

DESAIN PENGATUR LAMPU LALU LINTAS ADAPTIF DENGAN KENDALI LOGIKA FUZZY

Erwan Eko Prasetyo¹⁾, Oyas Wahyunggoro²⁾, Selo Sulisty³⁾

^{1), 2), 3)} Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2 Kampus UGM Yogyakarta
Email : erwan.sie13@mail.ugm.ac.id¹⁾, oyas@ugm.ac.id²⁾, selo@ugm.ac.id³⁾

Abstrak

Kemacetan lalu lintas merupakan masalah penting yang harus diselesaikan. Salah satu penyebab kemacetan lalu lintas adalah adanya sistem lampu pengatur lalu lintas yang belum optimal karena masih menggunakan sistem pengendalian waktu tetap. Oleh karena itu, konsep pengendalian lampu lalu lintas adaptif perlu dikembangkan untuk mendapatkan waktu pengaturan yang lebih baik. Makalah ini memaparkan konsep pengendalian lampu lalu lintas adaptif dengan kendali logika fuzzy. Kendali fuzzy digunakan untuk menentukan durasi lampu hijau berdasarkan tiga masukan, yaitu jumlah antrian kendaraan, waktu tunggu dan prediksi kepadatan. Tujuan penelitian ini untuk membandingkan penentuan keputusan dengan menggunakan beberapa metode defuzzifikasi pada fuzzy tipe Mamdani. Metode defuzzifikasi yang dibandingkan adalah metode centroid, bisector, mean of maximum, largest of maximum dan smallest of maximum. Metode defuzzifikasi yang memberikan hasil lebih baik adalah centroid dan bisector, karena perubahan keluaran yang dihasilkan cenderung lebih halus. Metode ini selanjutnya dapat diterapkan untuk membangun sebuah sistem pengatur lampu lalu lintas adaptif.

Kata kunci: adaptif, lampu lalu lintas, logika fuzz, kemacetan; lalu lintas

1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah kendaraan khususnya di kota-kota besar membuat kemacetan menjadi salah satu masalah penting yang harus diselesaikan [1]. Keadaan ini biasanya dapat dilihat di sebuah persimpangan jalan dengan banyak antrian kendaraan yang hendak melewati sebuah persimpangan jalan. Arus lalu lintas di persimpangan jalan di kota-kota besar sudah banyak yang diatur menggunakan lampu lalu lintas. Penggunaan lampu lalu lintas di persimpangan jalan ditujukan untuk mengendalikan arus lalu lintas agar tidak terjadi kemacetan. Lampu lalu lintas di Indonesia sebagian besar masih menggunakan pengaturan waktu penyalaan dengan durasi waktu yang tetap di tiap-tiap sisinya. Penentuan waktu tersebut menggunakan metode statistik yang didasarkan pada penelitian dan pengamatan arus lalu lintas yang terjadi di persimpangan [2]. Pada kenyataannya arus lalu lintas di persimpangan jalan tidak menentu dan berubah-ubah. Hal ini memungkinkan arus lalu lintas di persimpangan tidak

efektif karena adanya waktu hijau yang terlalu pendek untuk jumlah antrian kendaraan yang banyak di sebuah ruas jalan.

Dalam pengembangan sistem pengendalian lampu lalu lintas yang kompleks telah diterapkan sistem pengaturan lalu lintas adaptif. Salah satu contoh sistem adaptif yang telah dikembangkan adalah menggunakan kendali logika fuzzy [3]. Konsep dasar strategi adaptif yang digunakan di sini untuk mengatur fungsi keanggotaan sesuai kondisi lalu lintas agar dapat bekerja optimal. Sistem pengaturan adaptif akan mempertimbangkan keadaan lalu lintas yang selalu berubah-ubah, sehingga dapat mengoptimalkan arus lalu lintas sesuai dengan keadaan kepadatan lalu lintas yang selalu berubah-ubah.

Akan tetapi, keadaan lalu lintas yang dipertimbangkan terbatas pada keadaan di sebuah area persimpangan saja. Pada kenyataannya keadaan lalu lintas di jalan raya antara persimpangan satu dengan yang lainnya saling berkaitan. Keadaan lalu lintas di sebuah persimpangan, misalnya jumlah kendaraan yang melintas, dapat digunakan untuk memprediksi keadaan lalu lintas di persimpangan berikutnya. Pada makalah ini akan memaparkan perancangan sistem pengendali lampu lalu lintas dengan kendali logika fuzzy. Sistem ini akan mempertimbangkan prediksi keadaan lalu lintas sebagai masukan dalam menentukan durasi lampu hijau pada sebuah lampu lalu lintas. Sehingga diharapkan dengan konsep ini dapat memberikan durasi waktu hijau yang sesuai dengan jumlah antrian kendaraan yang akan melintasi persimpangan.

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan beberapa metode defuzzifikasi pada fuzzy tipe Mamdani. Metode defuzzifikasi yang dibandingkan antara lain metode centroid, bisector, mean of maximum (MOM), largest of maximum (LOM) dan smallest of maximum (SOM). Masing-masing metode defuzzifikasi diujicoba dengan cara simulasi menggunakan *fuzzy toolbox* pada Matlab. Uji coba dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi masukan yang sama pada tiap metode defuzzifikasi, kemudian hasilnya dibandingkan.

2. Pembahasan

a. Kemacetan Lalu Lintas

Kemacetan di Indonesia khususnya di kota-kota besar sudah semakin meningkat. Kemacetan terjadi terutama pada titik-titik persimpangan baik di jalan-jalan protokol hingga di jalan lingkungan. Pertambahan jumlah kendaraan mengakibatkan kemacetan semakin meningkat. Sistem transportasi yang kurang baik di sebagian kota-kota besar telah menimbulkan kemacetan yang cukup parah. Kerugian akibat dari kemacetan lalu lintas antara lain waktu terbuang percuma, pemborosan bahan bakar, meningkatnya biaya kesehatan dan pencemaran lingkungan [4].

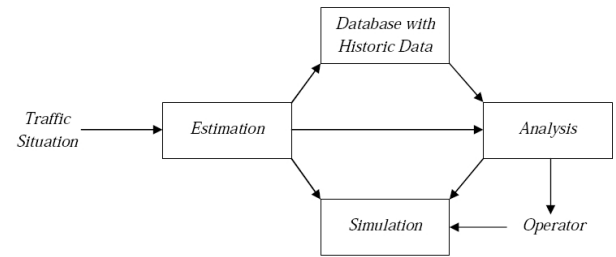
Kemacetan lalu lintas berkepanjangan seperti di Jakarta menyebabkan pemborosan senilai Rp 8,3 triliun per tahun. Perhitungan itu mencakup tiga aspek sebagai konsekuensi kemacetan, yakni pemborosan bahan bakar akibat biaya operasional kendaraan senilai Rp 3 triliun, kerugian akibat waktu yang terbuang Rp 2,5 triliun, dan dampak kesehatan akibat polusi udara sebesar Rp 2,8 triliun. Angka kerugian akan terus meningkat secara gradual seiring kemacetan lalu-lintas yang semakin parah di Jakarta. Tingginya penggunaan kendaraan bermotor menjadi pemicu utama masalah kemacetan. Bahkan, hingga saat ini tercatat jumlah kendaraan bermotor sudah mencapai 6,5 juta unit, yang terdiri atas 6,4 juta unit atau 98,6 persen merupakan kendaraan pribadi dan 88.477 unit atau sekitar 1,4 persen adalah angkutan umum, dengan pertumbuhan kendaraan mencapai 11 persen setiap tahunnya. Sedangkan panjang jalan yang ada 7.650 Km dengan luas 40,1 Km² atau 6,2% dari luas wilayah DKI, dengan pertumbuhan jalan hanya sekitar 0.01 % per tahun [5]. Dari data tersebut, jika dibandingkan antara pertumbuhan jalan dengan pertumbuhan kendaraan, jelas terlihat bahwa pertumbuhan jalan tidak mampu mengejar pertumbuhan kendaraan. Sehingga kemacetan hampir tidak mungkin dihindarkan.

b. Sistem Pengendalian Lampu Lalu Lintas

Pengendalian lampu lalu-lintas yang dioperasikan pada basis waktu saja, ternyata hanya membentuk sebuah sistem kendali *loop* terbuka. Meskipun demikian, jika jumlah kendaraan yang menunggu di setiap lampu lalu lintas pada suatu daerah yang padat arus lalu-lintasnya, diukur secara kontinyu dan informasinya dikirim ke pusat pengendalian, maka sistem semacam ini menjadi *loop* tertutup.

Salah satu aplikasi sistem *loop* tertutup adalah sistem pengendalian arus lalu lintas terpusat. Penentuan keputusan dalam pengaturan arus lalu lintas ditentukan berdasarkan data keadaan lalu lintas di beberapa ruas jalan yang diterima oleh pusat pengendali. Untuk membantu menentukan keputusan dalam sistem pengendali lalu lintas terpusat salah satunya dengan menggunakan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* digunakan sebagai sistem pendukung keputusan untuk pusat pengendali lalu lintas. Sistem ini akan memandu operator di pusat pengendali lalu lintas ketika harus mengurangi kemacetan. Sistem ini akan memberikan daftar urutan kombinasi pengendali lalu lintas yang terukur [6]. Sistem pengendalian lalu lintas

seperti ini secara garis besar ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Garis Besar Sistem Pendukung Keputusan Pengendalian Lalu Lintas

Mobilitas arus lalu lintas dalam jaringan cukup kompleks, karena variasi volume lalu lintas sangat bergantung pada jam dan hari dalam satu minggu, maupun pada beberapa faktor lain. Jadi untuk mengendalikan lampu lalu lintas secara terpusat memang cukup sulit, terlebih jika volume lalu lintas dari setiap persimpangan ruas jalan sangat heterogen. Dalam hal ini meminimumkan waktu tunggu rata-rata yang relatif proporsional dengan tingkat kepadatan lalu-lintasnya, merupakan suatu kendala pengendalian yang menuntut perencanaan dan pemecahan secara cermat [7].

c. Operator *Fuzzy*

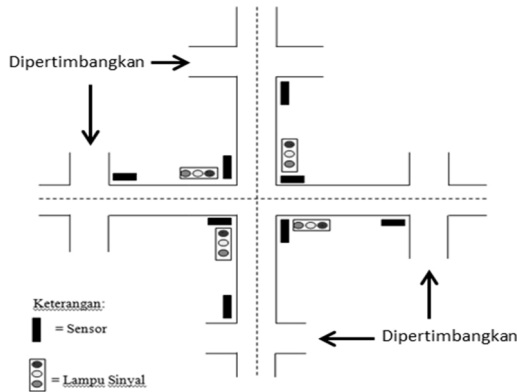
Operator *fuzzy* terdiri atas operasi-operasi yang sama seperti himpunan tegas atau *crisp*, mulai dari *union* (hubungan OR), *intersection* (hubungan AND), komplemen, perkalian *cartesian*, dan selisih himpunan. Berikut ini definisi dari operator untuk logika *fuzzy* [8].

- 1) Gabungan (*union*)
 $A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ atau } x \in B\}$
 $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_{A(x)} \vee \mu_{B(x)} = \max(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) \dots\dots\dots(1)$
- 2) Irisan (*intersection*)
 $A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ dan } x \in B\}$
 $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_{A(x)} \wedge \mu_{B(x)} = \min(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) \dots\dots\dots(2)$
- 3) Perkalian Kartesian (*cartesian product*)
 $A \cdot B = \{ (a,b) \mid a \in A \text{ dan } b \in B \} \dots\dots\dots(3)$
- 4) Komplemen
 $A' = \{x \mid x \notin A, x \in X\} \dots\dots\dots(4)$
- 5) Selisih (*difference*)
 $A-B = \{x \mid x \in A \text{ dan } x \notin B\} = A \cap B' \dots\dots\dots(5)$

d. Desain Pengatur Lampu Lalu Lintas Adaptif

Sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif yang menggunakan kendali logika *fuzzy* perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Pada penelitian ini sistem pengendalian dikembangkan dengan mempertimbangkan prediksi kepadatan arus lalu lintas yang akan terjadi di sebuah persimpangan. Prediksi kepadatan ini dapat diperoleh dari pembacaan keadaan

jumlah kendaraan di persimpangan sebelumnya. Konsep yang dikembangkan pada penelitian ini secara garis besar dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

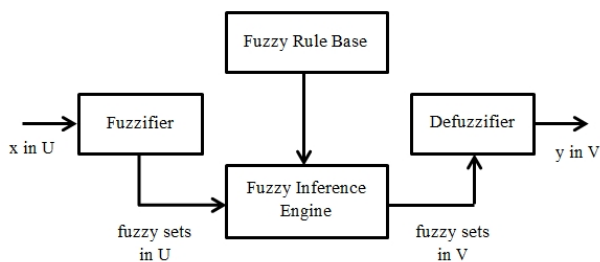


Gambar 2. Desain Sistem Pengendalian Lalu Lintas

Konsep tersebut merupakan pengembangan dari sistem pengendalian lampu lalu lintas adaptif. Sistem pengendalian lampu lalu lintas adaptif merupakan sistem pengendalian yang bekerja berdasarkan keadaan lalu lintas di area persimpangan. Sistem adaptif yang biasanya dipakai dibangun menggunakan sistem kendali logika *fuzzy* [9].

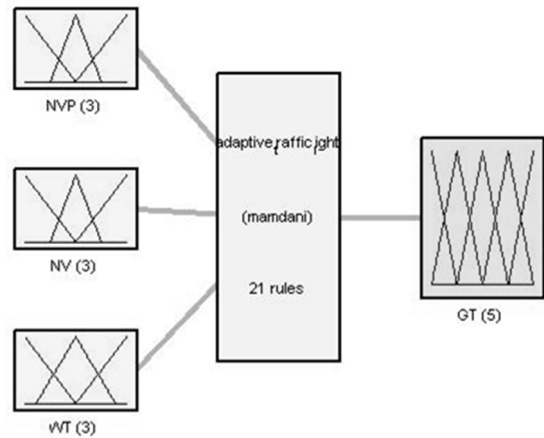
Untuk membaca keadaan arus lalu lintas di persimpangan, salah satu caranya dengan memasang sensor. Sensor dipasang di sekitar persimpangan jalan tersebut. Sensor diletakkan pada dua bagian, yaitu sensor di persimpangan itu dan sensor pada persimpangan lain yang saling berhubungan. Pada penelitian ini pengaturan durasi waktu penyalan isyarat lampu lalu lintas tidak hanya berdasarkan pada keadaan arus lalu lintas di sebuah persimpangan itu saja tetapi juga berdasarkan pada keadaan arus lalu lintas di persimpangan lain yang saling berhubungan.

Sistem kendali adaptif yang digunakan adalah kendali logika *fuzzy*. Sistem ini berfungsi sebagai pengambil keputusan dalam pengaturan lampu lalu lintas. Keputusan yang diberikan berupa besarnya durasi lampu hijau. Besarnya durasi tergantung dari keadaan arus lalu lintas di persimpangan. Variasi durasi waktu penyalan lampu hijau merupakan keputusan yang dibuat dalam aturan-aturan (*rules*) sistem kendali logika *fuzzy*. Konfigurasi dasar sistem kendali logika *fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 3.



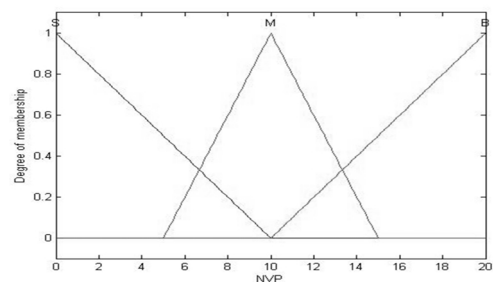
Gambar 3. Konfigurasi Dasar Sistem Fuzzy dengan Pengaburan dan Penegasan

Masukan sistem terdiri atas tiga macam variabel yaitu jumlah antrian kendaraan (NV) dalam satuan smp, prediksi kepadatan (NVP) dalam satuan smp/menit dan waktu tunggu (WT) dalam satuan detik. Keluaran berupa durasi waktu hijau (GT). Masukan pertama, NV akan dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan yaitu *small (S)*, *medium (M)* dan *big (B)* dengan rentang [0;40]. Masukan kedua, NVP akan dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan yaitu *small (S)*, *medium (M)* dan *big (B)* dengan rentang [0;20]. Masukan ketiga, WT akan dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan yaitu *small (S)*, *medium (M)* dan *big (B)* dengan rentang [0;180]. Sedangkan keluaran, GT akan dibagi menjadi lima fungsi keanggotaan yaitu *very small (VS)*, *small (S)*, *medium (M)*, *big (B)* dan *very big (VB)* dengan rentang [0;180]. Sistem *fuzzy* tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 4.

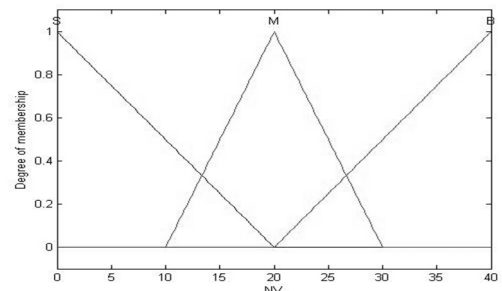


Gambar 4. Sistem Fuzzy dengan 3 Masukan dan 1 Keluaran dengan 21 Aturan

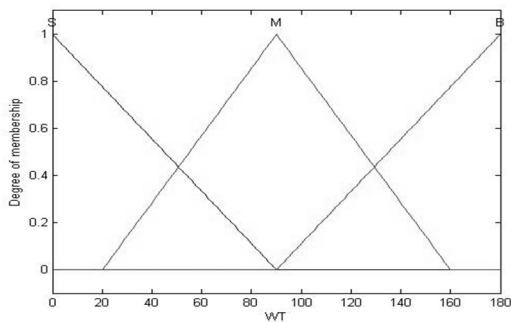
Sedangkan fungsi keanggotaan masing-masing masukan dan keluaran sistem *fuzzy* ditunjukkan seperti pada gambar 5 berikut ini.



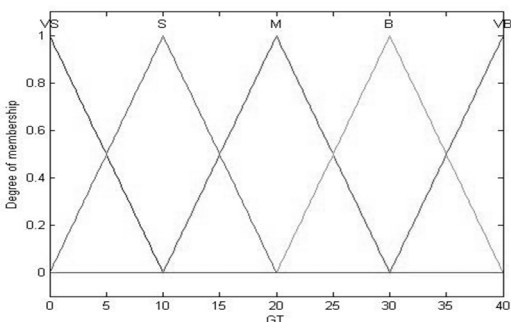
Gambar 5a. Fungsi Keanggotaan NVP



Gambar 5b. Fungsi Keanggotaan NV



Gambar 5c. Fungsi Keanggotaan WT



Gambar 5d. Fungsi Keanggotaan GT

Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Masukan dan Keluaran Sistem Fuzzy

Sistem fuzzy pada penelitian ini dibangun dengan 21 aturan. Adapun aturan-aturan tersebut ditunjukkan seperti pada daftar berikut ini.

Daftar aturan sistem fuzzy pengatur lampu lalu lintas adaptif.

1. If NV is S and WT is S then GT is S
2. If NV is S and WT is M then GT is S
3. If NV is S and WT is B then GT is VS
4. If NVP is S and NV is M and WT is S then GT is M
5. If NVP is S and NV is M and WT is M then GT is S
6. If NVP is S and NV is M and WT is B then GT is S
7. If NVP is S and NV is B and WT is S then GT is B
8. If NVP is S and NV is B and WT is M then GT is M
9. If NVP is S and NV is B and WT is B then GT is M
10. If NVP is M and NV is M and WT is S then GT is B
11. If NVP is M and NV is M and WT is M then GT is M
12. If NVP is M and NV is M and WT is B then GT is S
13. If NVP is M and NV is B and WT is S then GT is VB
14. If NVP is M and NV is B and WT is M then GT is B
15. If NVP is M and NV is B and WT is B then GT is M
16. If NVP is B and NV is M and WT is S then GT is VB
17. If NVP is B and NV is M and WT is M then GT is M
18. If NVP is B and NV is M and WT is B then GT is S
19. If NVP is B and NV is B and WT is S then GT is VB
20. If NVP is B and NV is B and WT is M then GT is B
21. If NVP is B and NV is B and WT is B then GT is B

e. Logika Fuzzy Tipe Mamdani

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh

Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Pada metode Mamdani untuk mendapatkan keluaran diperlukan 4 tahapan, yaitu *fuzzification*, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan (*rules*) dan *defuzzification*. *Fuzzification* adalah proses konversi dari ranah tegas (*crisp*) ke ranah fuzzy. Fungsi implikasi yang digunakan adalah min. Inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu *max*, *additive (sum)* dan *probabilistik OR (probor)* [10].

1) Metode Max (*maximum*)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke keluaran dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka keluaran akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dituliskan seperti Persamaan 6.

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \dots\dots\dots(6)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

2) Metode Additive (*Sum*)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua keluaran daerah fuzzy. Secara umum dituliskan seperti Persamaan 7.

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i

3) Metode Probabilistik OR (*Probor*)

Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua keluaran daerah fuzzy. Secara umum dituliskan seperti Persamaan 8.

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i]) \dots\dots(8)$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen I aturan ke-i;

Masukan dari proses *defuzzification* adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan keluaran yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tegas tertentu sebagai keluaran [10]. Ada beberapa metode *defuzzification* pada komposisi aturan Mamdani, antara lain [11] :

1) *Centroid of Area (COA)*

Nilai tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan seperti Persamaan 9.

$$Z_{COA} = \frac{\int_z \mu_A(z)z dz}{\int_z \mu_A(z) dz} \dots\dots\dots(9)$$

2) *Bisector of Area*

Nilai tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan seperti Persamaan 10.

$$\int_{\alpha}^z \mu_A(z) dz = \int_z^{\beta} \mu_A(z) dz \dots\dots\dots(10)$$

dengan $\alpha = \min\{z|z \in Z\}$ dan $\beta = \max\{z|z \in Z\}$

3) *Mean of Maximum (MOM)*

Nilai tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Secara umum dituliskan seperti Persamaan 11.

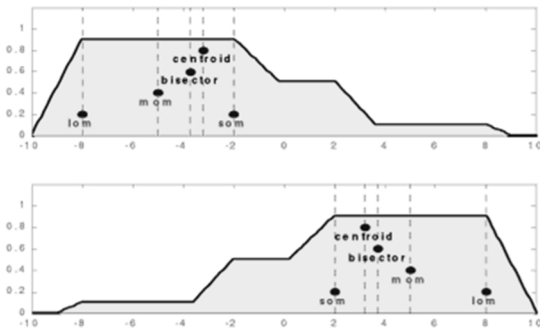
$$Z_{MOM} = \frac{\int_{z_1} z dz}{\int_{z_1} dz} \dots\dots\dots(11)$$

4) *Largest of Maximum (LOM)*

Nilai tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

5) *Smallest of Maximum (SOM)*

Nilai tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.



Gambar 6. Variasi Metode Defuzzifikasi untuk Mendapatkan Angka Keluaran Tegas

f. Simulasi dan Hasil

Pada penelitian ini simulasi dilakukan dengan menggunakan *toolbox* Matlab. Simulasi yang dilakukan hanya sebatas pada penentuan jumlah waktu hijau (GT) yang dikeluarkan oleh sistem *fuzzy*. Sistem *fuzzy* pada simulasi ini menggunakan metode Mamdani dengan beberapa metode defuzzifikasi, yaitu *Centroid*, *Bisector*, *Mean of Maximum (MOM)*, *Largest of Maximum (LOM)* dan *Smallest of Maximum (SOM)*. Simulasi dilakukan dengan beberapa variasi masukan yang sama untuk metode defuzzifikasi yang berbeda. Tujuan dari simulasi

ini adalah untuk membandingkan keluaran sistem *fuzzy* dari beberapa metode defuzzifikasi yang berbeda. Untuk selanjutnya metode defuzzifikasi tersebut akan diterapkan pada sistem pengatur lampu lalu lintas adaptif. Adapun hasil perbandingan dari beberapa metode defuzzifikasi tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Keluaran Sistem Fuzzy dari Beberapa Metode Defuzzification

| No | Masukan | | | Keluaran | | | | |
|----|--------------------|-----------|-----------|------------|------|------|------|------|
| | NVP smp/ mnt | NV smp | WT dtk | GT (detik) | | | | |
| | | | | Cen | Bi | Mom | Lom | Som |
| 1 | 5 | 4 | 40 | 10 | 10 | 10 | 14.4 | 5.6 |
| 2 | 10 | 4 | 40 | 10 | 10 | 10 | 14.4 | 5.6 |
| 3 | 15 | 4 | 40 | 10 | 10 | 10 | 14.4 | 5.6 |
| 4 | 5 | 10 | 40 | 10 | 10 | 10 | 14.4 | 5.6 |
| 5 | 10 | 10 | 40 | 10 | 10 | 10 | 14.4 | 5.6 |
| 6 | 15 | 10 | 40 | 10 | 10 | 10 | 14.4 | 5.6 |
| 7 | 5 | 12 | 40 | 13.3 | 12.4 | 10 | 16 | 4 |
| 8 | 10 | 12 | 40 | 17.3 | 14.8 | 10 | 16 | 4 |
| 9 | 15 | 12 | 40 | 17.3 | 14.8 | 10 | 16 | 4 |
| 10 | 5 | 16 | 40 | 16.3 | 17.2 | 20 | 24.8 | 15.2 |
| 12 | 10 | 16 | 40 | 23.3 | 25.6 | 30 | 34.4 | 25.6 |
| 13 | 15 | 16 | 40 | 23.2 | 23.2 | 37.6 | 40 | 35.2 |
| 14 | 10 | 12 | 15 | 17.2 | 14.4 | 10 | 16 | 4 |
| 15 | 10 | 12 | 60 | 17.3 | 14.8 | 10 | 16 | 4 |
| 16 | 10 | 12 | 90 | 13.3 | 12.4 | 10 | 16 | 4 |
| 17 | 10 | 12 | 120 | 12.5 | 11.6 | 10 | 16 | 4 |
| 18 | 10 | 12 | 170 | 7.78 | 6.4 | 3 | 6 | 0 |
| 19 | 10 | 5 | 90 | 10 | 10 | 10 | 12.4 | 7.6 |
| 20 | 10 | 15 | 90 | 16.6 | 17.6 | 20 | 24.8 | 15.2 |
| 21 | 10 | 20 | 90 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 22 | 10 | 25 | 90 | 23.4 | 22.4 | 20 | 24.8 | 15.2 |
| 23 | 10 | 35 | 90 | 30 | 30 | 30 | 32.4 | 27.6 |

Tabel 1 data nomor 1 sampai dengan nomor 13 menampilkan data hasil percobaan dengan masukan nilai NVP dan NV yang bervariasi tetapi dengan WT yang sama. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa masukan nilai NVP akan diperhitungkan setelah nilai NV lebih dari 10 atau masuk daerah M (*medium*) dan B (*big*). Ini ditunjukkan dengan adanya perubahan nilai keluaran GT setelah nilai NV lebih dari 10. Hal ini sudah sesuai dengan aturan *fuzzy* yang telah dibuat yaitu nilai NVP akan diperhitungkan setelah keadaan NV masuk dalam daerah M (*medium*) dan B (*big*). Nilai masukan NVP ini akan diperhitungkan sehingga akan berpengaruh terhadap besarnya nilai keluaran GT. Terlihat bahwa pada saat keadaan masukan NV masuk pada daerah M (*medium*) dan B (*big*) jika nilai NVP mengalami peningkatan maka besarnya nilai keluaran GT juga akan mengalami peningkatan. Data pada Tabel 1 data nomor 14 sampai dengan nomor 18 menunjukkan adanya pengaruh besarnya nilai masukan WT terhadap besarnya keluaran GT. Nilai WT (pada fase berikutnya) yang semakin besar akan mengakibatkan nilai GT semakin berkurang. Sedangkan data pada Tabel 1 data nomor 19 sampai dengan nomor 23 menunjukkan adanya pengaruh besarnya nilai masukan NV terhadap besarnya keluaran

GT. Nilai NV yang semakin besar akan mengakibatkan nilai GT semakin besar.

Pada tiap metode defuzzifikasi dengan masukan yang sama, belum tentu menghasilkan keluaran GT yang sama pula. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa besarnya nilai keluaran GT dengan metode *centroid*, *bisector* dan *MOM* memberikan keluaran yang sama saat keadaan masukan NV pada daerah S (*small*). Tetapi saat keadaan masukan NV masuk daerah M (*medium*) besarnya nilai keluaran GT dengan metode *centroid*, *bisector* dan *LOM* akan mengalami peningkatan, sedangkan dengan metode *MOM* dan *SOM* tidak mengalami peningkatan. Sedangkan pada saat keadaan masukan NV masuk pada daerah B (*big*) besarnya nilai keluaran GT dengan semua metode defuzzifikasi akan mengalami peningkatan.

3. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa besarnya nilai keluaran GT berubah-ubah akibat besarnya nilai masukan NVP, NV dan WT yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* dapat memberikan pengaturan yang adaptif pada sebuah sistem pengatur lampu lalu lintas. Metode defuzzifikasi yang berbeda akan menghasilkan keputusan yang berbeda pula pada keluaran sebuah sistem *fuzzy*. Metode defuzzifikasi *centroid* dan *bisector* cenderung menghasilkan keluaran yang halus terhadap adanya perubahan masukan dibandingkan metode *MOM*, *LOM* dan *SOM*. Sehingga pada tahap selanjutnya dari penelitian ini, yaitu untuk implementasi pada sebuah sistem pengaturan lampu lalu lintas dapat diterapkan sebuah sistem *fuzzy* dengan defuzzifikasi menggunakan metode *centroid* atau metode *bisector*.

Daftar Pustaka

- [1] L. Wu, X. Zhang, and Z. Shi, "An Intelligent Fuzzy Control fCrossroads Traffic Light," 2010 Second WRI Glob. Congr. Intell. Syst., pp. 28–32, Dec. 2010
- [2] M. G. H. Kulkarni and M. P. G. Waingankar, "Fuzzy Logic Based Traffic Light Controller," no. August, pp. 8–11, 2007
- [3] U. Feeydca, "Fuzzy Traffic Control: Adaptive Strategies," pp. 506–511
- [4] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis," diakses dari http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&id_subyek=17¬ab=12
- [5] Kementerian Perhubungan, "Transportasi Kota Jakarta Mengkhawatirkan," diakses dari <http://bstp.hubdat.web.id/index.php?mod=detilSorotan&idMenuKiri=345&idSorotan=54>
- [6] A. Hegyi, B. De Schutter, S. Hoogendoorn, R. Babusw, H. Van Zuylent, and H. Schuurmant, "A Fuzzy Decision Support System for Traffic Control Centers," pp. 358–363, 2001
- [7] Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., "Neuro-Fuzzy and Soft Computing," Prentice-Hall International, New Jersey, 1 – 89, 1997
- [8] Novan Parmonangan Simanjuntak "Aplikasi Fuzzy Logic Controller pada Pengontrolan Lampu Lalu Lintas" Makalah IF4058 Topik Khusus Informatika 1 – Sem. II Tahun 2011/2012
- [9] W. Yong, "A cooperative fuzzy control method for traffic lights," vol. 7, pp. 185–188, 2001
- [10] S. Kusumadewi, "Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab", 2002- Graha Ilmu
- [11] O. Castillo, P. Melin, "Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications", 2008- Springer Science & Business Media

Biodata Penulis

Erwan Eko Prasetyo, memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd), Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika Universitas Negeri Yogyakarta, lulus tahun 2012. Saat ini sedang menempuh pendidikan Pasca Sarjana Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Oyas Wahyunggoro, memperoleh gelar Insinyur (Ir) Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 1993. Memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2001. Memperoleh gelar Doctor of Philosophy (Ph.D) dari Universiti Teknologi Petronas, lulus tahun 2011. Saat ini menjadi Dosen di Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Selo Sulisty, memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2000. Memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2000. Memperoleh gelar Master of Science (M.Sc) dari Agder University College, lulus tahun 2003. Memperoleh gelar Doctor of Philosophy (Ph.D) dari Agder University College, lulus tahun 2012. Saat ini menjadi Dosen di Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.