* (V) pada setiap iterasi hingga ditemukan pola *cluster* untuk data-data yang diteliti.

4. LEVEL OF SERVICE (LOS)

Berdasarkan *Highway Capacity Manual 3rd Edition* 1998 [11], kriteria tingkat pelayanan pada persimpangan berlampu lalu lintas dirumuskan sebagai berikut.

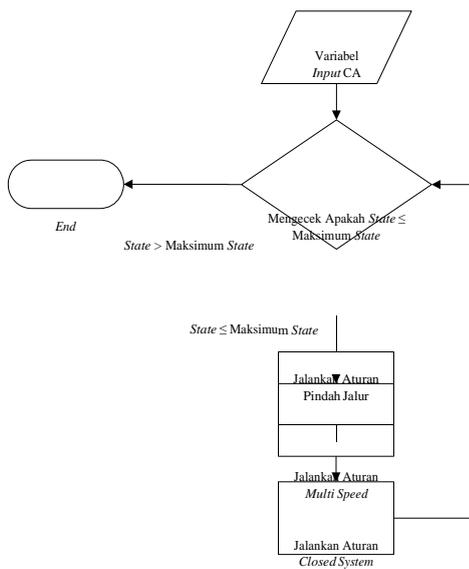
Tabel 1. Kriteria tingkat pelayanan berdasarkan tundaannya

Tingkat Pelayanan	Tundaan (t detik)
A	$t \leq 10$
B	$10 < t \leq 20$
C	$20 < t \leq 35$
D	$35 < t \leq 55$
E	$55 < t \leq 80$
F	$t > 80$

5. ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Data digunakan sebagai nilai *input* bagi metode FCM dan pengujian. Data yang diperoleh dari hasil survei lapangan adalah jumlah kendaraan yang masuk kedalam suatu pendekat persimpangan, durasi lampu kuning, durasi lampu hijau ketika pengaturan lampu lalu lintas *Fixed Time* diterapkan, dan durasi lampu hijau ketika pengaturan dilakukan oleh Polisi lalu lintas.

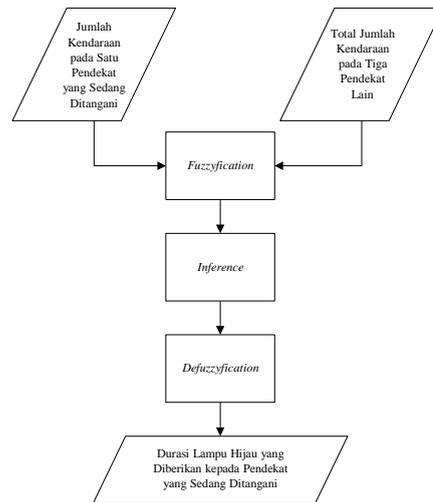
Model *Cellular Automata* disesuaikan dengan karakteristik yang dimiliki oleh lokasi studi kasus.



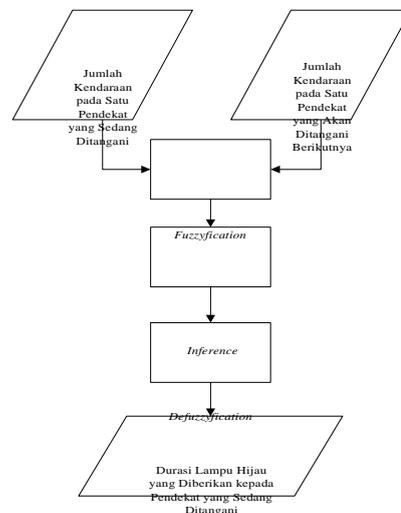
Gambar 2. Proses simulasi CA

Dalam penelitian ini, *Fuzzy Inference System* (FIS) digunakan sebagai sistem adaptif untuk pengaturan durasi waktu hijau pada persimpangan jalan. Pemilihan lengan prioritas yang akan diterapkan, didasarkan pada urutan sebenarnya di lapangan. Urutan tersebut yaitu, lengan barat – lengan selatan – lengan utara – lengan timur. *Fuzzy Inference System* bekerja berdasarkan data jumlah kendaraan yang masuk kedalam suatu pendekat.

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan terhadap [4] dan [9], didapat bahwa fungsi keanggotaan yang tepat adalah kombinasi fungsi segitiga dengan trapesium. Lebar atau pusat fungsi keanggotaan dapat diubah sesuai dengan kondisi lalu lintas [4]. Mekanisme penentuan batas-batas fungsi keanggotaan pada bagian *input* dan *output* terdiri dari *input* data volume kendaraan kedalam FCM, *input* data durasi lampu hijau kedalam FCM, dan penentuan batas-batas fungsi keanggotaan untuk *antecedent* dan *consequent* menggunakan FCM.



Gambar 3. Proses FIS I



Gambar 4. Proses FIS II

Nilai yang di-input-kan kedalam sistem keseluruhan merupakan gabungan dari input model CA, model *Fuzzy Inference System*, dan model pengaturan *Fixed Time*.

Adapun nilai yang di-output-kan, yaitu hasil pembagian durasi waktu, aturan *Fuzzy* yang digunakan, kedatangan kendaraan dari tiap pendekat, kecepatan rata-rata dalam waktu pengamatan per detik dari tiap pendekat dan semua pendekat, tundaan rata-rata dalam waktu pengamatan per detik dari tiap pendekat dan semua pendekat disertai dengan klasifikasi LoS, durasi lampu hijau, kuning, dan merah, *Time step*, populasi kendaraan, status aktif/ tidak aktif dari lampu lalu lintas tiap lengan, jumlah siklus, batas-batas fungsi keanggotaan *Fuzzy* pada bagian input, dan batas-batas fungsi keanggotaan *Fuzzy* pada bagian output.

6. IMPLEMENTASIDAN HASIL PENGUJIAN

6.1 Implementasi Sistem

Model *Cellular Automata* yang telah dirancang untuk proses simulasi lalu lintas diimplementasi kedalam aplikasi MATLAB. Pemrograman menggunakan pemrograman modular, dibuat beberapa kelas-kelas, dan dalam setiap kelas berisi prosedur-prosedur yang bersesuaian dengan tugasnya masing-masing.

Sebelum dilakukan perhitungan FIS, dilakukan terlebih dahulu proses FCM. Data input FCM terdiri dari varian durasi lampu hijau dan varian jumlah kendaraan. Parameter *C* dalam FCM merupakan jumlah variabel linguistik yang akan digunakan. Penentuan parameter FCM yang lain, didasarkan kepada penentuan standar yang terdapat pada [6]. Parameter-parameter tersebut beserta nilainya adalah :

- a. $W = 2$
- b. $maxItr = 100$
- c. $e = 10^{-6}$

Perhitungan FCM dengan input parameter diatas memperoleh hasil matriks pusat cluster (*V*) sebagai berikut :

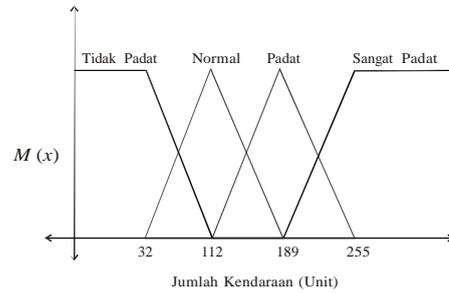
$$V_1 = [32,3351 \quad 111,5242 \quad 188,5360 \quad 254,6073]$$

$$V_2 = [47,0468 \quad 78,88867 \quad 91,3306 \quad 159,9431]$$

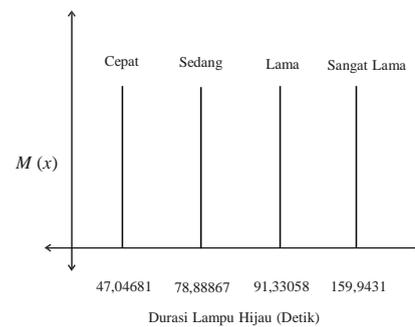
Input jumlah kendaraan tentunya harus dalam keadaan diskrit sehingga matriks V_1 diubah dengan fungsi *round* menjadi :

$$V_1 = [32 \quad 112 \quad 189 \quad 255]$$

Setelah diperoleh batas-batas *membership function*, kemudian dibuat fungsi keanggotaan untuk *antecedent* pertama dan *antecedent* kedua.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan input jumlah kendaraan



Gambar 6. Fungsi keanggotaan output durasi lampu hijau

Aturan *Fuzzy* untuk sistem ini diperoleh dari penelitian pakar yang tercantum pada [4]. Aturan *Fuzzy* yang digunakan untuk FIS I dan FIS II sesuai dengan rancangan yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Aturan *Fuzzy*

	Tidak Padat	Normal	Padat	Sangat Padat
Tidak Padat	Cepat	Sedang	Lama	Sangat Lama
Normal	Cepat	Sedang	Lama	Lama
Padat	Cepat	Sedang	Sedang	Lama
Sangat Padat	Cepat	Cepat	Sedang	Sedang

Setelah semua elemen syarat berfungsinya prosedur FIS terpenuhi kemudian dilakukan proses selanjutnya, yaitu proses FIS yang terdiri dari *fuzzyfication*, *inference*, dan *defuzzyfication* hingga dihasilkan nilai *crisp* durasi lampu hijau yang diberikan kepada satu pendekat yang sedang ditangani sistem untuk mendapatkan durasi lampu hijau.

6.2 Pengujian Sistem

Skenario pengujian didasarkan kepada data survei (sebagai *input*). Pada proses pengujian, dijalankan setiap metode pengaturan yang ada. Kecepatan rata-rata, tundaan rata-rata, dan pembagian durasi lampu yang dikalkulasi adalah pada tiap pendekatan. Data yang diolah berdasarkan hasil pengujian adalah kecepatan rata-rata (hasil model CA), tundaan rata-rata (hasil model CA), perolehan dan pembagian durasi lampu lalu lintas dalam satu siklus (hasil FIS dan *Fixed Time*).

Untuk mengukur performa sistem, digunakan analisa komparatif antara metode FIS dan skema *Fixed Time*. Metode FIS I terlebih dahulu dibandingkan dengan metode FIS II agar diperoleh metode FIS yang paling optimal. Kemudian, metode FIS yang paling optimal dibandingkan dengan skema *Fixed Time*. Objek yang dianalisa adalah total kecepatan rata-rata pada tiap pendekatan, total tundaan rata-rata pada tiap pendekatan, dan pembagian durasi lampu yang diberikan bagi tiap pendekatan. Sebagai indikator pengamatan, kecepatan yang semakin besar menandakan kinerja arus lalu lintas yang meningkat, sedangkan semakin kecil tundaan maka kinerja sistem semakin efisien.

Tabel 3. Perbandingan rasio Minus dan Plus bagi kecepatan rata-rata pada data *weekday*

<i>Weekday (V)</i>		FIS II		<i>Fixed Time</i>	
		Min	Plus	Min	Plus
FIS I	Plus	52,38%		78,57%	
	Min		47,62%		21,43%

Tabel 4. Perbandingan rasio Minus dan Plus bagi kecepatan rata-rata pada data *weekend*

<i>Weekend (V)</i>		FIS II		<i>Fixed Time</i>	
		Min	Plus	Min	Plus
FIS I	Plus	73,81%		85,71%	
	Min		26,19%		14,29%

Tabel 5. Perbandingan rasio Minus dan Plus bagi tundaan rata-rata pada data *weekday*

<i>Weekday (D)</i>		FIS II		<i>Fixed Time</i>	
		Min	Plus	Min	Plus
FIS I	Plus	80,95%		100%	
	Min		19,05%		0%

Tabel 6. Perbandingan rasio Minus dan Plus bagi tundaan rata-rata pada data *weekend*

<i>Weekend (D)</i>		FIS II		<i>Fixed Time</i>	
		Min	Plus	Min	Plus
FIS I	Plus	90,48%		100%	
	Min		9,52%		0%

Tabel 3 s/d tabel 6 menunjukkan perbandingan antar metode pengaturan *traffic light*. Metode yang memiliki rasio plus terbesar mendandakan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibanding yang lainnya. Dalam hal ini, metode FIS I memiliki rasio plus yang paling tinggi sehingga memiliki performa yang lebih efisien.

Banyaknya *record* data yang memiliki nilai plus pada FIS I menandakan bahwa metode FIS I banyak memberikan solusi dibanding FIS II dan *Fixed Time*. Banyaknya nilai plus pada FIS I disebabkan oleh penggunaan strategi *input*-nya. FIS I menggunakan pertimbangan tiga pendekatan lain dalam proses inferensinya sehingga memperpendek durasi lampu merah yang akibatnya dapat menurunkan tundaan.

Tabel 7. Klasifikasi tundaan rata-rata berdasarkan LoS pada data *weekday*

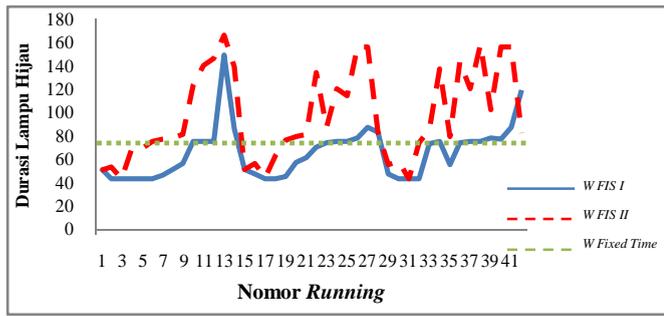
	FIS I	FIS II	<i>Fixed Time</i>
Rasio E	71,4286%	30,9524%	0%
Rasio F	28,5714%	69,0476%	100%

Tabel 8. Klasifikasi tundaan rata-rata berdasarkan LoS pada data *weekend*

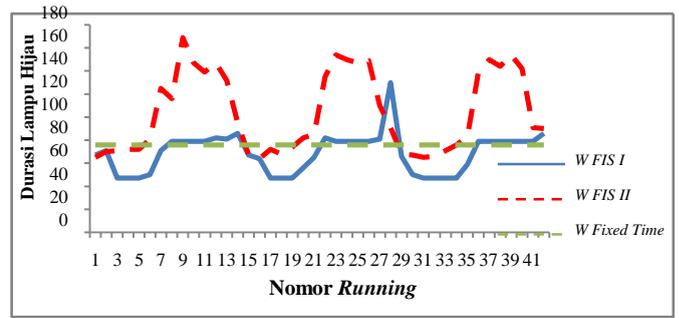
	FIS I	FIS II	<i>Fixed Time</i>
Rasio E	76,1905%	19,0476%	0%
Rasio F	23,8095%	80,9524%	100%

Dari informasi yang diberikan tabel 7 dan 8, diperoleh analisis bahwa metode yang memberikan tundaan rata-rata lebih kecil daripada yang lainnya adalah metode FIS I. Hal tersebut ditandai dengan besarnya rasio nilai yang termasuk kedalam kelas E. Tundaan rata-rata (*D*) yang dihasilkan oleh FIS II dan *Fixed Time* lebih banyak yang termasuk kedalam kelas F sehingga durasi tundaan rata-rata lebih lama.

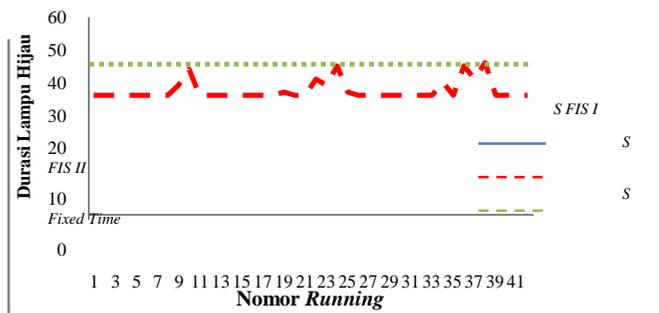
Efek penggunaan durasi lampu hijau yang kurang tepat menjadi pemicu timbulnya tundaan rata-rata yang semakin lama. FIS I memiliki mekanisme yang dapat menghasilkan durasi lampu hijau lebih tepat dibanding dua metode yang lain. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan strategi skema masing-masing.



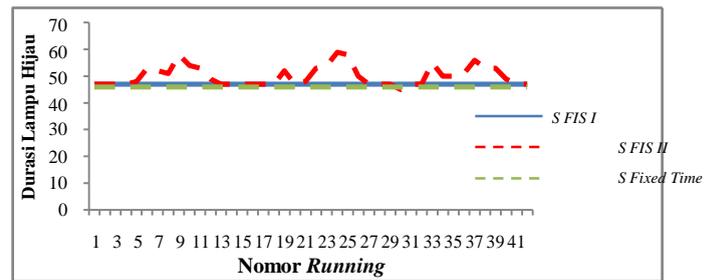
Gambar 7. Durasi lampu hijau pendekat barat pada data weekday



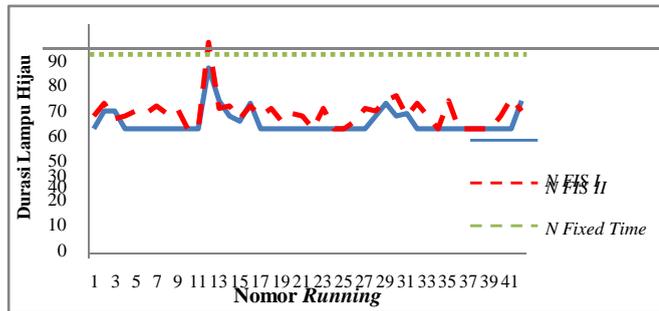
Gambar 11. Durasi lampu hijau pendekat barat pada data weekend



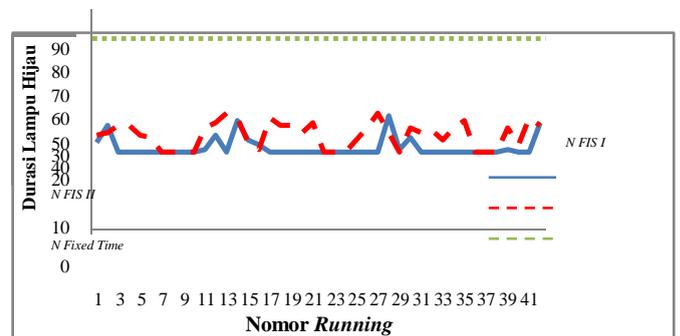
Gambar 8. Durasi lampu hijau pendekat selatan pada data weekday



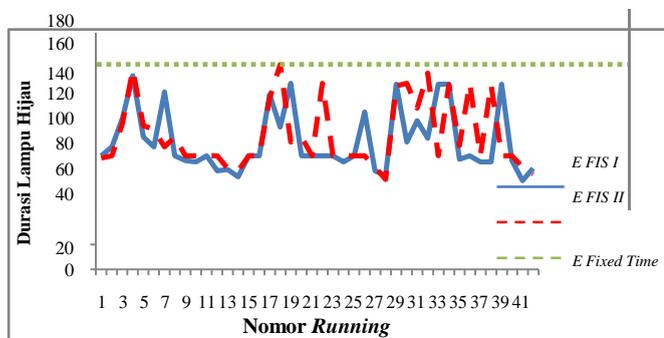
Gambar 12. Durasi lampu hijau pendekat selatan pada data weekend



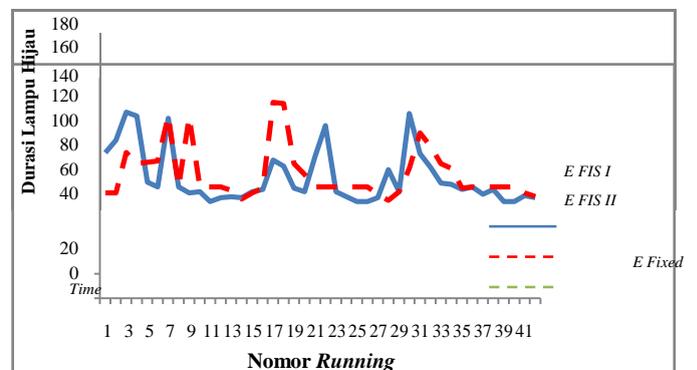
Gambar 9. Durasi lampu hijau pendekat utara pada data weekday



Gambar 13. Durasi lampu hijau pendekat utara pada data weekend



Gambar 10. Durasi lampu hijau pendekat timur pada data weekday



Gambar 14. Durasi lampu hijau pendekat timur pada data weekend

Berdasarkan gambar 7 s/d gambar 14, metode FIS I menghasilkan durasi satu siklus mayoritas lebih kecil dibanding dengan metode FIS II dan Fixed Time. Dengan adanya durasi satu siklus yang lebih kecil, disertai dengan pengaturan yang sesuai, akan menyebabkan tundaan yang

diperoleh juga dapat lebih kecil karena durasi lampu merah lebih cepat.

Berdasarkan gambar 7 s/d gambar 14, mekanisme *Fixed Time* tidak dinamis menyesuaikan dengan keadaan. Akibatnya, jika perubahan kendaraan menjadi lebih banyak atau lebih sedikit maka mekanisme *Fixed Time* tidak sensitif/adaptif menanggapi sehingga tundaan yang dihasilkan mekanisme *Fixed Time* berpotensi lebih lama dibanding tundaan yang dihasilkan metode FIS I maupun FIS II.

Durasi satu siklus adalah jumlah dari penggunaan lampu hijau dan kuning dalam satu putaran. Lampu merah yang diterima suatu pendekat merupakan akibat dari adanya lampu kuning dan hijau yang diberikan kepada tiga pendekat lain. Durasi lampu merah yang semakin lama berpengaruh kepada potensi semakin lamanya tundaan.

Tabel 9. Rata-rata durasi satu siklus dari setiap metode pengaturan

	Rata-Rata Durasi (detik)	Data
FIS I	276,238	Weekday
	271,4048	Weekend
FIS II	317,4286	Weekday
	316,9762	Weekend
Fixed Time	358	Weekday
	358	Weekend

Berdasarkan pengamatan terhadap tabel 9, dibanding metode FIS II dan *Fixed Time*, metode FIS I menghasilkan durasi satu siklus rata-rata lebih kecil. Dengan demikian, potensi lamanya tundaan akan lebih kecil sebab durasi lampu merah lebih cepat.

FIS I menghasilkan durasi satu siklus rata-rata lebih kecil karena FIS I dalam implementasinya menggunakan jumlah kendaraan pada tiga pendekat lainnya sebagai *input* kedua sehingga akan membentuk jumlah yang lebih padat dibanding *input* kedua yang dimiliki oleh FIS II yang dalam implementasinya berupa pendekat yang akan dieksekusi selanjutnya. Dengan demikian, setelah diaplikasikan kedalam aturan *Fuzzy*, metode FIS I rata-rata memiliki durasi lampu hijau yang lebih cepat daripada metode FIS II. Jika durasi lampu hijau lebih cepat maka durasi satu siklus akan menjadi lebih cepat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Model CA dapat diterapkan pada proses simulasi pergerakan kendaraan dan membantu proses analisis metode optimasi lampu lalu lintas, tepatnya sebagai model yang memunculkan nilai kecepatan dan tundaan rata-rata akibat dari pergerakan kendaraan. Metode *Fuzzy Inference*

System dapat digunakan untuk mengatur durasi lampu lalu lintas.

Strategi penentuan jenis nilai *input* dan aturan *Fuzzy* sangat mempengaruhi hasil optimasi penjadwalan lampu lalu lintas. Berbeda dengan FIS II yang hanya mempertimbangkan satu pendekat, FIS I dapat mempertimbangkan tiga pendekat lain dalam sistem sehingga keputusan pemberian durasi lampu hijau yang diperoleh merupakan atas dasar pertimbangan keseluruhan sistem.

Berdasarkan pertimbangan aspek perbandingan kecepatan rata-rata, perbandingan tundaan rata-rata, analisis standar tingkat pelayanan, analisis perbandingan durasi lampu hijau, dan analisis pembagian durasi dalam satu siklus, metode FIS I paling efisien dan dapat mengurangi tingkat kemacetan. Metode FIS I menghasilkan hingga 76,2 % tundaan rata-rata pada kelas E dan menghasilkan hingga 23,8 % tundaan rata-rata pada kelas F. Skema *Fixed Time* menghasilkan 0 % tundaan rata-rata pada kelas E dan 100 % tundaan rata-rata pada kelas F sehingga tundaan yang dihasilkan skema *Fixed Time* lebih lama daripada tundaan yang dihasilkan metode FIS I.

5.2 Saran

Sistem yang telah dibangun dapat dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan, yaitu sistem diharapkan dapat dikembangkan menjadi lebih *real time* dari segi pergerakan kendaraan beserta lingkungannya, diharapkan perbandingan komparatif antar berbagai metode pengaturan durasi lampu lalu lintas dapat diperluas dan tidak terbatas pada *Fuzzy Inference System* dan *Fixed Time*, berbagai *task* dapat diparalelkan menggunakan prinsip *parallel computing* agar pemrosesan dapat berlangsung lebih cepat, skema pengaturan yang dihasilkan sistem ini diharapkan dapat diimplementasi kedalam *hardware* mikrokontroler di lokasi studi kasus, dalam proses survei data lapangan dapat digunakan peralatan yang memudahkan pengamatan seperti *helicam* atau CCTV, dan apabila diperlukan, berbagai informasi/nilai variabel yang terdapat dalam sistem dapat diintegrasikan dengan suatu basis data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chopard. B, Droz. M. 1998. *Cellular Automata Modeling of Physical Systems*. United Kingdom : Cambridge University Press
- [2] Nagel. K, Schreckenberg. M. 1992. *A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic*. Journal de Physique, vol. 1, no. 12, pp 2221-2229
- [3] Tan Khiang. K, Khalid. M, Yusof. R . 1996. *Intelligent Traffic Control By Fuzzy Logic*.

- Malaysian Journal of Computer Science, vol. 9, no. 2, pp 29-35
- [4] Irawanto. B, Kurniawan. D. 2010. *Penerapan Sistem Inferensi Metode Min-Max dalam Logika Fuzzy untuk pengaturan Traffic Light*. Jurnal Sains & Matematika (JSM), vol. 18, no. 1, pp. 27-36
- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga Republik Indonesia. 1997. *Highway Capacity Manual Project (Manual Kapasitas Jalan Indonesia)*. Jakarta : Directorate General Bina Marga
- [6] Kusumadewi. S, Hartati. S. 2010. *Neuro-Fuzzy (Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf)*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [7] Suyanto. 2008. *Soft Computing (Membangun Mesin ber-IQ Tinggi)*. Bandung : Informatika
- [8] Suyanto. 2011. *Artificial Intelligence (Searching, Reasoning, Planning, dan Learning)*. Bandung : Informatika
- [9] W. Wahyu. R, Afriyanti L. 2009. *Aplikasi Fuzzy Inference System (FIS) Metode Tsukamoto pada Simulasi Traffic Light Menggunakan Java*. Yogyakarta : Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI 2009), pp 104-107
- [10] Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang No. 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta
- [11] The Transportation Research Board. 1998. *Highway Capacity Manual Third Edition*. Washington D.C : National Research Council
- [12] Wahle. J, Neubert. L, Esser. J, Schreckenber. M. 2001. *A Cellular Automaton Traffic Flow Model for Online Simulation of Traffic*. Elsevier : Journal of Parallel Computing 27, pp 719-735
- [13] C. S. Applegate, S. D. Laycock, A. M. Day. 2010. *Real Time Traffic Simulation Using Cellular Automata*. Norwich : EG UK Theory and Practice of Computer Graphics
- [14] Stephen. L. Chiu. 1994. *Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation*. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, vol. 2, pp 267-278
- [15] Sanchez. J, Galan. M, Rubio. E. 2004. *Genetic Algorithms and Cellular Automata for Traffic Light Cycles Optimization (Scalability Study)*. Spain : Centro de Innovacion para la Sociedad de la Informacion (C.I.C.E.I.)
- [16] Farooqi. A. H, Munir. A, Baig A. R. 2011. *The : Traffic Light Simulator and Optimization using Genetic Algorithms*. Islamabad, Pakistan : Departement of Computer Sciences National University of Computer and Emerging Science – IACSIT Press Singapore, vol. 2, pp. 290-294
- [17] Leena. S, Tripathi. S, Arora. H. 2009. *Time Optimization for Trafic Signal Control using Genetic Algorithm*. International Journal of Recent Trends in Engineering, vol. 2, no. 2, pp. 4-6
- [18] Butarbutar. Zenfrison. T, Rohidin. D, Baizal. Z. K. A. 2011. *Analisis dan Simulasi Pemodelan Cellular Automata (CA) dan Algoritma Optimasi Artificial Bee Colony (ABC) dalam Penjadwalan Lampu Lalu Lintas*. Bandung : Institut Teknologi Telkom
- [19] Tamin. Z. Ofyar. 2003. *Perencanaan Pemodelan Transportasi (Contoh Soal dan Aplikasi)*. Bandung : Institut Teknologi Bandung
- [20] Syalim. A, Nugroho. W. S. 2003. *Cellular Automata : Pemodelan dan Implementasi Paralel untuk Simulasi Arus Lalu Lintas di Jalan Raya*. Jakarta : Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia
- [21] S. Fuzi, Surbakti. M. S. 2009. *Optimasi Simpang Jl. Ngumban Surbakti – Tanjung Sari dan Alternatif Aplikasi Teori Fuzzy dalam Perhitungan Kinerja Persimpangan*. Medan : Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
- [22] Prabowo. P. W, Rahmadya T. H. 2009. *Penerapan Soft Computing dengan MATLAB*. Bandung : Rekayasa Sains
- [23] <http://hubdat.dephub.go.id/component/content/article/36-hubdat/461-satuan-mobil-penumpang-smp?directory=13>, diakses pada tanggal 27 Agustus 2014, pukul 14.00 WIB
- [24] http://k12008.widyagama.ac.id/rl/diktatpdf/Bab5_Lampu_Lalu_Lintas.pdf, diakses pada tanggal 27 Agustus 2014, pukul 22.22 WIB
- [25] earth.google.com. 2014. *Image© 2014 Digital Globe, "Jalan Soekarno-Hatta, Bandung, Jawa Barat"*, diakses pada tanggal 29 Agustus 2014
- [26] earth.google.com. 2014. *Image© 2014 Digital Globe, "Jalan Ibrahim Adjie, Bandung, Jawa Barat"*, diakses pada tanggal 29 Agustus 2014
- [27] <http://otomotif.kompas.com/read/2012/11/19/5428/20.Mobil.Terlaris.Indonesia.2012>, diakses pada tanggal 26 September 2013, pukul 13.01 WIB
- [28] <http://www.laksautobus.com>, diakses pada tanggal 26 September 2013, pukul 13.05 WIB
- [29] <http://trukindonesia.com>, diakses pada tanggal 15 September 2014, pukul 19.45 WIB
- [30] <http://mei.co.id/armada.php>, diakses pada tanggal 15 September 2014, pukul 20.15 WIB