

ANALISIS SISTEM LAMPU LALU LINTAS GABUNGAN
MENGUNAKAN KECERDASAN BUATAN

*ANALYSIS OF TRAFFIC LIGHT SYSTEM CENTRALIZED
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE*

Rizky Iskandar¹ Ir. Agus Virgono, M.T.² Casi Setianingsih, S.T., M.T.³

Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ rizkyiskandar@student.telkomuniversity.ac.id, ² avirgono@telkomuniversity.ac.id, ³ setiacasie@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Lalu lintas merupakan jantung transportasi bagi pengguna jalan, kondisi lalu lintas yang tidak baik menjadi masalah utama di Indonesia. Kemacetan lalu lintas disebabkan karena tidak seimbang antara jumlah kendaraan dan kapasitas jalan yang tersedia, menyebabkan waktu dan antrian kendaraan meningkat. Solusi pelebaran dan penambahan jalan membutuhkan waktu lama dan biaya tinggi. Dalam permasalahan ini penulis memilih solusi yaitu dengan mengimplementasikan algoritma Genetika yang diterapkan pada sistem lalu lintas gabungan. Dalam permasalahan ini penulis memilih solusi untuk merancang sistem lalu lintas gabungan bersifat adaptif yang mengimplementasikan algoritma Genetika pada sistem lampu lalu lintas yang dirancang. Sistem lalu lintas ini bersifat adaptif karena menghasilkan durasi lampu hijau sesuai dengan jumlah kendaraan yang ada dipersimpangan sehingga dapat mengatasi kemacetan dan meningkatkan kinerja lampu lalu lintas.

Kata Kunci : Kecerdasan Buatan, Algoritma Genetika, Sistem Lampu Lalu Lintas.

Abstract

Traffic is the heart of the transportation for road users, bad traffic condition can be the most problem in Indonesia. Traffic congestion caused by unbalanced between the number of the vehicle and the available road capacity, causing queue time and vehicle that being increased. The widening of the road and the addition of the road solutions take more time and high costs. In this case the author minimizing the solution to implement the genetic algorithm applied on the combined traffic system. The author choosing the solution for redesign combined traffic light system are adaptive to implement the genetic algorithm put into traffic light system. This traffic light is adaptive because it produces the green light according to the number of vehicle in the road, so it can be fix the traffic jam and increase the green light. That algoritm will be testing in R.A.A Marta Negara Bandung and Buah Batu compared with conventional traffic light. Based on the results of the study, Genetic Algorithm who was designed at the intersection of R.A.A Marta Negara Bandung could adding the total vehicles in the intersection as much as 65 vehicles/hour in one period and Buah Batu is -25 vehicles/hour.

Key Words : Artificial Intelligence, Genetic Algorithms, Traffic Light System.

1. Pendahuluan

Lampu lalu lintas adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan jalan, lampu ini yang menandakan kapan kendaraan harus berjalan dan berhenti secara bergantian dari berbagai arah. Perhitungan lampu lalu lintas konvensional tidak memberikan jeda waktu lampu hijau yang benar dimana, jalur yang padat mendapatkan lampu hijau yang sebentar dan jalur yang sepi mendapatkan lampu hijau yang lama. Jika di tinjau lagi, penggunaan lampu lalu lintas konvensional ini menjadi kurang efektif karena pengguna jalan tersebut harus saling menunggu lampu hijau, terlebih dengan kepadatan pengendara yang menumpahi jalur serta terbuangnya waktu sia-sia untuk sampai pada tujuan. Oleh karena itu dilakukan penerapan teknologi transportasi cerdas menggunakan pengembangan algoritma sistem lalu lintas pintar gabungan dengan metode Algoritma Genetika dimana algoritma tersebut mengurangi dan mengatur kemacetan. Algoritma tersebut diterapkan pada dua perempatan yaitu perempatan R.A.A Marta Negara dan perempatan Buah Batu, Bandung.

2. Dasar Teori

2.1 Algoritma Genetika

Terdapat beberapa penjelasan mengenai Algoritma Genetika, yaitu proses pemilihan individu dari suatu populasi ditentukan tingkat *fitness* yang ditetapkan oleh fungsi objektif untuk masalah yang dioptimasi. Individu atau yang disebut juga kromosom dengan nilai *fitness* tinggi akan bertahan hidup (terpilih) dan menjadi induk atau

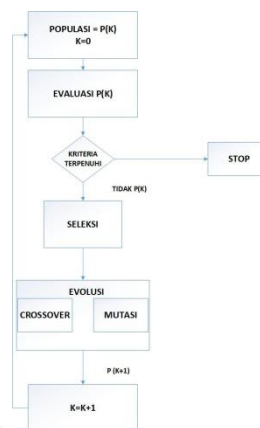
parent untuk memperoleh keturunan atau generasi berikutnya. Kromosom tersebut sekaligus menjadi kandidat solusi pada setiap siklus iteratif. Kromosom berevolusi setelah diiterasi dengan batas tertentu. Setiap iterasi menimbulkan kromosom baru yang disebut generasi dan selama iterasi ini kromosom dievaluasi berdasarkan fungsi fitness yang berupa ukuran kemampuan bertahan hidup untuk generasi berikutnya. Kromosom sebelum evaluasi disebut *parent* sedangkan setelah evaluasi disebut *offspring*. Pembentukan kromosom baru atau *offspring* biasanya digunakan metode persilangan dan mutasi persilangan (crossover) adalah perpaduan (merging) antara dua kromosom *parent*, sedang mutasi adalah modifikasi kromosom pada *string* atau gen tertentu. Pembentukan generasi baru dengan melakukan seleksi berdasarkan nilai *fitness parent* dan *offspring* yang terbentuk. Kromosom yang lebih *fit* akan mempunyai probabilitas yang lebih tinggi untuk dapat terpilih. Setelah beberapa generasi, algoritma akan menuju (Konvergen) pada kromosom dengan kualitas terbaik, yang mewakili solusi optimal pada permasalahan yang diharapkan. Adapun algoritmanya adalah sebagai berikut[3]:

1. Misalkan populasi awal adalah $P(k)$ dengan $k = 0$.
2. Seleksi $P(k)$.
3. Jika $P(k)$ telah memenuhi kriteria maka proses berhenti.
4. Pilih parent (k) dari populasi $P(k)$.
5. Lakukan operasi genetik pada $M(k)$ untuk mendapatkan populasi $P(k+1)$.
6. $P(k) = P(k+1)$. Kembali ke nomer 1

Pada Algoritma Genetik proses diatas akan berhenti bila telah memenuhi salah satu dari dua syarat berikut, yaitu:

1. Telah memenuhi nilai yang diinginkan.
2. Telah memenuhi jumlah iterasi yang diinginkan.

Adapun dalam penelitian ini proses pada algoritma genetik akan berhenti bila telah memenuhi jumlah iterasi yang diinginkan. Untuk lebih jelasnya operasi algoritma diatas dapat disajikan dengan *flowchart* seperti berikut ini:



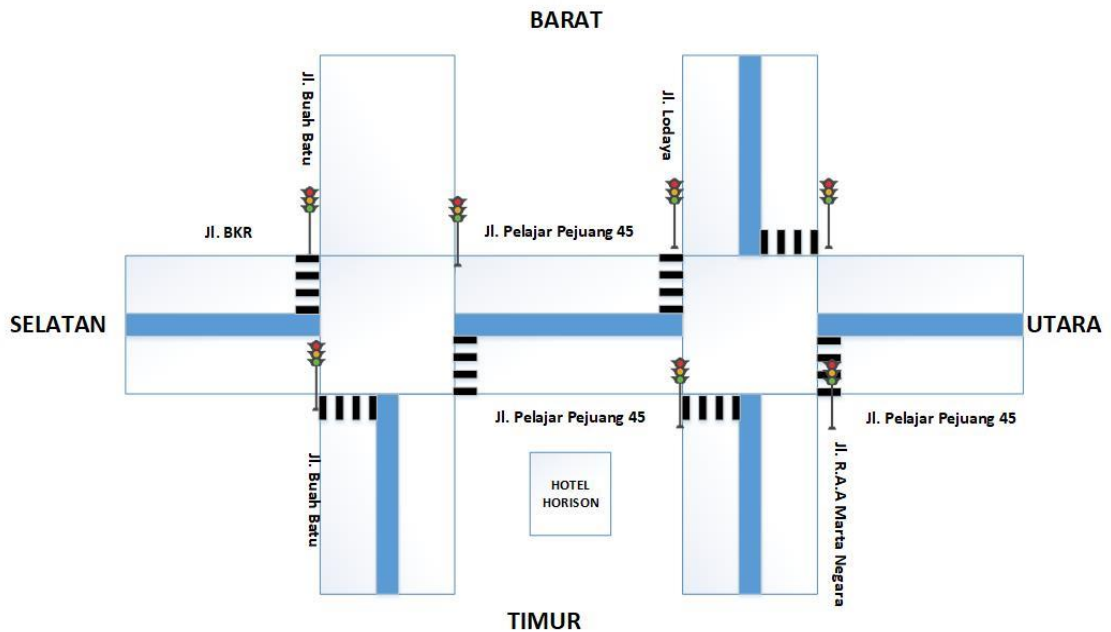
Gambar 2.1 *Flowchart* Algoritma Genetika.

3. Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem penulis berfokus pada satu perempatan yaitu, perempatan Buah Batu. Berikut adalah kondisi perempatan yang tertera pada gambar diatas. Perempatan Buah Batu memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Terdiri dari 4 ruas jalan, yaitu ruas di arah Utara, Selatan, Barat dan Timur. Setiap ruas jalan terlawan memiliki fase.
2. Fase Utara adalah jalan Pelajar Pejuang 45 arah hotel Horizon yang memiliki jalan terlawan menuju ke jalan BKR, belok kiri langsung menuju jalan Buah Batu arah Institut Seni Budaya Indonesia dan belok kanan menuju jalan Buah Batu arah Universitas Langlangbuana.
3. Fase Selatan adalah jalan BKR yang memiliki jalan terlawan menuju jalan Pelajar Pejuang 45 arah hotel Horizon dan belok kiri menuju jalan Buah Batu arah Universitas Langlangbuana.

Fase Timur adalah jalan Buah Batu arah Institut Seni Budaya Indonesia yang memiliki jalan terlawan menuju jalan Buah Batu arah Universitas Langlangbuana, belok kiri menuju jalan BKR dan belok kanan menuju jalan Pelajar Pejuang 45 arah hotel Horizon.



Gambar 3.1 Deskripsi umum sistem.

3.1 Karakteristik Perempatan R.A.A Marta Negara dan Buah Batu

3.1.1 Durasi lampu lalu lintas

Berikut adalah hasil dari observasi langsung pada lapangan mengenai durasi lampu lalu lintas yang ada pada perempatan Buah Batu, sebagai berikut :

Tabel 3.1 Durasi lampu lalu lintas Utara – Selatan dan Timur.

No	Buah Batu					
	Utara - Selatan			Timur		
	M	H	K	M	H	K
1	28.35	18.03	3.93	28.06	18.35	3.73
2	28.33	18.11	3.52	28.06	19.30	3.81
3	28.18	17.88	3.44	28.04	18.65	3.71
4	28.60	18.35	3.83	28.71	18.71	3.69
5	28.34	18.39	3.63	28.16	18.54	3.74
6	28.33	18.18	3.78	28.00	18.21	3.88
7	28.32	18.18	3.67	28.14	18.57	3.75
8	28.96	18.21	3.80	28.12	18.10	3.71
9	28.62	18.06	4.26	27.92	18.24	3.68
10	28.08	18.06	3.93	27.90	17.98	3.54
Rata-rata x	28.41	18.14	3.77	28.11	18.46	3.72
Pembulatan n	28 detik	18 detik	4 detik	28 detik	18 detik	4 detik
Satuan menit	0.46 menit	0.3 menit	0.06 menit	0.47 menit	0.3 menit	0.06 menit

Keterangan :

M = durasi lampu merah H = durasi lampu hijau

K = durasi lampu kuning

Rata-rata x = rata-rata durasi lampu lalu lintas

Pembulatan n= pembulatan durasi lampu lalu lintas

3.1.2 Kepadatan lalu lintas

Kepadatan ruas jalan atau *Traffic counting* pada arah Selatan dan Timur didapatkan dari data ATCS Dinas Perhubungan Kota Bandung sedangkan arah Barat dan Utara diperoleh dari hasil observasi dengan menghitung secara manual kendaraan yang mengantri saat lampu merah per satuan jam. Perhitungan kepadatan lalu lintas dilakukan secara bergantian dengan teman Tugas Akhir peneliti dalam satu kelompok dan teman kampus peneliti.

Tabel 3.2 Kepadatan lalu lintas perempatan Buah Batu.

No	Tanggal dan Waktu	Utara	Selatan	Timur
		Jumlah kendaraan (SSM/jam)	Jumlah kendaraan (SSM/jam)	Jumlah kendaraan (SSM/jam)
1	07-12-2017 05:00	80	50	56
2	07-12-2017 06:00	274	213	274
3	07-12-2017 07:00	279	333	114
4	07-12-2017 08:00	287	234	224
5	07-12-2017 09:00	280	156	89
6	07-12-2017 10:00	226	70	157
7	07-12-2017 11:00	264	145	89
8	07-12-2017 12:00	219	50	45
9	07-12-2017 13:00	220	134	78
10	07-12-2017 14:00	262	13	214
11	07-12-2017 15:00	320	9	15
12	07-12-2017 16:00	236	35	23
13	07-12-2017 17:00	74	34	45
14	07-12-2017 18:00	79	15	13
15	07-12-2017 20:00	16	8	22

Pada tabel 3.2 perhitungan kepadatan lalu lintas pada perempatan Buah Batu diperoleh berdasarkan hasil observasi. Nilai tersebut didapatkan dari perhitungan secara manual pada setiap kendaraan yang mengantri di ruas jalan. Kendaraan yang dihitung adalah mobil dan sepeda motor. Ekuivalensi kendaraan berdasarkan Satuan Sepeda Motor (SSM). Contoh : 1 SSM = 1, Sepeda Motor dan 2 SSM = 1 Mobil.

Perempatan Buah Batu

Timur : 56 SSM/jam = 0.9 SSM/menit.

Selatan : 50 SSM/jam = 0.8 SSM/menit.

Utara : 80 SSM/jam = 1.3 SSM/menit.

Jumlah kendaraan pada pukul 05:00 adalah jumlah kendaraan yang digunakan oleh peneliti untuk pengujian.

3.1.3 Panjang dan lebar ruas jalan

Dalam mengimplementasikan karakteristik lampu lalu lintas konvensional (*real*) ke Algoritma Genetika maka diperlukan batasan panjang dan lebar jalan, yaitu sebagai berikut :

- Utara adalah Jalan Pelajar Pejuang 45 arah hotel Horison yang memiliki lebar 9 meter dan panjang 35 meter.
- Selatan adalah Jalan BKR yang memiliki lebar pada ruas satu 8 meter dan panjang 35 meter.
- Timur adalah Jalan Buah Batu arah Institut Seni Budaya Indonesia yang memiliki lebar pada ruas satu 6 meter dan panjang 35 meter.

4. Pengujian

Pada bab ini akan menjelaskan hasil pengujian dan analisa yang telah dirancang. Berikut beberapa bagian yang akan diuji, yaitu :

4.1 Pengujian *Traffic Light* Berdasarkan Lama Hidup Lampu Merah

Contoh Perhitungan:

Jalan E berhenti selama 0.47 menit dengan urutan fase: G, F

$$\text{Jalan G} = \left(\frac{0.8}{0.8+0.9} \right) * 0.47 = \left(\frac{0.8}{1.7} \right) * 0.47 = 0.22 \text{ menit.}$$

Rumus ini berlaku pada C dan D pada periode I hingga periode IV.

Tabel 4.1 Perhitungan durasi lampu hijau pada ruas jalan terlawan perempatan Buah Batu.

Periode	Perhitungan durasi lampu hijau pada ruas jalan terlawan perempatan Buah Batu						
	K1	K2	Delay lampu merah	Total Kepadatan	T1	T2	Total Durasi
I (Jalan E)	Jalan G 0.8 SSM/menit	Jalan F 0.9 SSM/menit	0.47 menit	1.7 SSM/menit	0.22 menit	0.25 menit	0.47 menit
II (Jalan F)	Jalan G 0.9 SSM/menit	Jalan E 1.3 SSM/menit	0.46 menit	2.1 SSM/menit	0.18 menit	0.28 menit	0.46 menit
III (Jalan G)	Jalan F 0.9 SSM/menit	Jalan E 1.3 SSM/menit	0.47 menit	2.2 SSM/menit	0.19 menit	0.28 menit	0.47 menit
Durasi lampu hijau satu kali periode atau putaran (periode I, II dan III)							1.4 Menit

Berdasarkan tabel 4.1 periode I, II dan III (Jalan E, F dan G) memiliki nilai total durasi lampu hijau yang hampir sama karena jika dilihat dari jumlah kepadatan yang tidak seimbang, jalan E memiliki kepadatan 1.3 SSM/menit sedangkan jalan F dan G antara 0.8-0.9 SSM/menit dan total durasi lampu merah yang hampir sama menyebabkan perhitungan durasi lampu hijau yang mempengaruhi nilai durasi lampu hijau tidak akan berebeda jauh. Kepadatan ruas jalan terlawan yang bernilai tinggi (1.3 SSM/menit) berada pada periode II dan III, menyebabkan total durasi lampu hijau yang besar. Dapat di tarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai kepadatan ruas jalan maka semakin besar pula durasi lampu hijau dan semakin kecil nilai kepadatan maka semakin kecil pula durasi lampu hijau.

4.2 Pengujian perbandingan jumlah kendaraan yang dapat melewati persimpangan Buah Batu

a. Lampu Lalu Lintas Konvensional.

Lama lampu merah disetiap ruas jalan pada persimpangan Buah Batu adalah 0.46 menit dan durasi lampu hijau adalah 0.30 menit.

Lama Lampu Merah : $(0.47 + 0.46 + 0.47)/3 = 0.46$ menit.

Lama Lampu Hijau Hidup : $(0.3 + 0.3 + 0.3)/3 = 0.3$ menit.

Fase G = 0.30 menit * 0.8 SSM/menit = 0.24 kendaraan.

Fase G = 0.30 menit * 50 SSM/Jam = 15 kendaraan.

Rumus ini berlaku seterusnya hingga F dan menggunakan durasi lampu hijau yang sama pada setiap periodenya. Total kendaraan yang lewat jika menggunakan sistem lampu lalu lintas konvensional adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Sistem lampu lalu lintas konvensional Buah Batu.

Jumlah Kendaraan yang melewati perempatan Buah Batu menggunakan metode Konvensional						
Keterangan	Periode I		Periode II		Periode III	
	Jalan G	Jalan F	Jalan G	Jalan E	Jalan F	Jalan E
T Lampu Merah	0.46 menit		0.46 menit		0.46 menit	
Fase Terlawan	Jalan G	Jalan F	Jalan G	Jalan E	Jalan F	Jalan E
Nilai K/menit	0.24	0.27	0.24	0.39	0.27	0.39
Nilai KJam	15	17	15	24	17	24
Kendaraan/menit	0.51		0.63		0.66	
Kendaraan/Jam	32		39		41	
K Total/menit	1.8 Kendaraan					

K Total/Jam	112 Kendaraan
-------------	---------------

Keterangan:

T Lampu Merah = Durasi Lampu Merah.
 Nilai K = Kendaraan yang dapat melintas, diperoleh dari rumus ruas jalan terlawan.
 K Total = Total kendaraan lewat.

Total kendaraan yang lewat pada perempatan Buah Batu, yaitu 112 kendaraan.

b. Lampu Lalu Lintas Metode Genetik.

Lama lampu merah disetiap ruas jalan pada persimpangan Buah Batu pada Periode I adalah 0.46 menit dan durasi lampu hijau adalah 0.24 menit.

Lama lampu merah : data dari lampu lalu lintas konvensional.

Lama lampu hijau hidup : data dari hasil pengujian *traffic light* berdasarkan lama lampu merah.

Fase G = $0.22 * 0.8 \text{ SSM/menit} = 0.18 \text{ kendaraan}$

Fase G = $0.22 * 50 \text{ SSM/Jam} = 11 \text{ kendaraan}$

Rumus ini berlaku seterusnya hingga F dan menggunakan durasi lampu hijau yang berbeda pada setiap periodenya.

Tabel 4.3 Sistem lampu lalu lintas dengan metode genetika Buah Batu.

Keterangan	Periode I		Periode II		Periode III	
	Jalan E		Jalan F		Jalan G	
T Lampu Merah	0.47 menit		0.46 menit		0.47 menit	
Fase Terlawan	Jalan G	Jalan F	Jalan G	Jalan E	Jalan F	Jalan E
Nilai K/menit	0.18	0.21	0.13	0.36	0.18	0.36
Nilai K/Jam	11	13	8	22	11	22
Kendaraan/menit	0.39		0.49		0.54	
Kendaraan/Jam	24		30		33	
K Total/menit	1.42 Kendaraan					
K Total/Jam	87 Kendaraan					

Keterangan:

T Lampu Merah = Durasi Lampu Merah.
 Nilai K = Kendaraan yang dapat melintas, diperoleh dari rumus ruas jalan terlawan.
 K Total = Total kendaraan lewat.

Total kendaraan yang lewat pada perempatan Buah Batu, yaitu 87 kendaraan.

c. Perbandingan jumlah kendaraan

Tabel 4.8 merupakan tabel hasil perbandingan jumlah kendaraan yang melewati perempatan Buah Batu Negara berikut adalah hasil dari perbandingan, yaitu :

Tabel 4.4 Hasil perbandingan jumlah kendaraan perempatan Buah Batu.

Periode	Selisih Jumlah Kendaraan perempatan Buah Batu		
	Konvensional	Algoritma Genetika	Selisih
I	32	24	-8
II	39	30	-9
III	41	33	-8
Total n	112	87	-25

Keterangan :

Total n = Total kendaraan yang lewat pada perempatan lampu lalu lintas dengan perbandingan lampu lalu lintas konvensional dan Algoritma Genetika pada perempatan Buah Batu, yaitu $87 - 12 = -25$ kendaraan.

4.3 Pengujian Perbandingan Total Waktu Tunggu

Adapun total waktu tunggu kendaraan saat lampu merah dengan keadaan *traffic light* saat ini adalah sama di setiap periodenya yaitu :

Perempatan Buah Batu
 $(0.3*2)+(0.3*1) = 0.9$ menit.

Bila menggunakan metode yang baru maka waktu tunggu di setiap periodenya pada perempatan Buah Batu akan memiliki nilai berbeda seperti berikut :

Tabel 4.5 Total waktu tunggu menggunakan Algoritma Genetika.

Periode	Total Waktu Tunggu Buah Batu		
	Durasi Fase 1	Durasi Fase 2	Total
I	$0.22*2$	$0.24*1$	0.68 menit
II	$0.17*2$	$0.28*1$	0.62 menit
III	$0.19*2$	$0.27*1$	0.65 menit

Tabel 4.6 Selisih waktu tunggu sistem lampu lalu lintas konvensional dan Algoritma Genetika.

Periode	Selisih Waktu Tunggu Buah Batu		
	Konvensional	Algoritma Genetika	Total
I	0.3	0.68 menit	-0.38 menit
II	0.3	0.62 menit	-0.32 menit
III	0.3	0.65 menit	-0.35 menit
Total Selisih Waktu Tunggu			-1.05 menit

5. Kesimpulan dan Saran

Penutup berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian sistem dan pengambilan data dari ATCS Dishub Bandung serta observasi selama pengerjaan Tugas Akhir berlangsung. Penutup juga berisi saran yang ditujukan sebagai pengembangan lebih lanjut dari Tugas Akhir ini. Pada Tugas Akhir ini, peneliti telah merancang sistem lampu lalu lintas gabungan menggunakan Algoritma Genetika. Hasil pengujian dan analisa dari jumlah kendaraan pada *traffic light* berdasarkan metode yang digunakan dapat memperbesar jumlah kendaraan yang lewat persimpangan R.A.A Marta Negara sebesar $575 - 510 = 65$ kendaraan/jam dan dapat mengurangi total waktu tunggu antrian kendaraan saat lampu merah sebesar 3.83 menit dalam satu periodenya. Secara keseluruhan Algoritma Genetika tetap lebih unggul dibandingkan kinerja sistem lampu lalu lintas konvensional karena dapat memberikan kesempatan jumlah kendaraan yang melewati persimpangan lebih banyak dan lama lampu merah lebih kecil. Sedangkan pengujian pada perempatan buah batu didapatkan hasil $87 - 112 = -25$ kendaraan/jam dalam satu periodenya dan menambahkan total waktu tunggu antrian kendaraan saat lampu merah sebesar 1.05 menit dalam satu periodenya selisih nilai ini sangat jauh dikarenakan nilai durasi lampu lalu lintas menggunakan Algoritma Genetika bernilai rendah di bandingkan dengan nilai lampu lalu lintas konvensional. Dari hasil Analisa di atas maka dapat disimpulkan bahwa jika keadaan *traffic light* yang ada saat ini jika diubah menurut metode yang peneliti buat tidak akan selalu memperbesar jumlah kendaraan yang melewati persimpangan karena durasi lampu hijau bernilai rendah dan sama pada setiap ruas jalan (E, F, G) dan kepadatan tiap ruas jalan terlalu besar. Penulis mengharapkan pengembangan selanjutnya menggunakan Algoritma Genetika diterapkan 24 jam selama selang waktu yang panjang 6 bulan agar mendapatkan data yang lebih mendekati pada kondisi sebenarnya.

Daftar Pustaka

- [1] Rudericus Andika Pramudya, Mahmud Imrona dan Fhira Nhita Indonesia, "Perancangan Pengaturan Durasi Lampu Lalu Lintas Adaptif," *Indonesia Symposium On Computing 2015*, pp. 175-180, 2015.
- [2] Mahmud Dwi Sulistiyo, "Analisis dan Implementasi Sistem Fuzzy dan Evolutionary Programming pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas Cerdas," *Jurnal Internal Fakultas Informatika Institut Teknologi Bandung*, 2010.
- [3] Santoso, Kiswara Agung, "Simulasi Traffic Light Menggunakan Algoritma Genetika," *Jurnal Internal Fakultas Ilmu Komputer Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*, 2007.
- [4] Teddy Rismawan dan Sri Kusumadewi, "Aplikasi Algoritma Genetika untuk Penentuan Komposisi Bahan Pangan Harian," *Jurnal Internal Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia*, 2007.
- [5] Ghazal, Bilal, Khaled ElKhatib, Khaled Chahine dan Mohammad Kherfan, "Smart Traffic Light Control System," *Jurnal IEEE ISBN : 978-1-4673-6942-8/16.*, 2016.
- [6] Freddy Kurniawan dan Rahmat Adiprasetya Al Hasibi, "Konsep Pengaturan Lalu Lintas Sinkron Adaptif Kepadatan Untuk Solusi Minimalisasi Durasi Waktu Tunggu Kendaraan," *Jurnal Ilmiah Semesta Terbuka*, vol. 10, pp. 126-135, 2007.
- [7] Tjatur Kandaga dan Elvina Tjahjad, "Aplikasi Simulasi Hubungan Antrian yang Terjadi dan Penentuan Waktu Hidup Lampu Lalu Lintas Pada Persimpangan Jalan," *Jurnal Internal Fakultas Teknologi Informasi Universitas Kristen Maranatha*, 2011.
- [8] Ofyar Z Tamin, "Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan LaluLintas di Ruas Jalan H.R. Rasuna Said (Jakarta)," *Jurnal Teknik Sipil*, no. 5, pp. 1-11, 2007.
- [9] Wayan Juniarta, I. N. Widana Negara dan A.A.N.A Jaya Wikrama, "Penentuan Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang Pada Ruas Jalan Perkotaan," *Jurnal Imial Elektronk Infrastruktuk Teknik Sipil* .
- [10] Hafdiansyah, Tri Basuki Yuwono dan Hikmat, "Pengaruh Proporsi Sepeda Motor Terhadap Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang Pada Ruas Jalan Luar Kota," *Jurnal Internal Universitas Katholik Parahyangan* , 2016.
- [11] Suyanto, *Artificial Intelligence Searching, Reasoning, Planning dan Learning*, Bandung: Informatika, 2007.
- [12] S. Kusumadewi, *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003.
- [13] Suyanto, *Evolutionary Computation: Komputasi Berbasis Evolusi dan Gentika*, Bandung: Informatika, 2008.
- [14] S. B. d. P. B. Karya, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Direktorat Jendral Bina Marga, 1997.
- [15] Y. Arfian, Interviewee, *Sistem Lampu Lalu Lintas di ATCS (Area Traffic Control System) Dishub Bandung*. [Interview]. 27 November 2017.