

PENGONTROLAN LAMPU LALU LINTAS BERDASARKAN KEPADATAN KENDARAAN MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

Fitria Suryatini

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam “45” Bekasi
Jl Cut Meutia No. 83 Bekasi 17113, Jawa Barat, Indonesia
Email: Fitriasuryatini88@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah kendaraan mengakibatkan terjadinya peningkatan kepadatan lalu lintas yang menjadi salah satu faktor penyebab kemacetan. Salah satu cara untuk mengatasi kemacetan adalah dengan membangun suatu rekayasa sistem pengendalian lampu lalu lintas berdasarkan kepadatan kendaraan berbasis visual. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan pengendalian lampu lalu lintas menggunakan logika fuzzy yang terdiri dari tiga modul fuzzy: modul *next phase*, *stop phase*, dan *switch phase* yang berfungsi untuk memperpanjang atau mengakhiri fase yang sedang aktif dan memilih fase selanjutnya yang akan diaktifkan berdasarkan jumlah kendaraan, lama waktu hijau, dan lama waktu merah. Pengendalian lampu lalu lintas menggunakan logika fuzzy dirancang dan diimplementasikan pada mikrokontroler ARM Cortex-M4 (STNucleo F401RE) yang diintegrasikan dengan traffic monitoring menggunakan komunikasi serial. Traffic monitoring dibuat menggunakan Microsoft Visual Studio yang berfungsi sebagai pengolah citra lalu lintas untuk mendeteksi jumlah kendaraan di setiap jalur persimpangan dan sebagai user interface untuk memonitoring pengendalian lampu lalu lintas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendali logika fuzzy berhasil menghasilkan lama penyalaaan lampu hijau dan urutan fase berdasarkan jumlah kendaraan, lama waktu hijau, dan lama waktu merah. Kendali logika fuzzy dapat memperbaiki performansi kendali *fixed-time* pada pengendali lampu lalu lintas sebesar 28,21%.

Kata kunci— pengendali lampu lalu lintas, kendali logika fuzzy, mikrokontroler, traffic monitoring

ABSTRACT

Growth in the number of vehicles resulted in an increase in traffic density which became one of the causes of traffic congestion. One of the ways to overcome traffic congestion is through the development an engineering system of traffic light controller based on vehicle density. This research aim to design and implement a traffic light controller using fuzzy logic which consists of three fuzzy modules: next phase module, stop phase module, and switch phase module that serves to extend or terminate the current active phase and selecting the next green phase which will be activated based on the number of vehicles, the length of green time, and the length of Red Time. Traffic light controller using fuzzy logic was designed and implemented in ARM Cortex-M4 microcontroller (STNucleo F401RE) which was integrated with traffic monitoring using serial communication. Traffic monitoring was made using Microsoft Visual Studio that serves as a traffic image processing to detect the number of vehicles in each lane of intersection and as a user interface for monitoring the traffic light control. The results showed that fuzzy logic control success to generate length of green light and phase sequence based on the number of vehicles, the length of green time, and the length of Red Time. Fuzzy logic control improved the performance of fixed-time control on traffic light controller of 28.21%.

Keywords: traffic light controller, fuzzy logic control, microcontroller, traffic monitoring

PENDAHULUAN

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, setiap tahunnya jumlah kendaraan bermotor semakin meningkat. Pada tahun 2013, jumlah kendaraan bermotor mencapai 104,118 juta unit yang menunjukkan peningkatan sebesar 10,33% dari tahun sebelumnya (Kantor Kepolisian Republik Indonesia, 2015). Semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor mengakibatkan kepadatan lalu lintas pun terus meningkat dan menjadi salah satu faktor penyebab kemacetan. Kemacetan lalu lintas ini menimbulkan banyak kerugian diantaranya kerugian waktu yang terbuang di jalan, menguras energi, dan membuat bahan bakar kendaraan menjadi lebih boros. Oleh karena itu kemacetan ini harus diatasi.

Salah satu bentuk kemacetan yang terjadi diakibatkan terjadi penumpukan kendaraan di persimpangan lalu lintas. Pengaturan arus lalu lintas di persimpangan dikendalikan melalui pemasangan

lampu lalu lintas. Lampu lalu lintas yang sudah terpasang, biasanya menggunakan kontrol *fixed time* atau lamanya penyalaan lampu hijau dan merah dibuat tetap. Walaupun lajur jalan di persimpangan lenggang tetap mendapatkan sinyal hijau yang waktunya sama ketika lajur jalan padat. Pada penelitian ini dibuat suatu rekayasa sistem untuk pengendalian lampu lalu lintas di persimpangan yang secara otomatis menyesuaikan diri dengan kepadatan arus lalu lintas pada jalur yang diatur. Setiap jalur yang diatur pada persimpangan mendapat sinyal hijau sesuai kepadatannya, dimana kepadatan kendaraan dapat dideteksi berbasis visual menggunakan pengolahan citra. Jalur yang mempunyai kepadatan kendaraan lebih besar akan mendapatkan sinyal hijau yang lebih lama dibandingkan dengan jalur yang mempunyai kepadatan kendaraan yang lebih kecil.

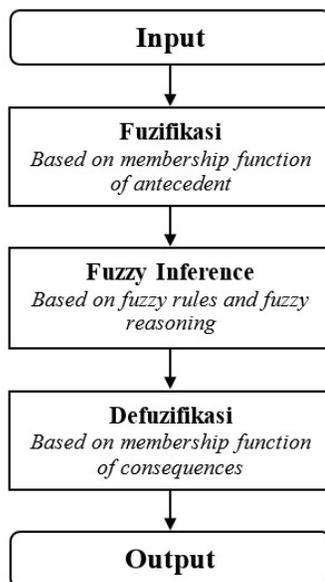
Pengontrolan lampu lalu lintas berdasarkan kepadatan kendaraan dapat dilakukan menggunakan logika fuzzy. Kendali logika fuzzy dapat menghasilkan penyalaan sinyal hijau yang lebih dinamis sesuai kepadatan kendaraan yang ada pada suatu simpang jalan. Hasil penelitian Aryuanto (Aryuanto, 2002), Alam (Alam dkk, 2013), dan Rhung (Rhung dkk, 2009) menunjukkan bahwa penggunaan algoritma logika fuzzy meningkatkan kinerja lalu lintas dibandingkan dengan *Fixed Time* (FT) dan *Vehicle Actuated* (VA), dimana penggunaan kendali logika fuzzy dapat memperkecil waktu tundaan.

Beberapa metode yang dilakukan pada penelitian sebelumnya diantaranya: (1) sistem terdiri dari *fuzzy phase selector function* (bekerja pada tingkat urutan) dan *fuzzy green phase extender function* (terletak pada perpanjangan hijau) dengan input jumlah kendaraan yang dibaca oleh detektor (Zarandi, 2009); (2) kendali fuzzy terdiri dari *green phase module*, *next phase*, *decision module* dan *switching module* dengan input *Arrival Rate* dan *Queue Length* menggunakan *image processing* (George, 2012); (3) Sistem terdiri dari satu modul fuzzy dengan input jumlah kendaraan hasil *image processing* dengan output perpanjangan hijau yang nilainya telah ditentukan berdasarkan jumlah kendaraan (Ahmed, 2014); (4) sistem terdiri dari tiga modul fuzzy yaitu modul *Next phase*, modul *Stop phase*, dan modul *Switch phase*. Input berupa jumlah kendaraan (*Traffic Flow*), lama waktu nyala hijau (*Green Time*), dan lama nyala merah (*Red Time*). Input jumlah kendaraan diperoleh dari software simulasi dengan membangkitkan data secara acak. Keluarannya adalah penentuan pemutusan fase yang sedang aktif atau tidak. Sistem diimplementasikan pada mikrokontroler intel MCS-51 (Aryuanto, 2002).

Pada penelitian ini dirancang suatu pengendali lampu lintas berbasis logika fuzzy dengan menggunakan algoritma yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya karena telah teruji kinerjanya, yang terdiri dari tiga modul fuzzy yaitu modul *Next phase*, modul *Stop phase*, dan modul *Switch phase* (Aryuanto, 2002). Perbedaannya adalah sistem diimplementasikan pada perangkat keras menggunakan mikrokontroler ARM Cortex-M4 dan perangkat lunak *traffic monitoring* untuk memantau kondisi lalu lintas. Input logika fuzzy adalah lama waktu nyala merah dan hijau serta jumlah kendaraan pada tiap jalur persimpangan yang diperoleh dari hasil pengolahan citra *video traffic*. Output kendali logika fuzzy pada pengendali lampu lalu lintas adalah penghentian/penerusan fase yang aktif dan menentukan fase selanjutnya yang akan diaktifkan berdasarkan kepadatan kendaraan. Dengan mengatur lamanya fase aktif dan urutan fase berdasarkan kepadatan kendaraan, diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurai kemacetan.

KENDALI LOGIKA FUZZY

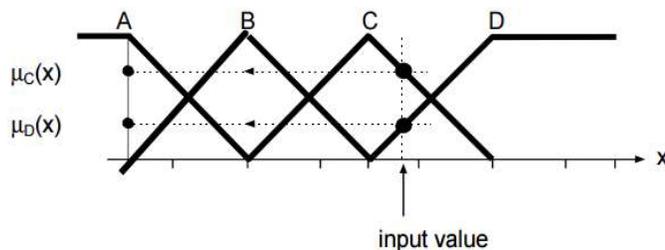
Kendali logika fuzzy disebut juga *Fuzzy Inference System/ FIS* adalah sistem kendali yang menggunakan konsep teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy *if-then*, dan *fuzzy reasoning*. Pada dasarnya input FIS dapat berbentuk *fuzzy input* atau *crisp input*, tetapi output yang dihasilkan hampir selalu berbentuk *fuzzy set*. Ketika FIS digunakan sebagai pengendali, diperlukan output berbentuk *crisp*. Untuk mengubah *fuzzy set* menjadi *crisp value* dapat digunakan metode defuzifikasi (Sivanandam, 2007). FIS terdiri dari beberapa metode, pada penelitian ini digunakan FIS dengan metode Takagi Sugeno Kang. Proses penalaran fuzzy ditunjukkan pada gambar 1 (Alam, 2013).



Gambar 1. Struktur sistem kendali logika fuzzy

Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan proses memetakan nilai *crisp* (tegas) ke dalam himpunan fuzzy dan menentukan derajat keanggotaannya di dalam himpunan fuzzy. Prinsip proses fuzzifikasi terdapat pada gambar 2.



Gambar 2. Prinsip proses fuzzifikasi

Berdasarkan gambar 2, satu nilai input tegas yang berada pada fungsi keanggotaan C dan D diubah menjadi nilai fuzzy yang memiliki dua derajat keanggotaan $\mu_C(x)$ dan $\mu_D(x)$.

Fuzzy Inference

Inferensi merupakan sistem penarikan kesimpulan dari sekumpulan kaidah fuzzy, dapat berupa input nilai eksak maupun rules dalam kaidah fuzzy. *Rule based* (Basis kaidah) merupakan sejumlah aturan fuzzy IF-THEN. Aturan pada model fuzzy Sugeno mempunyai bentuk (Jang, 1997) :

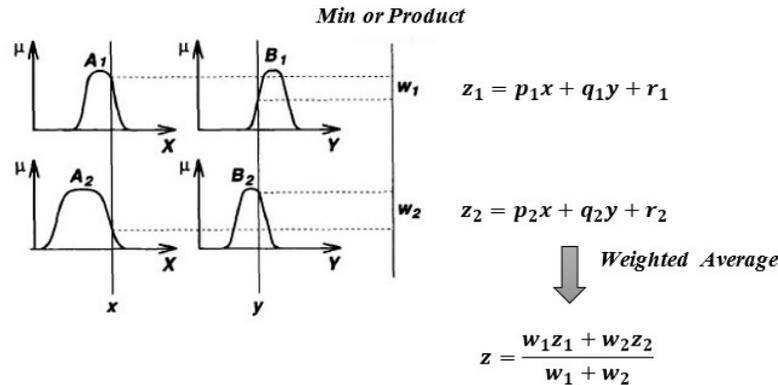
If Input 1 = x and Input 2 = y then Output is $z = ax + by + c$
 Untuk model Sugeno orde-Nol, Output level z adalah konstan ($a=b=0$).

Proses inferensi terdiri dari tiga tahapan yaitu operasi logika fuzzy, implikasi, dan agregasi. Operasi logika fuzzy merupakan proses untuk menghitung derajat kebenaran dari sekumpulan predikat fuzzy dengan konektor berupa AND, OR, atau NOT. Operasi logika fuzzy yang digunakan adalah operasi AND menggunakan metode min. Implikasi yaitu proses untuk mendapatkan hasil atau nilai (linguistik maupun kuantitatif) predikat konsekuen dari antesenden yang diberikan. Fungsi implikasi yang digunakan adalah min. Jika terdapat lebih dari satu kaidah fuzzy yang dievaluasi, keluaran semua rule dikombinasikan menjadi sebuah fuzzy set tunggal. Proses tersebut disebut agregasi. Metode agregasi yang digunakan adalah

metode max atau OR. Pada metode sugeno agregasi berupa singleton-singleton. Singleton adalah sebuah himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan: pada titik tertentu mempunyai sebuah nilai dan 0 di luar titik tersebut.

Defuzzyfikasi

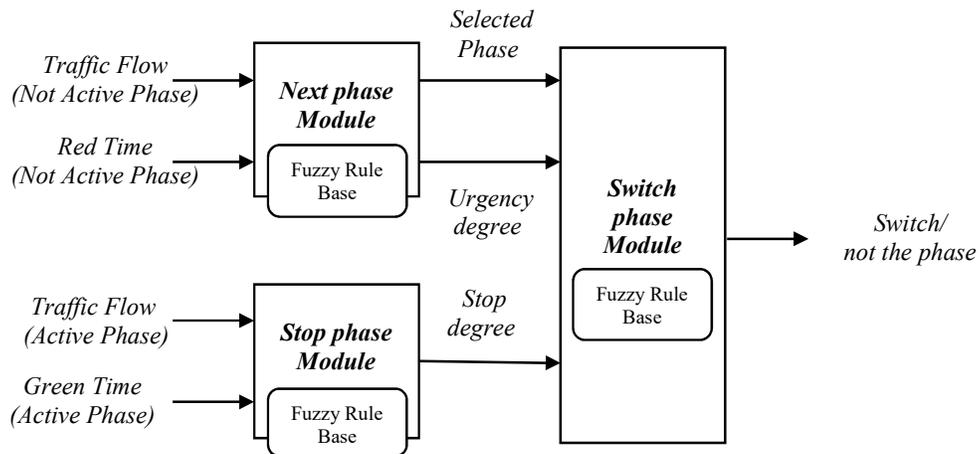
Defuzzyfikasi merupakan proses memetakan besaran dari himpunan fuzzy ke dalam bentuk nilai *crisp*. Defuzzyfikasi pada metode Sugeno lebih sederhana, karena hanya menghitung center of single-ton. Proses penalaran fuzzy metode sugeno terdapat pada gambar 3 (Jang, 1997).



Gambar 3. Proses penalaran fuzzy metode Sugeno

KENDALI LOGIKA FUZZY PADA PENGENDALI LAMPU LALU LINTAS

Kendali logika fuzzy pada pengendalian lampu lalu lintas terdiri dari tiga modul fuzzy yaitu modul *Next phase*, modul *Stop phase*, dan modul *Switch phase* (Aryuanto, 2002). Penalaran fuzzy yang digunakan adalah metode Takagi Sugeno Kang. Input kendali logika fuzzy pada pengendalian lampu lalu lintas terdiri dari: jumlah kendaraan (*Traffic Flow*) di setiap jalur pada persimpangan, lama waktu nyala hijau fase yang aktif (*Green Time*) dan lama waktu nyala merah (*Red Time*) fase yang tidak aktif. Keluaran kendali logika fuzzy pada pengendalian lampu lalu lintas adalah penghentian atau penerusan fase yang aktif dan pemilihan fase berikutnya yang akan aktif berdasarkan kepadatan kendaraan, urutan pengaktifan fase tidak tetap, dengan kata lain urutan fase berubah sesuai dengan kondisi lalu lintas. Diagram blok struktur kendali logika fuzzy terdapat pada gambar 4.

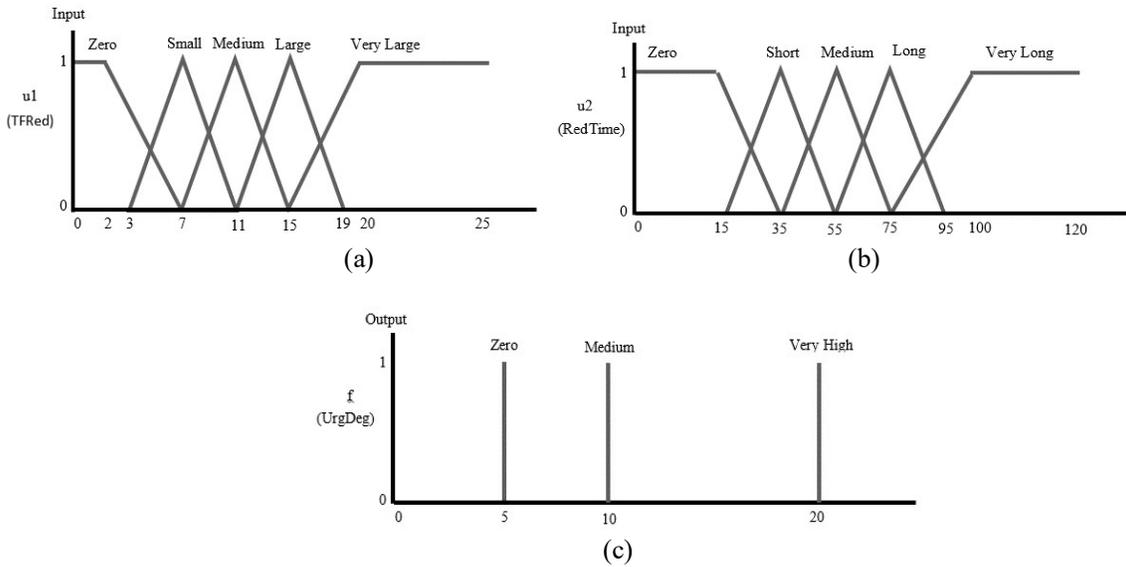


Gambar 4. Diagram blok struktur kendali logika fuzzy pada pengendalian lampu lalu lintas

Modul Next phase

Modul *next phase* berfungsi memilih fase berikutnya yang akan diaktifkan. Modul ini terdiri dari dua buah masukan yaitu jumlah kendaraan (TFRed) dan lama waktu merah (Red Time). Fungsi keanggotaan jumlah kendaraan (TFRed) terdiri dari Zero (Z), Small (S), Medium (M), Large (L), Very Large (VL). Sedangkan fungsi keanggotaan waktu merah (Red Time) yaitu Zero (Z), Short (S), Medium (M), Long (L), Very Long (VL). Fungsi keanggotaan input menggunakan bentuk segitiga dan trapesium.

Keluaran yang dihasilkan yaitu fase berikutnya yang terpilih untuk aktif (selected phase) dan *urgency degree* dari fase tersebut. *Urgency degree* sebanding dengan jumlah kendaraan dan lama waktu merah. Semakin banyak jumlah kendaraan dan semakin lama waktu merah, maka semakin mendesak fase tersebut untuk segera diaktifkan. Fungsi keanggotaan *Urgency degree* (UrgDeg) terdiri dari Zero (Z), Medium (M), Very High (VH). Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah singleton. Fungsi keanggotaan modul *next phase* terdapat pada gambar 5.



Gambar 5. (a) Fungsi keanggotaan Traffic Folw Non-Active Phase, (b) Red Time, dan (c) Urgency degree

Pada modul *next phase* terdapat dua input, dimana masing-masing input mempunyai lima fungsi keanggotaan sehingga basis kaidah yang digunakan adalah sebanyak 25. Basis kaidah diperlihatkan dalam bentuk matrik yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Basis kaidah modul *next phase*

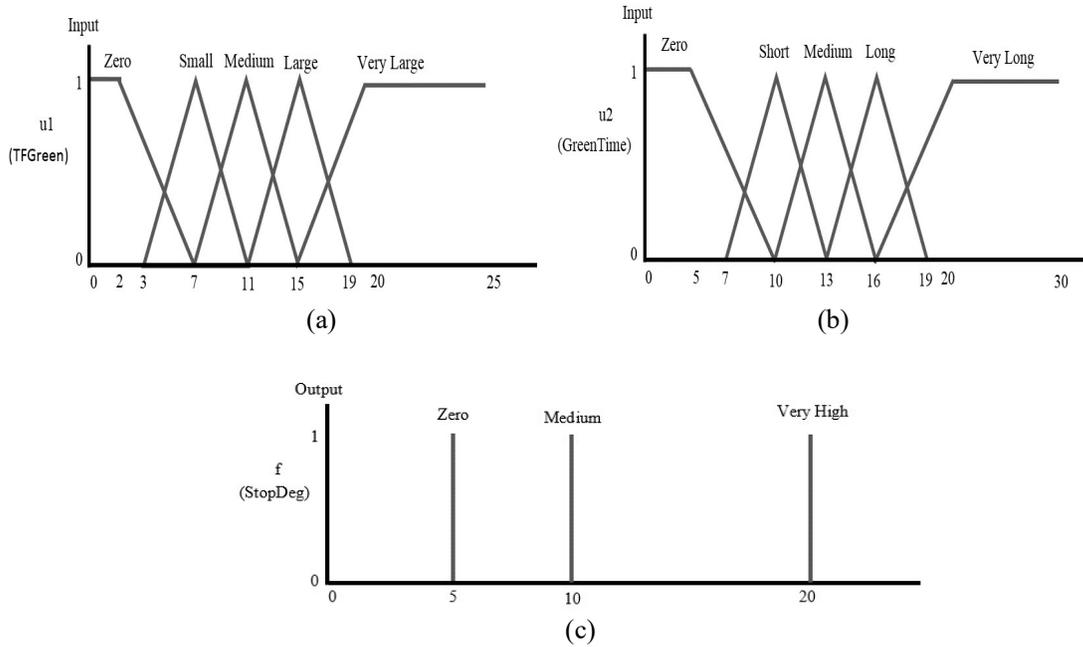
| | | Traffic Flow | | | | |
|----------|----|--------------|---|----|----|----|
| | | Z | S | M | L | VL |
| Red Time | Z | Z | Z | Z | M | M |
| | S | Z | Z | M | M | M |
| | M | Z | M | M | VH | VH |
| | L | M | M | M | VH | VH |
| | VL | M | M | VH | VH | VH |

Beberapa contoh kaidah “Jika-Maka” yang digunakan pada modul *next phase*:
 Jika Traffic flow = Large dan Red Time = Long maka Urgency degree = Very High
 Jika Traffic flow = Large dan Red Time = Zero maka Urgency degree = Medium
 dimana traffic flow dan Red Time merupakan anteseden, dan urgency degree merupakan konsekuen.

Modul Stop phase

Modul *Stop phase* berfungsi menentukan *stop degree* yang menyatakan seberapa perlu fase yang sedang aktif dihentikan. Masukan dari modul ini adalah jumlah kendaraan pada fase yang sedang aktif (TFGreen) dengan variabel linguistik: *Zero (Z)*, *Small (S)*, *Medium (M)*, *Large (L)*, *Very Large (VL)*. Input kedua dari modul ini adalah lama waktu hijau (green time) {*Zero (Z)*, *Short (S)*, *Medium (M)*, *Long (L)*, *Very Long (VL)*}. Fungsi keanggotaan input menggunakan bentuk segitiga dan trapesium.

Keluaran dari modul ini adalah *stop degree* (StopDeg) {*Zero (Z)*, *Medium (M)*, *Very High (VH)*}. Semakin besar jumlah kendaraan semakin kecil *stop degree* dan semakin lama waktu hijau semakin tinggi *stop degree*. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah singleton, diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6. (a) Fungsi keanggotaan Traffic Folw Active Phase, (b) Green Time, dan (c) Stop degree

Pada modul *stop phase* terdapat dua input, dimana masing-masing input mempunyai lima fungsi keanggotaan sehingga basis kaidah yang digunakan adalah sebanyak 25. Basis kaidah diperlihatkan dalam bentuk matrik yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Basis kaidah modul *stop phase*

| | | Traffic Flow | | | | |
|------------|----|--------------|----|----|---|----|
| | | Z | S | M | L | VL |
| Green Time | Z | M | M | Z | Z | Z |
| | S | M | M | M | Z | Z |
| | M | M | M | M | Z | Z |
| | L | VH | VH | M | M | M |
| | VL | VH | VH | VH | M | M |

Beberapa contoh kaidah “Jika-Maka” yang digunakan pada modul *stop phase*:

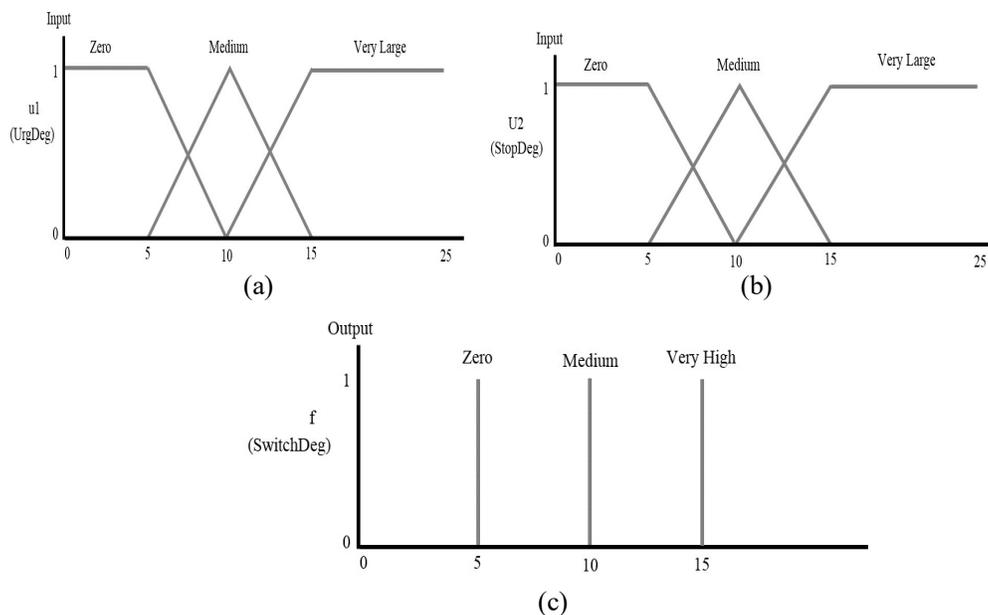
Jika Traffic flow = Large dan Green time = Long maka Stop degree = Medium

Jika Traffic flow = Large dan Green time = Zero maka Stop degree = Very High

dimana traffic flow dan green time merupakan anteseden, dan stop degree merupakan konsekuen.

Modul *Switch phase*

Modul *Switch phase* berfungsi untuk memutuskan apakah suatu fase harus dihentikan dan berpindah ke fase berikutnya atau tidak. Masukan dari modul ini adalah keluaran dari dua modul sebelumnya, yaitu *Urgency* yang merupakan keluaran dari modul *Next phase* dan *Stop degree* yang merupakan keluaran dari modul *Stop phase*. Keluaran dari modul ini adalah *Switch degree* yang menyatakan derajat penghentian fase. Penentuan *Switch degree* didasarkan pada *Urgency degree* dan *Stop degree*, dimana semakin tinggi *Urgency degree* dan/atau *Stop degree* maka semakin tinggi *Switch degree*. Fungsi keanggotaan *switch degree* yang digunakan adalah singleton {Zero (Z), Medium (M), Very High (VH)}. Fungsi keanggotaan modul *switch phase* diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. (a) Fungsi keanggotaan *Urgency degree*, (b) *Stop degree*, dan (c) *Switch degree*

Pada modul *switch phase* terdapat dua input, dimana masing-masing input mempunyai tiga fungsi keanggotaan sehingga basis kaidah yang digunakan adalah sebanyak sembilan. Basis kaidah diperlihatkan dalam bentuk matriks yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Basis kaidah modul *switch phase*

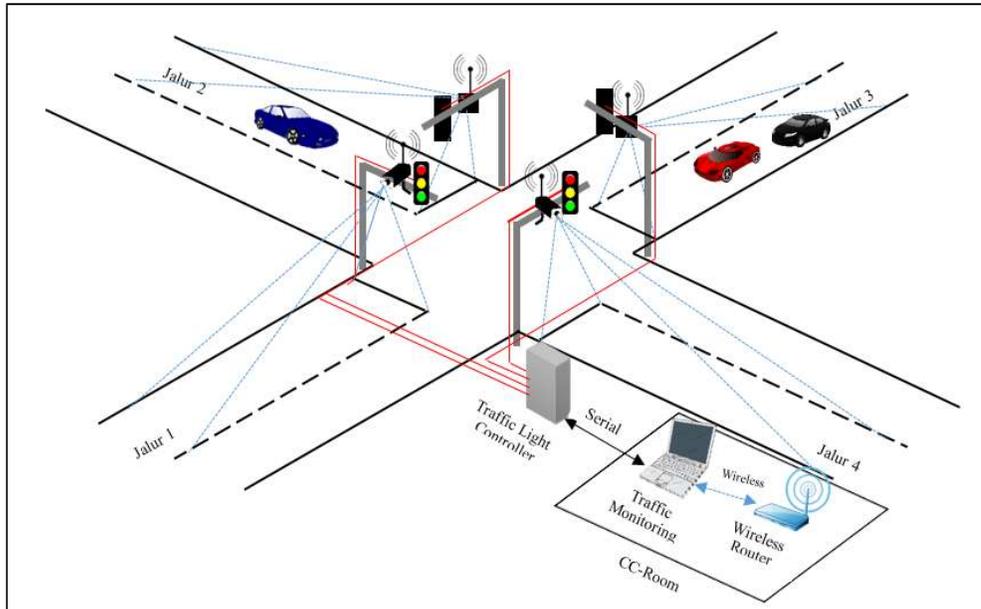
| | | <i>Urgency degree</i> | | |
|--------------------|----|-----------------------|----|----|
| | | Z | M | VL |
| <i>Stop degree</i> | Z | Z | Z | M |
| | M | Z | M | VH |
| | VL | M | VH | VH |

Beberapa contoh kaidah “Jika-Maka” yang digunakan pada modul *switch phase*:
 Jika *Urgency degree* = *Very High* dan *Stop degree* = *Very High* maka *Switch degree* = *Very High*
 Jika *Urgency degree* = *Zero* dan *Stop degree* = *Zero* maka *Switch degree* = *Zero*
 dimana *urgency degree* dan *stop degree* merupakan anteseden, dan *switch degree* merupakan konsekuen.

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Perancangan Sistem

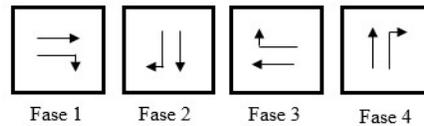
Pengendali lampu lalu lintas dirancang menggunakan logika fuzzy berdasarkan kepadatan kendaraan di persimpangan empat kaki. Kepadatan kendaraan diperoleh dari image processing video lalu lintas yang menghasilkan data jumlah kendaraan di setiap arah pergerakan pada persimpangan (Hidayati, 2015). Pengendali lampu lalu lintas berbasis logika fuzzy dirancang untuk meminimumkan waktu tunda kendaraan dengan cara menentukan penghentian atau penerusan fase yang aktif dan memilih fase berikutnya yang akan aktif berdasarkan kepadatan kendaraan. Rancangan sistem pengendali lampu lalu lintas terdapat pada gambar 8.



Gambar 8. Rancangan sistem pengendali lampu lalu lintas

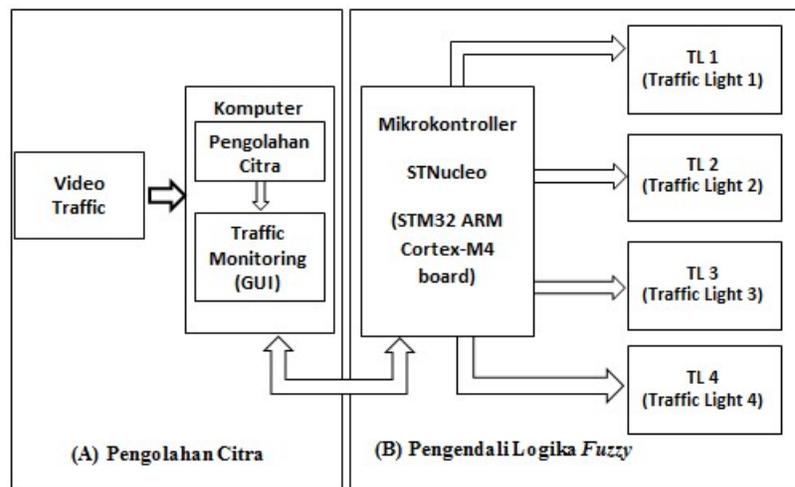
Pengendali lampu lalu lintas dengan logika fuzzy ini terdiri dari: (1) empat buah lampu lalu lintas yang terletak di setiap jalur persimpangan, yaitu: jalur barat (TL1), jalur utara (TL2), jalur timur (TL3), dan jalur selatan (TL4) yang terhubung ke traffic controller; (2) empat buah IP Camera wireless yang terletak di setiap jalur persimpangan yang terhubung ke traffic monitoring melalui wireless router menggunakan komunikasi wireless. Tetapi pada penelitian ini IP Camera wireless tidak digunakan karena terdapat kendala dalam pemasangan di jalur persimpangan. Oleh karena itu untuk pengujian sistem digunakan video pantauan kepadatan kendaraan yang diperoleh dari rekaman lalu lintas ATCS Bandung. Video pantauan kepadatan kendaraan ini akan diolah komputer menggunakan image processing untuk menghitung jumlah kendaraan; (3) perangkat keras kendali lampu lalu lintas menggunakan mikrokontroler ARM Cortex-M4 STNucleo F401 yang digunakan sebagai pengolah kendali logika fuzzy pada pengendalian lampu lalu lintas yang terhubung ke lampu lalu lintas; (4) perangkat Lunak kendali logika fuzzy pada lampu lalu lintas terdiri dari tiga modul fuzzy (modul nextphase, stopphase, dan switchphase) yang akan menghasilkan keluaran berupa penghentian/penerusan fase yang aktif dan menentukan fase selanjutnya yang akan diaktifkan berdasarkan kepadatan kendaraan, perangkat lunak kendali logika fuzzy dibuat menggunakan mbed compiler; dan (5) perangkat lunak traffic monitoring pengendalian lampu lalu lintas yang menampilkan video pantauan kepadatan kendaraan, digunakan untuk image processing dan interfacing dengan mikrokontroler untuk mengirimkan data jumlah kendaraan dan menerima data pengendalian lampu lalu lintas melalui komunikasi serial, perangkat lunak traffic monitoring dibuat menggunakan Windows Form Application pada Microsoft Visual Studio dengan bahasa c++ .

Pengendali lampu lalu lintas dirancang pada persimpangan empat kaki dengan empat fase seperti terdapat pada gambar 9.



Gambar 9. Kombinasi Fase

Pada sistem pengendalian lampu lalu lintas ini terdapat dua tahapan yaitu pengolahan citra digital sebagai deteksi jumlah kendaraan dan pengendali logika fuzzy sebagai pengendali lampu lalu lintas. Pengendali logika fuzzy terhubung ke pengolahan citra digital untuk mendapatkan jumlah kendaraan disetiap jalur. Tahap akhir ialah peran mikrokontroler yang mengatur dan mengendalikan lampu lalu lintas dimana proses ini dapat dipantau melalui *traffic monitoring*. Blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Blok Sistem

Cara kerja sistem pengendali lampu lalu lintas dengan logika fuzzy adalah, program kendali logika fuzzy dijalankan pada rutin intrupsi 1 detik. Kendali logika fuzzy dijalankan pada saat suatu fase aktif (nyala lampu hijau). Input data jumlah kendaraan dan waktu hijau fase yang aktif diproses oleh program modul *Stop phase* yang akan menghasilkan output *Stop degree*. Untuk tiga fase lainnya yang tidak aktif, input data jumlah kendaraan dan waktu merah diproses oleh tiga program modul *Next phase* yang akan menghasilkan tiga output *Urgency degree*, kemudian ketiga nilai *Urgency degree* ini dibandingkan dan diambil nilai *Urgency degree* maksimum (nilai tertinggi). Selanjutnya akan dilakukan program Selected Phase yang akan menentukan fase berikutnya yang akan aktif (*Next phase*). Pemilihan fase berikutnya yang akan aktif ditentukan dengan membandingkan nilai *Urgency degree* setiap fase yang belum aktif, fase yang memiliki nilai *Urgency degree* terbesar akan terpilih sebagai *Next phase*. Jika nilai fase-fase yang belum aktif mempunyai nilai *Urgency degree* yang sama, maka *Next phase* akan dipilih berdasarkan jumlah kendaraan terpadat dan lama waktu merah terbesar.

Nilai *Stop degree* dan *Urgency degree* maksimum akan diproses sebagai input modul *switch phase* yang menghasilkan output nilai *switch degree*. Nilai *switch degree* akan menentukan apakah fase yang sedang aktif akan tetap aktif atau pindah ke fase berikutnya yang telah terpilih (*Next phase*). Perpindahan fase ditentukan juga oleh waktu hijau maksimum dan minimum yang telah ditentukan sebelumnya. Ketentuan perpindahan fase adalah:

Jika $switch\ degree < switch\ degree\ minimum$ dan $greentime < greentime\ maks$, maka fase aktif = fase yang sedang aktif.

Jika $switch\ degree \geq switch\ degree\ minimum$ dan $greentime > greentime\ min$, maka fase aktif = *Next phase*.

Implementasi sistem diperlihatkan pada gambar 11. Software traffic monitoring dijalankan pada sebuah komputer yang dihubungkan dengan mikrokontroler melalui komunikasi serial. Traffic light diimplementasikan pada miniatur persimpangan lalu lintas.



Gambar 11. Implementasi sistem pengendali lampu lalu lintas

HASIL DAN ANALISIS

Untuk mengetahui performansi hasil implementasi sistem maka dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan dengan membandingkan pengendalian lampu lalu lintas kendali *fixed-time* dan kendali logika fuzzy. Parameter yang diamati adalah jumlah kendaraan dan lama waktu hijau pada setiap persimpangan serta urutan fase kendali logika fuzzy. Jumlah kendaraan diasumsikan sama antara kendali *fixed-time* dan kendali logika fuzzy. Jumlah kendaraan diperoleh dengan menghitung kendaraan dari video traffic yang digunakan pada pengujian. Pengujian dilakukan selama beberapa siklus dengan jumlah kendaraan yang berbeda-beda.

Performansi kendali lampu lalu lintas dapat diuji dengan menghitung tundaan. Tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu persimpangan dibandingkan terhadap situasi bila tidak terdapat persimpangan (George, 2012). Tetapi pada penelitian ini tidak dapat dilakukan perhitungan tundaan karena pengujian sistem menggunakan edited video. Oleh karena itu, performansi sistem diuji dengan membandingkan waktu total (jumlah waktu hijau setiap fase) antara kendali *fixed-time* dan kendali logika fuzzy (Ahmed, 2014). Lamanya waktu hijau dapat mempengaruhi tingkat kepadatan kendaraan di persimpangan karena semakin lama penyalaan lampu hijau pada suatu jalur di persimpangan, semakin lama pula penyalaan lampu merah pada jalur lainnya. Jika suatu simpang jalan yang sedang sepi, mendapatkan jumlah detik lampu hijau yang sama dengan simpang jalan yang ramai, hal tersebut menjadi kurang efektif, karena simpang jalan yang ramai tersebut harus menunggu lampu hijau pada simpang jalan yang sepi yang sebenarnya tidak memerlukan lampu hijau yang terlalu lama. Sebaliknya jika suatu simpang jalan yang ramai membutuhkan waktu nyala hijau yang lebih lama tetapi waktu nyala hijau tidak bisa diperpanjang, maka kendaraan pada simpang tersebut harus berhenti sehingga antrian kendaraan masih ramai yang menyebabkan pengendalian lampu lalu lintas menjadi kurang efektif pula.

Lamanya waktu hijau dan urutan fase pada pengendalian lampu lalu lintas dengan kendali *fixed-time* adalah tetap. Lamanya waktu hijau pada setiap jalur persimpangan diatur sebesar 20 detik dengan urutan fase yang aktif yaitu mulai dari fase 1, 2, 3, dan 4. Diantara nyala hijau antar fase terdapat nyala kuning yang diatur sebesar 3 detik dan merah semua 2 detik. Uji performansi pengendali lampu lalu lintas dengan menggunakan kendali *fixed-time* terdapat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian kendali *fixed-time*

| Jml Kend Jalur 1 | Jml Kend Jalur 2 | Jml Kend Jalur 3 | Jml Kend Jalur 4 | Waktu hijau fase 1 (detik) | Waktu hijau fase 2 (detik) | Waktu hijau fase 3 (detik) | Waktu hijau fase 4 (detik) | Waktu total (detik) | Urutan fase |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|-------------|
| 51 | 72 | 55 | 57 | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 | 1-2-3-4 |
| 49 | 74 | 48 | 52 | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 | 1-2-3-4 |
| 60 | 53 | 73 | 45 | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 | 1-2-3-4 |
| 74 | 63 | 15 | 72 | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 | 1-2-3-4 |
| 59 | 51 | 34 | 54 | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 | 1-2-3-4 |
| 58 | 21 | 39 | 71 | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 | 1-2-3-4 |
| 36 | 52 | 38 | 69 | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 | 1-2-3-4 |
| Total Kend Jalur 1 | Total Kend Jalur 2 | Total Kend Jalur 3 | Total Kend Jalur 4 | Waktu total fase 1 | Waktu total fase 2 | Waktu total fase 3 | Waktu total fase 4 | Waktu total | - |
| 387 | 386 | 302 | 420 | 140 | 140 | 140 | 140 | 560 | - |

Hasil pengujian kendali *fixed-time* yang terdapat pada tabel 4 menunjukkan bahwa waktu hijau setiap fase dengan jumlah kendaraan yang berbeda-beda adalah tetap yaitu sebesar 20 detik. Waktu total pada pengujian kendali *fixed-time* adalah sebesar 560 detik dengan urutan fase yang tetap yaitu mulai dari fase 1, 2, 3, dan 4.

Uji performansi pengendali lampu lalu lintas dengan menggunakan kendali logika fuzzy terdapat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian kendali logika fuzzy

| Jml Kend Jalur 1 | Jml Kend Jalur 2 | Jml Kend Jalur 3 | Jml Kend Jalur 4 | Waktu hijau fase 1 (detik) | Waktu hijau fase 2 (detik) | Waktu hijau fase 3 (detik) | Waktu hijau fase 4 (detik) | Waktu total (detik) | Urutan fase |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|-------------|
| 51 | 72 | 55 | 57 | 12 | 18 | 13 | 13 | 54 | 1-2-4-3 |
| 49 | 74 | 48 | 52 | 16 | 18 | 12 | 15 | 61 | 1-4-2-3 |
| 60 | 53 | 73 | 45 | 20 | 15 | 24 | 11 | 66 | 3-4-2-1 |
| 74 | 63 | 15 | 72 | 17 | 16 | 15 | 15 | 63 | 3-1-2-4 |
| 59 | 51 | 34 | 54 | 16 | 17 | 15 | 10 | 58 | 3-2-4-1 |
| 58 | 21 | 39 | 71 | 13 | 10 | 10 | 18 | 52 | 1-4-2-3 |
| 36 | 52 | 38 | 69 | 10 | 13 | 10 | 15 | 48 | 1-2-4-3 |
| Total Kend Jalur 1 | Total Kend Jalur 2 | Total Kend Jalur 3 | Total Kend Jalur 4 | Waktu total fase 1 | Waktu total fase 2 | Waktu total fase 3 | Waktu total fase 4 | Waktu total | - |
| 387 | 386 | 302 | 420 | 104 | 107 | 99 | 97 | 402 | - |

Hasil pengujian kendali logika fuzzy yang terdapat pada tabel 5 menunjukkan bahwa waktu hijau setiap fase berbeda-beda. Waktu total pada pengujian kendali logika fuzzy adalah sebesar 402 detik dengan urutan fase yang berbeda-beda sesuai dengan kepadatan kendaraan.

Perbandingan hasil pengujian menggunakan kendali *fixed-time* dan fuzzy menunjukkan bahwa untuk jumlah kendaraan yang sama diperoleh waktu total pada kendali *fixed-time* sebesar 560 detik dan waktu total pada kendali logika fuzzy sebesar 402 detik. Hasil ini menunjukkan kendali logika fuzzy pada pengendali lampu lalu lintas dapat memperbaiki performansi kendali *fixed-time* sebesar 28,21%.

KESIMPULAN

Pengendali lampu lalu lintas menggunakan logika fuzzy telah berhasil dirancang dan diimplementasikan pada mikrokontroler dan miniatur lampu lalu lintas simpang empat. Perangkat keras sistem kendali lampu lalu lintas telah berhasil diintegrasikan dengan perangkat lunak traffic monitoring. Pengujian sistem kendali logika fuzzy pada pengendali lampu lalu lintas secara keseluruhan menunjukkan bahwa penyalaaan lampu hijau dan urutan fase yang aktif berdasarkan pada jumlah kendaraan dan lama

waktu hijau dan merah pada setiap jalur persimpangan. Kendali logika fuzzy pada pengendali lampu lalu lintas dapat memperbaiki performansi kendali *fixed-time* sebesar 28,21%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed Bilal, An Intelligent Traffic Controller Based on Fuzzy Logic, *International Journal of Innovation in the Digital Economy (IJIDE)*, vol. 5, issue 1, pages 31-40, 2014.
- Alam, J., Pandey, M.K., Ahmed, H., Intelligent Traffic Light Control System for Isolated Intersection Using Fuzzy Logic, *Conference on Advances in Communication and Control Systems*, 209-215, 2013.
- Aryuanto, Aplikasi dan Perancangan Logika Tersamar pada Pengendali Lampu Lalu Lintas di Persimpangan Lewat Jenuh, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, 2002.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia), Departemen Pekerjaan Umum, 1997.
- George, A. M., Shetty, P. S., Fuzzy Controller for an Image Based Traffic System, *International Journal of Management, IT and Engineering*, 2(6), 291-305, 2012.
- Hidayati, Q., Pengolahan Citra Digital pada Pengendalian Lalu Lintas Berbasis Menggunakan Blob Detection, Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, 2015.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T., Mizutani, E., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, pp. 13-89, Prentice-Hall International Inc, United States of America, 1997.
- Kantor Kepolisian Republik Indonesia, Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2013, <http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1413>, 27 Februari 2015.
- Rhung, L. G., Soh, A. C., Rahman, R. Z. A., Hassan, M. K., Fuzzy Traffic Light Controller Using Sugeno Method for Isolated Intersection, *Proceedings of IEEE Student Conference on Research and Development*, 501-504, 2009.
- Sivanandam, S. N., Sumathi, S., Deepa, S. N., *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*, pp 118-127, New York, 2007.
- Zarandi, M. H. F., Rezapour, S., A Fuzzy Signal Controller for Isolated Intersections, *Journal of Uncertain Systems*, 3(3), 174-182, 2009.