

OPTIMASI SISTEM KENDALI LAMPU LALU LINTAS CERDAS MENGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY

OPTIMIZATION OF INTELLIGENT TRAFFIC LIGHT CONTROL SYSTEM USING FUZZY LOGIC METHOD

Akhmad Hafiezh Pramana¹, Ir Agus Virgono., M.T.² Randy Erfa Saputra, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹akhmadhafiezhpramana@student.telkomuniversity.ac.id, ²agusvirgono@telkomuniversity.ac.id,

³randyverfasaputra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem Traffic Light merupakan salah satu komponen penting dalam manajemen transportasi. Traffic Light berfungsi mengatur jumlah volume kendaraan di tiap persimpangan jalan sehingga memaksimalkan penggunaan jalan raya yang tujuannya meminimalkan kemacetan. Sistem kendali lalu lintas saat ini masih bersifat fix-time serta tidak bisa beradaptasi dan berinteraksi dengan lingkungannya serta Waktu nyala lampu lalu lintas umumnya dikendalikan berdasarkan jumlah kendaraan yang terdapat di salah satu persimpangan jalan, pengendalian waktu ini ada yang bersifat konvensional, yakni waktu lampu nyala tetap pada kondisi padat maupun sepi

Pada tugas akhir digunakan metode logika fuzzy. Adapun dalam pengujiannya dilakukan secara langsung ke tempat penelitian atau persimpangan lampu lalu lintas yang mana akan dilakukan perhitungan jumlah kendaraan yang bisa lewat atau lolos disetiap lampu merahnya. data yang didapatkan dari perhitungan tersebut nantinya akan menjadi input untuk sistem penghitungan lama waktu lampu lalu lintas menggunakan algoritma fuzzy logic, dengan mengklasifikasikan kepadatan di suatu jalur.

Kata Kunci : Logika Fuzzy, Lampu Lalu Lintas Cerdas

Abstract

The Traffic Light system is one of the important components in transportation management. Traffic Light serves to regulate the volume of vehicles at each intersection so as to maximize the use of highways whose goal is to minimize traffic congestion. Current traffic control system is still fixed-time and can not adapt and interact with its environment and time of traffic lights are generally controlled based on the number of vehicles contained in one of the intersection of the road, the control of this time there is a conventional, that is when the lights on remain in solid or free condition

In the final project used fuzzy logic method. As for the test is done directly to the place of research or traffic light intersections which will be calculated the number of vehicles that can pass or pass in every red light. data obtained from the calculation will be the input for the system of counting the time of traffic light using algorithm fuzzy logic, by classifying the density in a path.

Keywords: Fuzzy Logic, Traffic Light

1. Pendahuluan

Permasalahan pada lampu lalu lintas yang konvensional saat ini adalah sistem kendali lalu lintas saat ini tidak bisa beradaptasi dan berinteraksi dengan lingkungannya dan diimplementasikan secara pra-time atau ditetapkan secara tetap oleh sistem[4]. Penggunaan waktu secara tetap tersebut bisa menyebabkan masalah seperti kemacetan[7] karena antara jalur yang sepi dengan jalur yang ramai diberikan waktu yang sama. Sedangkan jumlah kendaraan semakin hari semakin meningkat. Di Indonesia sendiri perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis semakin meningkat. Sebagai contoh pada tahun 2015, jumlah mobil penumpang sebanyak 11,1 %, mobil bis sebanyak 1,99 %, mobil barang sebanyak 5,4 % dan sepeda motor sebanyak 81,5 % [Badan Pusat Statistik,2015].

Sistem pengendalian waktu nyala lampu lalu lintas saat ini sebagian besar masih menggunakan pengendalian waktu yang terpasang pada sistemnya tanpa menggunakan sistem tambahan yang lain. Waktu pertukaran dan penyalaan lampu lalu lintas sebelumnya diatur dengan menggunakan perkiraan kendaraan yang lewat kemudian akan aktif dengan waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Hal tersebut membuat operator tidak bisa merubah pertukaran atau pewaktuan nyala lampu lalu lintas pada tiap arah untuk setiap saat[2].

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan suatu sistem Smart Traffic Light Control System. Sistem ini menggunakan metode Connected Component Labelling dan logika fuzzy. Dengan penerapan sistem ini nantinya

diharapkan lampu lalu lintas bisa berinteraksi dengan lingkungan serta bisa mendeteksi jumlah kendaraan disetiap jalurnya dibandingkan dengan kinerja sistem lalu lintas konvensional. Kemudian membandingkan jumlah kendaraan untuk mendapatkan hasil yang optimal untuk menentukan pergantian waktu lampu lalu lintas yang lebih efektif sesuai dengan jumlah kendaraan di setiap jalurnya[1].

2. Dasar Teori

2.1. Lampu Lalu Lintas

Lampu lalu lintas merupakan lampu yang mengendalikan arus lalu lintas, yang terpasang di persimpangan atau perempatan jalan lalu lintas[1]. Menurut statistik kecelakaan lalu lintas di Jepang, mengabaikan lampu lalu lintas adalah tempat ketiga penyebab kecelakaan lalu lintas di tahun 2007[10]. Pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan jalan bertujuan untuk mengatur pergerakan kendaraan agar dapat bergerak secara bergantian dan teratur sehingga tidak saling mengganggu antar arus yang ada[2]. Lampu lalu lintas ini menggunakan warna yang diakui secara universal, warna merah adalah untuk berhenti, warna kuning menandakan hati-hati, dan warna hijau yang berarti dapat berjalan. Lampu lalu lintas suatu sistem yang sangat penting dan berperan dalam keselamatan pengendara di jalan perkotaan[5].

Dengan adanya lampu lalu lintas yang bersifat pengaturan prawaktu, panjang siklus dan timing tidak dapat mencerminkan perubahan dalam volume kendaraan dan pola lalu lintas. Metode kontrol fixed-time menggunakan rangkaian fase preset dan timing untuk mengendalikan sinyal lalu lintas. Namun, metode kontrol fixed-time membuat asumsi bahwa kondisi lalu lintas stabil. Asumsi tersebut mungkin tidak berlaku mengingat bahwa dalam praktis laju alir arus lalu lintas sering berubah tergantung pada waktu dan musim dalam setahun[8]. Masalah kontrol lalu lintas cerdas telah dipelajari di bidang ITS selama bertahun-tahun. Ada banyak metode konvensional untuk pengendalian sinyal lalu lintas namun kebanyakan dari mereka terkadang gagal menangani secara efisien kondisi lalu lintas yang kompleks dan bervariasi waktu dan pengendali tidak dapat memenuhi karakter waktu nyata untuk sinyal lalu lintas[6]. Misalnya pada saat periode puncak lalu lintas, waktu yang diberikan antara jalur yang ramai dan jalur yang sepi diberikan waktu tunggu yang sama, sehingga cara ini tidak terlalu efektif.

2.2. Logika Fuzzy

Logika fuzzy diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Prof Lutfi A. Zadeh seorang peneliti di Universitas California di Berkeley dalam bidang ilmu komputer. Kinerja pengendali logika fuzzy dievaluasi dengan membandingkannya dengan salah satu metode yang ada. Dalam penelitian sebelumnya memilih metode kontrol pra-timed agar nilai rata-rata penundaan dan lamanya antrian digunakan sebagai kriteria untuk membuat perbandingan antara logika fuzzy dan pengendali pra-waktu[4]. Logika fuzzy merupakan logika bernilai banyak atau multivalued logic yang mampu mendefinisikan nilai antara keadaan yang konvensional seperti benar atau salah, ya atau tidak, putih atau hitam dan lain-lain[3]. Kontroler fuzzy memiliki kemampuan untuk mengambil keputusan meski dengan informasi yang tidak lengkap. Kontroler logika fuzzy yang lebih canggih dan lebih canggih dikembangkan untuk pengendalian lalu lintas. Algoritma ini terus meningkatkan keamanan dan efisiensi dengan mengurangi penundaan penundaan kendaraan pada sinyal[6]. Ada banyak metode untuk mendeteksi kendaraan di jalan seperti deteksi gerakan, memasang laser di kedua sisi jalan[8]. Adapun dalam pengambilan keputusan, logika fuzzy mempunyai kelebihan. Diantaranya :

a. Logika fuzzy memiliki konsep yang sederhana

Logika fuzzy bersifat lebih kompleks karena logika fuzzy bersifat mudah dimengerti dan sangat cocok untuk pemrosesan secara non-linear[6][8].

b. Logika fuzzy sangat fleksibel

Logika fuzzy adalah ide yang berbeda untuk mengembangkan model proses fisik. Model fuzzy kurang kompleks secara eksternal, mereka dapat dipahami dengan mudah dan sangat cocok untuk proses non linier. Model dengan aturan lebih sedikit lebih menguntungkan. Kontroler fuzzy memiliki kemampuan untuk mengambil keputusan meski dengan informasi yang tidak lengkap[6].

c. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat

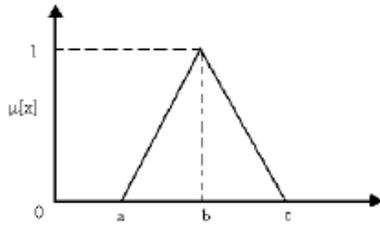
Logika fuzzy memungkinkan data linguistik dan tidak tepat untuk dimanipulasi sebagai alat yang berguna dalam merancang timing sinyal. Juga strategi pengendalian linguistik yang diputuskan oleh pernyataan "if-then else" dapat dikonversi ke algoritma kontrol dengan menggunakan logika fuzzy[6].

d. Logika fuzzy dapat diimplementasikan dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.

2.2.1. Fuzzifikasi

Fungsi keanggotaan adalah fungsi yang memetakan elemen suatu himpunan ke nilai keanggotaan pada interval. Perbedaan antara himpunan fuzzy dengan himpunan tegas yaitu terletak pada fungsi keanggotaannya. Beberapa peneliti mengusulkan untuk menggunakan algoritma genetika untuk mengoptimalkan fungsi keanggotaan yang digunakan dalam sistem fuzzy[8].

2.2.2. Fungsi Keanggotaan

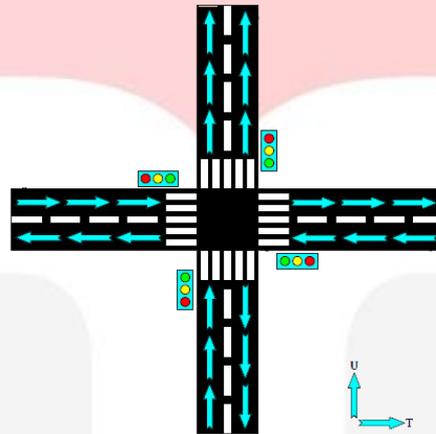


$$iga(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c \end{cases} \quad (2.1)$$

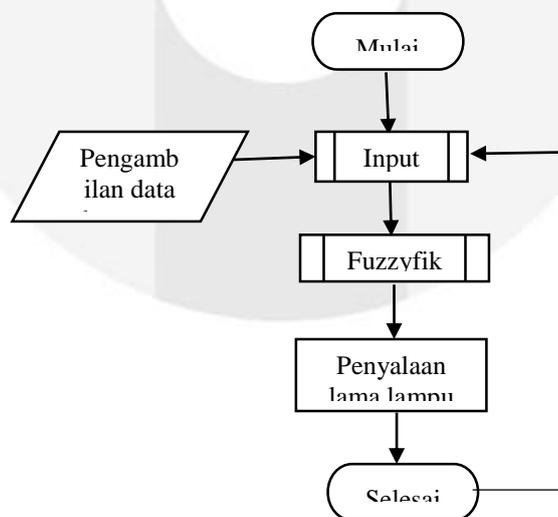
3. Pembahasan

3.1. Deskripsi Umum Sistem

Pada perancangan tugas akhir ini penulis melakukan observasi pada satu perempatan pada perempatan Buah Batu Lingkar Selatan. Perempatan Buah Batu lingkaran Selatan ini terdiri atas 4 ruas jalan dan memiliki 2 fasa arus lalu lintas. Adapun alur lalu lintas pada perempatan tersebut seperti tertera pada gambar 3.1.



3.2. Flowchart Sistem



4. Implementasi dan Pengujian Sistem

4.1. Pengolahan Data menggunakan Logika Fuzzy

- ✓ Pembentukan himpunan fuzzy

Tabel 1 durasi penyalaaan lampu hijau menggunakan logika fuzzy

	Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain
Input	Jumlah kendaraan pada jalur yang diatur menggunakan logika fuzzy	Tidak Padat	[0-20]
		Normal	[20-40]
		Padat	[42-60]
	Jumlah kendaraan pada jalur yang lainnya	Tidak Padat	[0-24]
		Normal	[24-44]
		Padat	[44-60]
Output	Lama penyalaaan lampu hijau pada jalur yang diatur	Cepat	[0-26]
		Sedang	[40-50]
		lama	[60-90]

4.2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam sebuah nilai keanggotaan yang memiliki nilai interval antara 0 dan 1. Sebagai contoh $\mu(x) : a \rightarrow [0, 1]$ dimana a adalah himpunan universal. Digunakan fungsi kurva segitiga dan kurva bentuk bahu untuk merepresentasikannya. Bentuk pendekatan inilah yang sesuai untuk merepresentasikan himpunan fuzzy di atas dengan lebih akurat, Sumbu y adalah derajat keanggotaan dari tiap variable fuzzy. Sumbu x adalah menunjukkan semesta pembicaraan. Berikut adalah fungsi keanggotaan untuk jumlah kendaraan jalur yang diatur dari arah selatan ke utara :

$$\mu_{sedikit} = \begin{cases} SU < 20 ; & 1 \\ \frac{30 - SU}{30 - 20} ; & 20 < SU < 30 \\ JKA > 30 ; & 0 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} \frac{SU - 20}{30 - 20} ; & 20 < SU < 30 \\ \frac{42 - SU}{42 - 36} ; & 36 < SU < 42 \end{cases}$$

$$\mu_{banyak} = \begin{cases} SU < 36 ; & 0 \\ \frac{SU - 36}{42 - 36} ; & 36 < SU < 42 \\ SU > 42 ; & 1 \end{cases}$$

Sedangkan fungsi keanggotaan untuk jumlah kendaraan jalur lainnya dari arah barat ke timur dan sebaliknya sebagai berikut :

$$\mu_{sedikit} = \begin{cases} BT < 24 ; & 1 \\ \frac{30 - BT}{30 - 20} ; & 20 < BT < 30 \\ BT > 30 ; & 0 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} \frac{BT - 24}{34 - 24} ; & 24 < BT < 34 \\ \frac{34 - BT}{44 - 34} ; & 34 < BT < 44 \end{cases}$$

$$\mu_{banyak} = \begin{cases} BT < 36 ; & 0 \\ \frac{BT - 36}{44 - 36} ; & 36 < BT < 44 \\ BT > 44 ; & 1 \end{cases}$$

Dari kedua inputan fungsi keanggotaan diatas akan ditentukan durasi lampu lalu lintas sesuai dengan kepadatannya masing-masing. Fungsi keanggotaannya adalah sebagai berikut :

$$\mu_{cepat} = \begin{cases} DLH > 40 ; & 0 \\ DLH < 24 ; & 1 \end{cases}$$

$$\mu_{agakCepat} = \begin{cases} \frac{DLH - 40}{45 - 40} ; & 40 < DLH < 45 \\ \frac{50 - DLH}{50 - 45} ; & 45 < DLH < 50 \end{cases}$$

$$\mu_{lama} = \begin{cases} DLH < 50 ; & 0 \\ DLH > 60 ; & 1 \end{cases}$$

4.3. Perhitungan Derajat Keanggotaan Logika Fuzzy

Adapun tahapan-tahapan dalam menyelesaikan masalah setelah terbentuknya himpunan fuzzy diantaranya adalah fuzzifikasi, Evaluasi kaidah, Komposisi dan Defuzzifikasi. Setelah melalui tahapan tersebut barulah akan didapatkan suatu keluaran atau output nilai crips sebagai solusi yang diharapkan. Pada suatu waktu ada kondisi di persimpangan Buah Batu Lingkar Selatan adalah Sebagai Berikut :

- a. Dari Arah Selatan(jalur 1) : 45 Kendaraan
- b. Dari Arah Barat(jalur 2) : 22 Kendaraan
- c. Dari arah Timur(jalur 3) : 19 Kendaraan

Berikut merupakan alur atau tahapan dalam penyelesaian masalah setelah terbentuknya himpunan fuzzy :
Berikut merupakan alur atau tahapan dalam penyelesaian masalah setelah terbentuknya himpunan fuzzy :

a. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan sebuah rangkaian proses pengubahan input crisp berupa jumlah kendaraan menjadi input fuzzy berupa derajat keanggotaan dalam suatu himpunan fuzzy. Pada tahap ini akan ditentukan dan dicari derajat keanggotaan variabel input yang sudah terbagi kedalam beberapa himpunan fuzzy. Berikut merupakan cara dalam mencari keanggotaan tiap himpunan fuzzy.

Jalur 1 :

$$\begin{aligned} \mu_{Sedikit} &= [46] = 0 \\ \mu_{Sedang} &= [46] = 0 \\ \mu_{Banyak} &= [46] = 1 \end{aligned}$$

Jalur 2 :

$$\begin{aligned} \mu_{Sedikit} &= [22] = (30-22)/(10) = 0,8 \\ \mu_{Sedang} &= [22] = (30-22)/(10) = 0,2 \\ \mu_{Banyak} &= [22] = 0 \end{aligned}$$

Jalur 3 :

$$\begin{aligned} \mu_{Sedikit} &= [19] = 1 \\ \mu_{Sedang} &= [19] = 0 \\ \mu_{Banyak} &= [19] = 0 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, suatu masukkan crips tidak hanya menjadi suatu anggota himpunan fuzzy, tetapi bisa termasuk kedalam dua himpunan fuzzy sekaligus. Yang merupakan pembeda ialah derajat keanggotaannya seperti pada jalur 2, kendaraan berjumlah 22 termasuk kedalam kondisi Sedang sebesar 0,2 namun disebut pula sebagai sedikit dengan nilai sebesar 0,8. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Nilai Keanggotaan dari SU atau BT Sesuai dengan fungsi keanggotaannya

Input 1 Input 2	sedikit	sedang	banyak
46	0	0	1
22	0,8	0,2	0
19	1	0	0

5. Analisis Perbandingan Traffic Light Secara Konvensional Dan Logika Fuzzy

Tabel 4.8 perbandingan lama durasi hijau antara sistem konvensional dan logika fuzzy pada pagi hari

tanggal	Selatan Utara		Barat timur dan Timur barat	
	konvensional	Logika fuzzy	Konvensional	Logika fuzzy
November				
13	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
14	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
15	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	28 Detik
16	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	15.6 Detik
17	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
18	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	28 Detik
19	Minggu			
20	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	15 Detik

21	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	28 Detik
22	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	28 Detik
23	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
24	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	28 Detik
25	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	28 Detik
26	Minggu			
27	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
28	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
29	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	15.6 Detik
30	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
Desember				
1	90 Detik	45 Detik	56 Detik	10.2 Detik
2	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	15.6 Detik
3	Minggu			
4	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	15.6 Detik
5	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
6	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
7	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	15.6 Detik
8	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	28 Detik
9	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	23.6 Detik
10	Minggu			
11	90 Detik	72.4 Detik	56 Detik	15.6 Detik
	2250 Detik	1782 Detik	1400 Detik	550.8 Detik

Hasil pengujian lampu lalu lintas menggunakan logika fuzzy yang terdapat pada tabel 2 menunjukkan bahwa waktu lampu hijau di setiap fasenya berbeda-beda. Bisa dilihat bahwa jumlah keseluruhan detik sistem lampu lalu lintas konvensional dan dengan menggunakan metode logika fuzzy dengan inputan setiap harinya berbeda sesuai dengan observasi penulis. Sistem kendali lampu lalu lintas memiliki durasi lampu hijau yang lebih lama, karena pada sistem ini durasi lampu hijau di tetapkan secara default dan tetap. Jadi, setiap persimpangan diberikan waktu yang sama dalam penyalan lampu hijau dan merahnya, meskipun disalah satu jalur lainnya padat dengan kendaraan. Hal ini yang menyebabkan durasi lampu hijaunya lebih lama. Sistem ini kurang akurat karena dengan sistem seperti tersebut bisa menyebabkan penumpukan di salah satu jalur yang padat.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa perhitungan untuk memperoleh waktu sinyal lampu lalu lintas dapat dilakukan dengan memanfaatkan logika fuzzy. Dan kinerja yang dihasilkan dengan menggunakan logika fuzzy lebih cepat dibandingkan dengan sistem konvensional yang sebelumnya durasinya lebih lama. durasi lampu lalu lintas jika dibandingkan dengan sistem konvensional yang awalnya dari arah selatan ke utara 2250 detik (100%) dan dari arah barat ke timur dan sebaliknya 1400 detik (100%) bisa dipercepat dan diefisienkan menjadi 1782 detik (79.22%) dari arah selatan ke utara dan 550.8 detik (39.34%) dari arah barat ke timur dan sebaliknya untuk kondisi pagi hari. Sedangkan untuk kondisi sore hari bisa dipercepat dan diefisienkan menjadi 1249.9 detik (55.55%) dari arah selatan ke utara dan 998.6 detik (71.33%) dari arah barat ke timur dan sebaliknya

6.2. Saran

Pengaturan simpang atau perempatan dengan menggunakan logika fuzzy bisa mempercepat durasi lampu lalu lintas sesuai dengan kepadatan disetiap jalurnya. Kajian dan penelitian ini tentang logika fuzzy ini seharusnya diterapkan sehingga pemecahan masalah pada persimpangan lampu lalu lintas bisa diminimalisir. Beberapa kajian yang sebaiknya dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Fungsi keanggotaan, sehingga dapat diketahui fungsi keanggotaan yang jauh lebih baik untuk digunakan dalam pemodelan sistem lalu lintas menggunakan logika fuzzy.
2. Batasan-batasan yang terkait dengan pengaturan simpang atau perempatan lampu lalu lintas sebagai masukkan fungsi keanggotaan dalam penentuan waktu logika fuzzy.

Dua hal diatas sangat penting dikaji secara berkelanjutan karena dalam pengaplikasiannya teori logika fuzzy membutuhkan operator yang dapat menetapkan aturan-aturan yang kualitatif dalam bentuk kalimat-kalimat fuzzy

1. Mone, Shubhada P. Wankhede, Sachin. Wankhede. Kadam,rohini. Mahakulkar, Aditya.Kauthale,Poonam,2015, "An Intelligent Traffic Light Controlling System,"Journal of Recent and Innovation Trends in Computing and Communication.
2. Chinyere, Osigwe Uchenna. Fransisca, Oladipo. Amano,Onibere Emmanuel,2011,"Design and Simulation of An Intelligent Traffic Control System,"Journal of Advance in Engineering and Technology.
3. Mohamed,Ben Ahmed. Abderahim,Ghadi. Anouar, Boudhir. Mohammed, Bouhorma. Koutar,Ben Ahmed,2015,"Dinamic Traffic Light Control for Intelligent Mobality in Smart City," Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.73, No 2.
4. Homaei, Hamad. Hejazi,S R. Deghan,Sayed Ali Mohamad, 2015,"A New Traffic Light Controller Using Fuzzy Logic for a Full Single Junction Involving Emergency Vehicle Preemption,"Journal of Uncertain System, Vol.1, pp.49-61.
5. Wang, Chunxiang. Jin,Tao. Yang,Miang. Wang, Bing,2011,"Robust and Real Time Traffic Light Recognition in Complex Urban Enviroment,"Journal of Computational Intelligence System, Vol.4, No.6, pp. 1383-1390.
6. [T.Royani, J. Haddadnia dan M. Alipoor,2013." Control of Traffic Light in Isolated Intersections Using Fuzzy Neural Network and Genetic Algorithm," International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 5, No. 1.
7. Jomaa, Khaled Abdul Rahman,2016," An Artificial Intelligence Techniques and Simulation Model to Control a Traffic Jam System in Malaysia (Review Paper)," Asian Journal of Business and Management (ISSN: 2321 – 2802) Volume 04– Issue 01.
8. Gong, Yuan-Jiao dan Zhang, Jun ,2011," Real-Time Traffic Signal Control for Modern Roundabouts by Using Particle Swarm Optimization-Based Fuzzy Controller," Technical Report – SYSU – 2011-03.
9. Islam, Md Shabiul. M.S Bhuyan. Azim, Md Anwarul. L.K Teng. Othman, Masuri ,2006," Hardware Implementation of Traffic Controller using Fuzzy Expert System".Journal of Basic and Applied Scientific Research. International Symposium on Evolving Fuzzy Systems, September, 2006
10. Omachi,Masako. Omachi,Shinichiro,2010,"Detection of Traffic Light Using Structural Information,"ICCP2010 Proceedings