

Sistem Kendali Lampu Lalu Lintas dengan Pendekatan Fuzzy Logic (Studi Kasus : Persimpangan PLTU Tello, Kota Makassar)

Traffic Light Control System with the Fuzzy Logic Approach (Case Study: PLTU Tello Junction, Makassar City)

Yohan Lesmana¹⁾, Indrabayu²⁾, Amil Ahmad Ilham³⁾

¹Mahasiswa Program Pascasarjana Sistem Komputer STMIK Handayani

^{2,3}Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia 90245

E-mail: yohan.lesmana.id@ieee.org¹⁾, indrabayu@unhas.ac.id²⁾, amil@unhas.ac.id³⁾

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali lampu lalu lintas sebagai bagian dari sistem transportasi cerdas dengan pendekatan fuzzy logic pada persimpangan jalan PLTU Tello, Kota Makassar. Penentuan fungsi keanggotan diambil dari tiga parameter input yang dihasilkan berdasarkan pengamatan, yaitu panjang maksimum antrian kendaraan sesaat sebelum isyarat lampu hijau on (Qd), Panjang maksimum antrian kendaraan pada saat isyarat lampu merah on (Qa), Tingkat kedatangan kendaraan pada area konflik pada saat isyarat lampu hijau on pada fase yang sedang berjalan (Ra) dan satu parameter output dengan 48 aturan fuzzy. Skenario analisa sistem dengan membandingkan antara sistem Alat Pemberi Isyarat Lampu Lintas (APILL) kendali tetap dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 dengan hasil output dari fuzzy logic controller. Siklus waktu pada persimpangan PLTU Tello bersifat konstan yaitu sebesar 125 detik, sehingga target keluaran fuzzy logic controller harusnya kurang dari 125 detik untuk mengurangi kemacetan lalu lintas.

Kata Kunci: fuzzy logic, sistem transportasi cerdas, APILL, kendali waktu tetap, fuzzy logic controller.

Abstract – This research aims to design a traffic light control system as part of the intelligent transportation system (ITS) with fuzzy logic approach at a junction of PLTU Tello, Makassar city. Determination of membership function is taken from the three input parameters are generated based on observation, i.e. the maximum length of the queue of vehicles sign shortly before the green light signal on (Qd), the maximum length of the queue of vehicles at the time of the red light signal on (Qa), the rate of arrival of the vehicles in the area of conflict at the green light signal on the phase in progress (Ra) and one output parameter with 48 fuzzy rules. Scenario analysis system by comparing the fixed time control based traffic light system on the road capacity Guidelines Indonesia 2014 with the results if the output of the fuzzy logic controller. Cycle time in the intersection is constant i.e. PLTU Tello amounted to 125 second, so the target fuzzy controller output should be less than 125 hours to reduce traffic congestion.

Keywords: fuzzy logic, intelligent transportation system, traffic light, fixed time control, fuzzy logic controller.

PENDAHULUAN

Salah satu ciri dari sebuah kota besar adalah kemacetan. Faktor utama terjadi kemacetan adalah karena tidak seimbangnya antara pertumbuhan jalan dengan pertumbuhan kendaraan bermotor. Berdasarkan data dari Direktorat Lalu Lintas Polda Sulawesi Selatan, tercatat sampai dengan Tahun 2013, jumlah kendaraan bermotor di Kota Makassar sebanyak 1.160.385 unit atau 39,94% dari populasi kendaraan yang ada di Provinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat, dengan rata-rata pertumbuhan kendaraan per tahun sebesar 10,63%. Pertumbuhan kendaraan ini akan meningkat terus seiring dengan pertumbuhan ekonomi di Sulawesi Selatan.

Sedangkan pertumbuhan jalan hanya sebesar 0,001% (“Benahi Transportasi Kota Makassar, Harus ada Langkah Ekstrem,” n.d.). Kondisi ini sudah menjadi permasalahan yang cukup serius mengingat selain meningkatnya kerusakan lingkungan dan kesehatan terutama polusi udara akibat gas buang kendaraan, juga tingginya beban atau biaya yang harus ditanggung oleh masyarakat akibat penggunaan bahan bakar yang tidak efisien dan banyaknya waktu yang terbuang. Hasil kajian *Study on Integrated Transportation Master Plan for Jabodetabek* (SITRAMP 2004), potensi kerugian yang ditanggung akibat kemacetan di jalan raya adalah sebesar Rp. 8,3 triliun per tahun. Kerugian tersebut berdasarkan dari

tiga aspek konsekuensi kemacetan yaitu pemborosan BBM sebesar 3 triliun, kerugian waktu terbuang Rp. 2,5 triliun dan dampak kesehatan akibat polusi udara sebesar Rp. 2,8 triliun (“Transportasi Kota Jakarta Mengkhawatirkan,” n.d.). Kerugian tersebut tercatat berdasarkan asumsi jumlah kendaraan yang bergerak di jalan raya 6,4 juta unit. Bila dibandingkan dengan jumlah kendaraan yang ada di Makassar saat ini berarti dapat diestimasi potensi kerugian akibat kemacetan sebesar 18% atau Rp. 1,48 triliun dari jumlah biaya kerugian yang dialami oleh Kota Jakarta.

Kemacetan itu sendiri biasanya terjadi pada persimpangan jalan baik yang dilengkapi dengan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) dan terlebih pada persimpangan jalan yang tidak dilengkapi dengan APILL. Pada persimpangan jalan dengan APILL, maju dan berhentinya kendaraan diatur dengan isyarat lampu baku yaitu lampu hijau, kuning dan merah untuk masing-masing ruas jalan (“Kapasitas Simpang APILL,” 2014). Tujuan dari APILL itu sendiri, selain untuk mengurangi terjadinya kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan-kendaraan dari arah yang berlawanan, juga untuk mempertahankan kapasitas simpang pada jam puncak, biasanya terjadi pada pagi hari (jam masuk sekolah dan kantor) dan sore hari (pulang kantor). Solusi ideal untuk mengurai kemacetan di kota besar adalah dengan membangun fasilitas dan infrastruktur baru atau alternatif bahkan kalau dimungkinkan dengan membangun jalan baru. Dengan membangun fasilitas atau infrastruktur baru disekitar persimpangan tidak menutup kemungkinan akan menjadi titik-titik kemacetan baru disekitar persimpangan tersebut dan tentunya membutuhkan biaya yang sangat besar. Sistem kendali waktu pada APILL yang ada saat ini masih menggunakan sistem kendali waktu tetap (“Kapasitas Simpang APILL,” 2014). Kekurangan yang ada pada sistem kendali waktu tetap adalah ketidakmampuan APILL dalam merespon situasi lalu lintas yang berubah secara dinamis dan tidak dapat diprediksi. Kondisi tersebut menyebabkan tingkat waktu tunda (*delay*) kendaraan cenderung meningkat sehingga menyebabkan waktu tempuh (*time travel*) kendaraan menjadi lambat. Kondisi ini dapat saja terjadi pada seluruh ruas jalan persimpangan. Untuk mengantisipasi permasalahan tersebut, maka diperlukan sebuah sistem APILL yang mampu secara adaptif menilai keadaan pada masing-masing ruas jalan untuk selanjutnya dapat mengatur waktu kendali secara dinamis. Teknik bagaimana sistem APILL mampu

menilai keadaan secara *real time* yaitu dengan memanfaatkan sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligent*).

Salah satu kecerdasan buatan yang mampu beradaptasi pada tingkat yang masih mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*), ketidaktepatan (*imprecise*), *noisy* dan sebagainya adalah *fuzzy logic*. Kelebihan lain dari *fuzzy logic* adalah mampu diterapkan dalam mesin yang mempunyai nilai presisi (*crisp*) (Munir, n.d.). *Fuzzy logic* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Astor Zadeh pada tahun 1962. Secara umum, cara kerja *fuzzy logic* meliputi beberapa tahapan yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan *fuzzy* (*rule base*), inferensi *fuzzy*, dan defuzzifikasi (Sutoyo, Mulyanto, & Suhartono, 2011). Ada tiga model *fuzzy* dengan titik berat pengembangan pada inferensi *fuzzy* yaitu model Mamdani, Sugeno (TSK) dan Tsukamoto (Kusumadewi & Purnomo, 2010).

- a. Model Mamdani sering disebut Model MAX-MIN. Diperkenalkan pertama kali oleh E. Mamdani (1975). Dalam metode ini, perlu 4 tahapan untuk menghasilkan output, yaitu:
 - 1) Pembentukan himpunan *fuzzy* baik *variable input* maupun *output* dibagi ke dalam satu atau lebih himpunan *fuzzy*.
 - 2) Aplikasi fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.
 - 3) Untuk komposisi aturan, inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan jika terdiri dari beberapa aturan. Dalam inferensi sistem *fuzzy* dapat dilakukan dengan 3 metode yaitu metode *Max*, *Additive* dan Probabilistik OR (*probor*).
 - 4) Untuk proses defuzzifikasi dapat dilakukan dengan metode Centroid, Bisektor, *Mean of Maximum* (MOM), *Largest of Maximum* (LOM) dan *Smallest of Maximum* (LOM).
- b. Model Sugeno diperkenalkan pertama kali oleh T. Takagi, M. Sugeno dan K.T. Kang pada tahun 1984 sehingga sering disebut juga TSK Model. Pada model ini, sistem penalaran hampir sama dengan model Mamdani, yang membedakan pada output (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, namun berupa konstanta atau persamaan linier. Ada 2 metode dalam melakukan inferensinya yaitu Sugeno Orde-Nol dan Sugeno Orde-Satu. Untuk defuzzifikasi dengan mencari nilai rata-rata.

- c. Model Tsukamoto merupakan aplikasi perluasan dalam penalaran monoton, yaitu setiap konsekuensi pada aturan dasar *fuzzy IF-Then* harus direpresentasikan dengan suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Output yang dihasilkan dari setiap aturan diberikan secara tegas berdasarkan α -predikat (*fire strength*) Defuzzifikasi diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot (*weight average*).

Fuzzy Logic telah banyak diimplementasikan dalam bidang kontrol di berbagai macam industri. Dalam berbagai penelitian sistem transportasi cerdas (*intelligent transportation system*) pengontrolan lampu lalu lintas berdasarkan *fuzzy logic* terbukti mampu mengelola lampu lalu lintas dengan berbagai macam skenario. Kontrol *fuzzy* mampu mengambil keputusan meskipun tidak dengan informasi yang lengkap. Selanjutnya dengan berbagai macam teknik pengembangan, pengontrolan lampu lalu lintas dengan *fuzzy logic* terus mengalami peningkatan terutama dalam hal keselamatan dan mengurangi *delay* waktu kendaraan pada persimpangan jalan (Rahman & Ratrout, 2009).

PENELITIAN TERKAIT

Fuzzy logic tidak hanya memberikan kontribusi terhadap kontrol signal lampu lalu lintas secara adaptif, namun secara signifikan dapat memberikan kontribusi yang besar dalam manajemen transportasi. Penelitian pada negara berkembang, khususnya dengan perkembangan yang sangat pesat harus dilakukan secara komprehensif. Penerapan signal kontrol lampu lalu lintas harus disesuaikan situasi lokal (Rahman & Ratrout, 2009). Secara teori, design kontrol *fuzzy* telah berhasil menjawab masalah rumit dalam pengambilan keputusan berdasarkan multi objek parameter melalui design *fuzzy signal controller* (Niittymäki, 1999) dan *traffic signal control phase sequencer* (Abbas, Sheraz, & Noor, 2009). Penelitian selanjutnya (Sadeghi, 2010), kontrol lampu lalu lintas dengan pendekatan *fuzzy logic multiple agent* yaitu dengan menggunakan empat parameter. Dua parameter input berdasarkan jumlah maksimum kendaraan pada jalur antrian dan kedatangan dibahas pada paper (Mehan, 2011), (Indrabayu, Intan Sari Areni, Makobombang, & Sidehabi, 2014), (Yulianto, 2003). (Yulianto, 2003) mengisyaratkan salah satu parameter input mengacu pada kepadatan yang terjadi pada jalur mengingat kondisi lalu lintas di Indonesia

tidak memisahkan antara mobil dan motor. Masing-masing paper tersebut mengamati persimpangan pada simpang empat dengan multi fase APILL (Abbas, Sheraz, & Noor, 2009), (Niittymäki, 1999), (Mehan, 2011). 3 fase APILL simpang tiga (Mehan, 2011), (Indrabayu, Intan Sari Areni, Makobombang, & Sidehabi, 2014), 2 fase APILL dengan simpang empat (Yulianto, 2003). Masing-masing penelitian di atas merancang output dari *fuzzy logic control* yaitu mengurangi *delay* dan optimalisasi *time travel*.

Dalam paper ini akan dirancang *fuzzy logic control* yang akan dijelaskan pada bagian selanjutnya dengan tiga parameter input pada simpang tiga dengan dua fase pergantian APILL. Lokasi penelitian adalah simpang tiga PLTU Tello, Kota Makassar.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Courtesy Google Map)

RANCANGAN SISTEM YANG DIUSULKAN

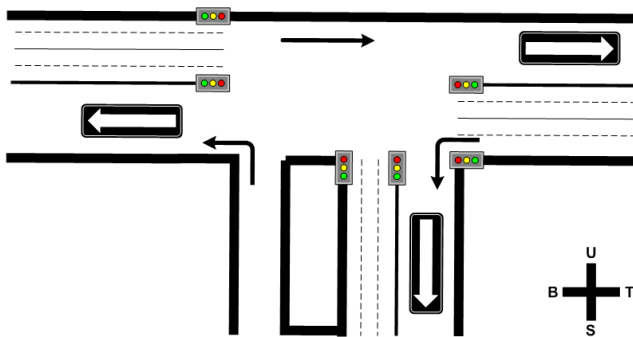
Pada persimpangan jalan dengan APILL kendali waktu tetap, seluruh kendaraan baik isyarat untuk maju dan berhenti diatur berdasarkan waktu tertentu dalam satuan detik. Isyarat maju dan berhenti diatur secara bergiliran dan disesuaikan dengan sifat dari simpang jalan tersebut. Jumlah kendaraan yang bergerak baik yang keluar dari persimpangan dan yang menuju persimpangan untuk selanjutnya berada dalam antrian sering berubah-ubah, tidak konstan. Jumlah kendaraan pada jam-jam sibuk seperti pagi hari akan lebih banyak dibanding pada siang hari, dan secara berangsur-angsur akan berkurang setiap jamnya dan akan meningkat kembali pada sore hari. Situasi jumlah kendaraan hari ini belum tentu sama dengan situasi hari kemarin atau esok hari, sehingga terjadi situasi dengan ketidakpastian dan ketidakpastian. *Fuzzy logic* sebagai salah satu kecerdasan buatan mampu beradaptasi pada tingkat yang masih mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*),

ketidaktepatan (*imprecise*) seperti halnya situasi yang terjadi pada persimpangan jalan.

A. Kriteria rancangan dan batasan.

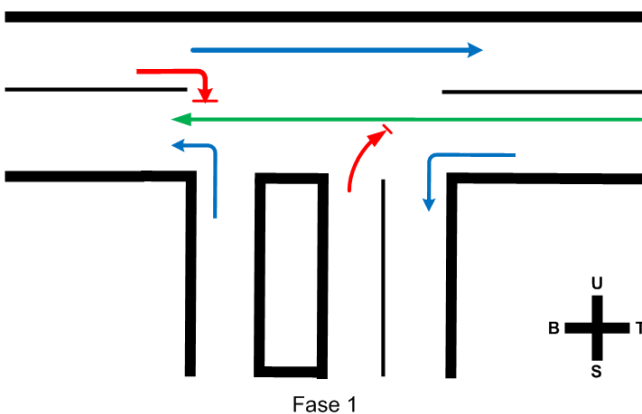
Dalam rancangan ini, diasumsikan bahwa:

- Persimpangan jalan yang menjadi objek adalah simpang tiga;
- Fase pergantian antara maju dan berhenti kendaraan terdiri dari dua fase;
- Jalur utama adalah arah dari timur ke barat. Dengan memperbolehkan belok kiri langsung pada saat isyarat lampu merah;
- Dari arah selatan ke timur hanya diperbolehkan belok kanan pada saat isyarat lampu hijau, bersamaan dengan dari arah barat belok kanan ke arah selatan;
- Tidak ada batasan jenis kendaraan yang melewati simpang.
- Panjang antrian dihitung berdasarkan Satuan Kendaraan Ringan (skr) ("Kapasitas Simpang APILL," 2014).



Gambar 2. Ilustrasi jalan simpang tiga PLTU Tello.

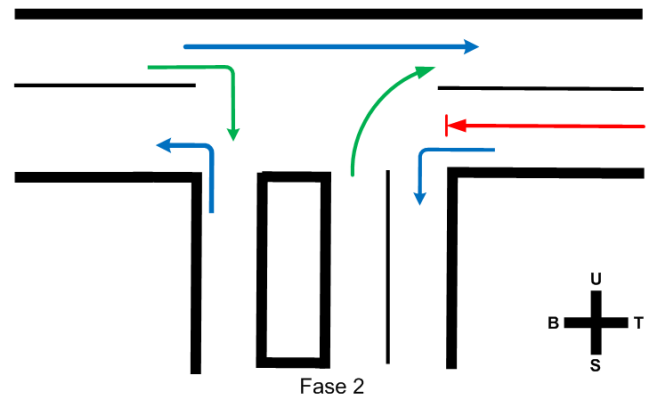
Gambar di bawah ini adalah ilustrasi fase APILL pada lokasi penelitian.



Gambar 3. Fase 1 APILL

Gambar di atas menunjukkan fase dimana garis panah hijau adalah arah laju kendaraan dari arah timur ke barat berjalan. Garis panah merah menunjukkan arah laju berhenti yaitu dari arah selatan belok kanan

ke timur, sedangkan untuk arah lurus dari barat ke timur, belok kanan dari arah selatan ke barat dan belok kanan dari arah timur ke selatan yang ditunjukkan oleh garis panah biru adalah arah laju kendaraan yang tidak dikendalikan oleh APILL. Pada Gambar 4 adalah fase berikutnya yaitu garis panah hijau adalah arah laju kendaraan yang sedang berjalan yaitu arah laju dari selatan belok kanan ke timur bersamaan laju kendaraan dari arah barat belok kanan ke selatan.



Gambar 4. Fase 2 APILL

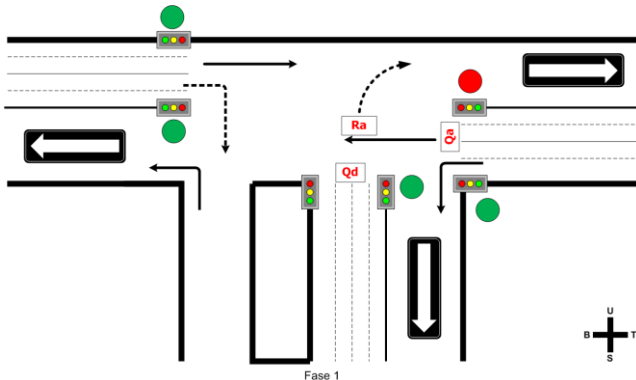
Dari kedua gambar di atas, terdapat arah laju kendaraan yang berjalan terus yaitu dari arah barat ke arah timur dan belok kanan dari arah timur ke selatan dan selatan ke barat. Dari pengamatan selama pengumpulan data sering menjadi hambatan terutama pada area konflik dengan laju kendaraan dari arah selatan ke arah timur dan dari arah selatan ke barat. Hal ini dapat dijadikan pertimbangan dalam merancang *fuzzy logic controller* selanjutnya.

B. Rancangan *fuzzy logic controller*.

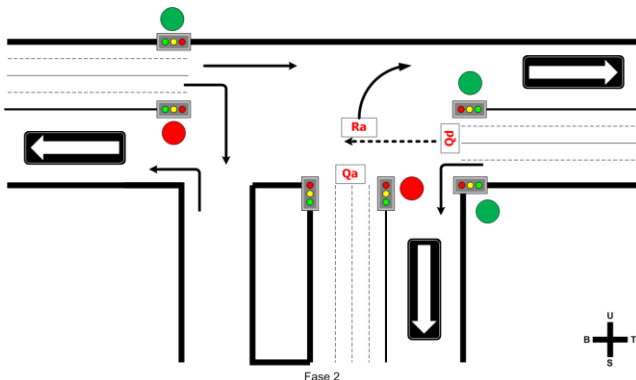
Fuzzy logic controller dirancang untuk persimpangan dengan jenis simpang tiga. Fase APILL terdiri dari dua fase seperti pada Gambar 3 dan 4. Pada rancangan ini, diusulkan tiga parameter input dan satu parameter output yaitu:

- Panjang maksimum antrian kendaraan (skr) sesaat sebelum isyarat lampu hijau *on* (fase yang sedang berjalan) – Qd ;
- Panjang maksimum antrian kendaraan (skr) pada saat isyarat lampu merah *on* (fase yang sedang menunggu giliran) – Qa ;
- Tingkat kedatangan kendaraan pada area konflik (%) pada saat isyarat lampu hijau *on* pada fase yang sedang berjalan – Ra , dan
- Parameter output – Ex , merupakan nilai waktu yang ditentukan apakah fase 1 atau fase 2 perlu dikurangi, tetap dan atau ditambah.

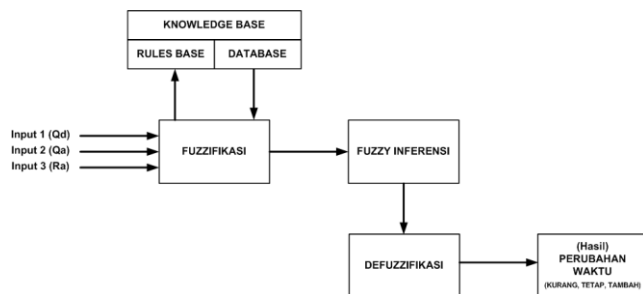
Pada saat fase 1 berjalan, arah kendaraan dari selatan ke timur berhenti (isyarat lampu merah *on*), pada kondisi ini parameter Qa terbentuk. Parameter Qd dibentuk dari panjang maksimum antrian pada fase 2 (sedang berjalan) sebelum isyarat lampu hijau *on*. Begitupun sebaliknya pada fase berikutnya. Sedangkan parameter Ra dibentuk berdasarkan berapa banyak jumlah kendaraan yang tiba di area konflik selama isyarat lampu hijau *on*.



Gambar 5. Pembentukan parameter input fase 1



Gambar 6. Pembentukan parameter input fase 2.



Gambar 7. Rancangan fuzzy logic controller

C. Fungsi keanggotaan.

Dalam penelitian ini, representasi fungsi keanggotaan yang digunakan adalah dalam bentuk kurva segitiga dan bentuk bahu. Berikut rancangan fungsi keanggotaan untuk masing-masing parameter input dan output:

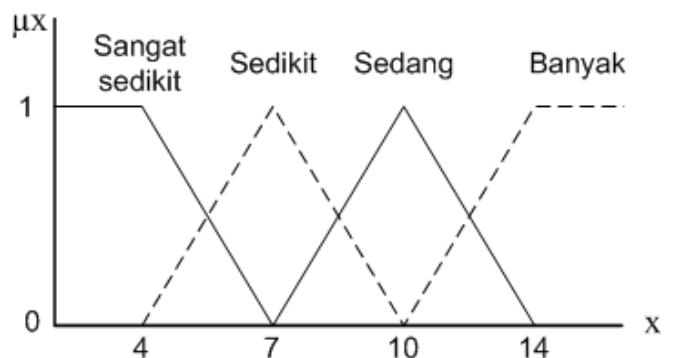
- Besaran nilai atribut parameter input Qd diambil dari jalur utama pada Gambar 3. dengan atribut

linguistik sangat sedikit, sedikit, sedang dan banyak. Besaran nilai atribut parameter input Qa diambil dari jalur lainnya pada Gambar 4 dengan atribut linguistik yang sama dengan parameter Qd ;

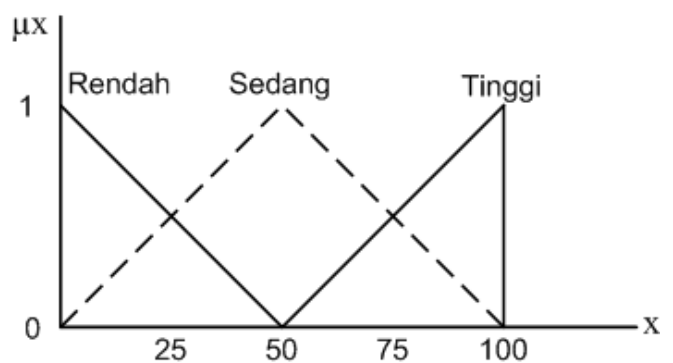
- Besaran nilai atribut parameter input Ra diambil berdasarkan arah kendaraan dari selatan ke timur (fase 2 berjalan), hal ini dikarenakan pada jalur ini sering mengalami hambatan karena adanya arus kendaraan yang datang dari arah barat ke timur yang berjalan terus tanpa adanya isyarat lampu merah *on*.
- Nilai atribut Ex diambil dari nilai minimal alokasi waktu isyarat lampu hijau *on* pada kendali waktu tetap yaitu 35 detik yang juga merupakan nilai maksimal penambahan waktu.



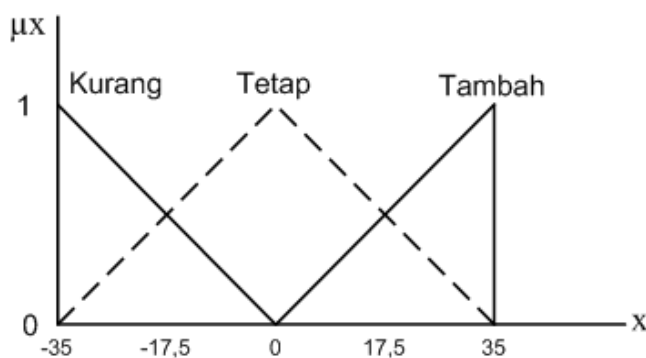
Gambar 8. Fungsi keanggotaan Qd (dalam skr)



Gambar 9. Fungsi keanggotaan Qa (dalam skr)



Gambar 10. Fungsi keanggotaan Ra (%)



Gambar 8. Fungsi keanggotaan Ex (detik)

Dalam mengambil parameter-parameter input tersebut dapat menggunakan aplikasi video image processing (VIP) dimana hasilnya lebih baik dibanding dengan pendeteksi lainnya (seperti: inductive loop) (Yulianto, 2003).

D. Rancangan fuzzy rules.

Aturan dasar sebuah fuzzy adalah dengan menggunakan bentuk IF-THEN dan biasanya digabungkan dengan operator AND/OR. Aturan fuzzy disusun menjadi sebuah basis aturan fuzzy yang merupakan pemetaan kombinasi parameter input fuzzy untuk menghasilkan output fuzzy. Dalam rancangan ini, terdapat tiga input fuzzy dengan masing-masing fungsi keanggotaan 4-4-3, sehingga basis aturan fuzzy dapat terbentuk sebanyak 48 aturan (4x4x3), dengan masing-masing aturan menghasilkan satu output.

E. Fuzzy inference system dan defuzzifikasi.

Untuk mengontrol dan mengevaluasi aturan fuzzy pada basis aturan fuzzy yaitu melalui sebuah mekanisme fuzzy inference system. Dalam paper ini, fuzzy inference system yang akan digunakan adalah model Mamdani. Adapun defuzzifikasi sebagai proses perubahan nilai output fuzzy ke dalam nilai crisp dengan defuzzifikasi yaitu Centroid.

F. Skenario analisis sistem.

Pada pendahuluan telah dijelaskan bahwa kekurangan yang ada pada APILL kendali tetap adalah ketidakmampuan APILL dalam merespon situasi lalu lintas yang berubah secara dinamis dan tidak dapat diprediksi sehingga menyebabkan tingkat waktu tunda (delay) kendaraan cenderung meningkat yang menyebabkan waktu tempuh (time travel) kendaraan menjadi lambat/berkurang. Untuk mengukur tingkat keberhasilan dari sistem usulan terhadap sistem yang sudah ada yaitu dengan membandingkan hasil dari keduanya.

Berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 ("Kapasitas Simbang APILL," 2014), waktu siklus untuk APILL kendali tetap seperti pada persamaan di bawah ini:

$$C = \frac{(1,5 \times H_H + 5)}{1 - \sum R_{Q/Skritis}} \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan (1) bertujuan untuk meminimumkan tundaan total.

Keterangan:

- C adalah waktu siklus, detik.
- H_H adalah jumlah waktu hijau hilang per siklus, detik.
- $R_{Q/S}$ adalah rasio arus, yaitu arus dibagi arus jenuh, Q/S .
- $R_{Q/Skritis}$ adalah Nilai $R_{Q/S}$ yang tertinggi dari semua pendekatan yang berangkat pada fase yang sama.
- $\sum R_{Q/Skritis}$ adalah rasio arus simpang (sama dengan jumlah semua $R_{Q/Skritis}$ dari semua fase) pada siklus tersebut.

Selanjutnya untuk menentukan waktu hijau pada fase APILL dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$H_i = (C - H_H) \times \frac{R_{Q_i}}{\sum_i (R_{Q_i})} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- H_i adalah waktu hijau pada fase i, detik.
- i adalah indeks untuk fase ke-i

Berdasarkan kendali waktu tetap, siklus waktu pada persimpangan PLTU Tello untuk seluruh fase adalah 125 detik. 90 detik dari arah timur ke barat sedangkan dari arah selatan ke timur 35 detik. Untuk menghindari terjadinya waktu tunda kendaraan yang lebih lama baik pada saat fase 1 dan fase 2 berjalan, perubahan waktu pada siklus APILL setelah fuzzy logic controller berjalan tidak boleh lebih dari 125 detik. Apabila kurang dari 125 detik berarti dapat dimungkinkan akan terjadi beberapa kali siklus dalam kurun waktu tertentu sehingga waktu tundaan menjadi kecil dan waktu perjalanan menjadi lebih cepat.

KESIMPULAN

Dalam paper ini telah dijelaskan rancangan kontrol lampu lalu lintas dengan pendekatan fuzzy logic. Rancangan Fuzzy Logic Control dengan 3 parameter input dan menghasilkan satu parameter output melalui 48 aturan fuzzy, fuzzy inference system metode Mamdani dan Centroid untuk proses defuzzifikasi.

Penelitian lanjutan dari paper ini adalah melakukan analisa performa sistem usulan melalui ujicoba dengan beberapa skenario kondisi lalu lintas yang sebelumnya telah dikumpulkan melalui rekaman CCTV selama kurang lebih dua minggu dengan data pembandingan output dari kontrol APILL kendali tetap.

Target output dari fuzzy logic control harus lebih rendah dari 125 detik yang merupakan output APILL kendali tetap saat ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Indrabayu, ST, MT, M.Bus.Sys., Bapak Amil A. Ilham, ST, M.IT, Ph.D dan Ibu Dr. Eng- Intan Sari Areni, ST, MT atas bimbingan, dukungan dan diskusi yang sangat membantu penulis. Terima kasih pula kepada teman-teman peneliti *Artificial Intelligence and Multimedia Processing (AIMP) Research Group* dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Benahi Transportasi Kota Makassar, Harus ada Langkah Ekstrim. (n.d.). Diakses pada 30 April 2015, dari <http://hubdat.dephub.go.id/berita/1515-benahi-transportasi-kota-makassar-harus-ada-langkah-ekstrim>
- Transportasi Kota Jakarta Mengkhawatirkan. (n.d.). Diakses pada 30 April 2015, dari <http://bstp.hubdat.web.id/?mod=detilSorotan&idMenuKiri=345&idSorotan=54>
- Kapasitas Simpang APILL. (2014). Pada *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Munir, R. (n.d.). *Pengantar Logika Fuzzy - Bahan Kuliah Topik Khusus IF*. Bandung: Teknik Informatika, STEI ITB. Diakses dari <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/MetNum/2011-2012/Pengantar Logika Fuzzy.pdf>
- Sutoyo, T., Mulyanto, E., & Suhartono, V. (2011). *Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Kusumadewi, S., Purnomo, Hari. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rahman, S. M., & Ratrou, N. T. (2009). Review of the Fuzzy Logic Based Approach in Traffic Signal Control: Prospects in Saudi Arabia. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(5), 58–70. [http://doi.org/10.1016/S1570-6672\(08\)60080-X](http://doi.org/10.1016/S1570-6672(08)60080-X)
- Abbas, S. A., Sheraz, S. M., & Noor, H. (2009). Fuzzy rule based traffic signal control system for oversaturated intersections. *Department of Computer and Information Systems NED University of Engineering and Technology, Karachi Pakistan*. Diakses dari <http://111.68.110.6/cise/docs/2009publication2.pdf>.
- Niittymäki, J. (1999). Using fuzzy logic to control traffic signals at multi-phase intersections. In *Computational Intelligence* (pp. 354–362). Springer. Diakses dari http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-48774-3_41.
- Sadeghi, H. M.-M. (2010). *Fuzzy Intelligent Traffic Control System*. Eastern Mediterranean University (EMU). Diakses dari <http://i-rep.emu.edu.tr:8080/jspui/handle/11129/679>
- Mehan, S. (2011). Introduction of Traffic Light Controller with Fuzzy Control System. *International Journal of Electronics & Communication Technology*, 2(3), 119 – 122.
- Indrabayu Amirullah, Intan Sari Areni, Makobombang, N. N., & Sidehabi, S. W. (2014). A Fuzzy Logic Approach for Timely Adaptive Traffic Light Based on Traffic Load. Pada *Electrical Engineering and Informatics (MICEEI), 2014 Makassar International Conference* (pp. 170 – 174). Makassar.
- Yullianto, B. (2003). Application of fuzzy logic to traffic signal control under mixed traffic conditions. *Traffic Engineering and Control*, 44 No. 9, 332–335.