

PENERAPAN LOGIKA *FUZZY* MENGGUNAKAN SISTEM INFERENSI METODE TSUKAMOTO PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS DI PEREMPATAN MANDAN KABUPATEN SUKOHARJO

Kartika Dewayani, Titin Sri Martini, dan Mania Roswitha
Program Studi Matematika FMIPA UNS

Abstrak. Kemacetan lalu lintas adalah salah satu permasalahan yang belum terselesaikan di Indonesia. Pengaturan lalu lintas di Indonesia masih menggunakan sistem otomatis. Salah satu solusinya adalah pengembangan sistem pengaturan lalu lintas. *Fuzzy logic traffic light control (FLTLC)* mampu bekerja sesuai kondisi lalu lintas yang diaturnya. Pada penelitian ini digunakan *FLTLC* dengan sistem inferensi *fuzzy* Tsukamoto. Pada sistem ini *input crisp* diubah menjadi *input fuzzy* kemudian dievaluasi dengan aturan-aturan *fuzzy* yang akhirnya dihasilkan *output* berdasarkan α - *predikat*. Selanjutnya dilakukan defuzzifikasi dengan metode rata-rata terbobot untuk mendapatkan solusi *crisp* sebagai dasar penentuan durasi lampu hijau pada lampu lalu lintas. Kemudian *output* dari *FLTLC* dibandingkan dengan sistem pengaturan lalu lintas otomatis.

Kata Kunci : *lalu lintas, fuzzy logic, sistem inferensi fuzzy Tsukamoto, FLTLC*

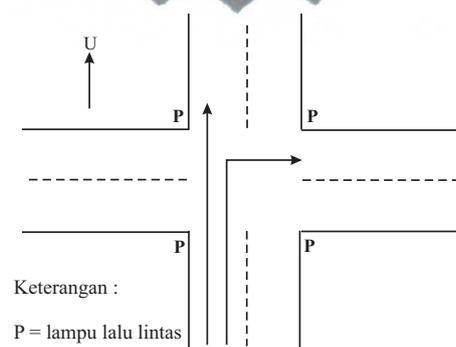
1. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas di Indonesia adalah salah satu permasalahan yang sampai saat ini belum terselesaikan. Banyak solusi yang telah dilakukan, seperti pembuatan jalan tol, pembuatan jalan layang, pembuatan *underpass*, peraturan pembatasan kendaraan yang lewat, pengadaan angkutan massal, serta pengembangan sistem pengaturan lalu lintas. Lampu lalu lintas adalah faktor penting dalam pengaturan transportasi jalan raya (Irawanto dan Kurniawan [2]).

Pengaturan lampu lalu lintas harus sesuai dengan kondisi persimpangan jalan, sehingga lalu lintas menjadi lancar. Kemajuan teknologi dalam bidang transportasi semakin pesat. Pada tahun 2011, Kareem dan Jantan [3] mengembangkan konfigurasi lampu lalu lintas dalam sistem *intelligent traffic light* menggunakan *adaptive associative memory*. Sistem ini memperhatikan kondisi kepadatan lalu lintas untuk menentukan durasi lampu lalu lintas. Namun, sebagian besar lampu lalu lintas di Indonesia masih menggunakan sistem pengaturan otomatis. Sistem pengaturan otomatis adalah sistem pengaturan dengan waktu tunggu tertentu yang sudah ditetapkan. Sistem ini tidak dapat bertahan dengan baik pada kondisi *overload*, yaitu situasi dengan jumlah kendaraan yang melebihi kondisi pada umumnya atau pada kondisi sebaliknya, yaitu jalur dengan waktu tunggu atau durasi lampu merah lama akan tetapi antrian kendaraan sedikit. Hal ini mengurangi efektifitas durasi lampu lalu lintas dan dapat mengganggu aktivitas

pengendara karena kehilangan waktu untuk menunggu. Oleh karena itu, sistem dengan teknologi yang baru perlu dikembangkan untuk mengatasi masalah-masalah tersebut. Sistem dengan teknologi baru yang dapat digunakan adalah penggunaan *fuzzy logic traffic light control (FLTLC)* yang diteliti sebagai sistem pengaturan lalu lintas yang baru.

Pengambilan keputusan *FLTLC* didasarkan pada kondisi lalu lintas yang ada. Pada tahun 2011, Mehan [4] memperkenalkan pengaturan lampu lalu lintas dengan *fuzzy logic signal controller (FLSC)*. *FLSC* digunakan untuk mengatur lalu lintas di empat persimpangan jalan. Pada tahun 2013, Mehta *et al.* [5] mengembangkan sistem pengaturan berbasis logika *fuzzy* dengan metode sistem inferensi *fuzzy* Mamdani yang sangat fleksibel untuk pengaturan lalu lintas. Metode Mamdani menggunakan fungsi *min* untuk mencari nilai keanggotaan *fuzzy* minimum antar himpunan *fuzzy* pada setiap aturan (α – predikat), kemudian digunakan fungsi *max* untuk melakukan komposisi antar semua aturan. Pada penelitian ini, *FLTLC* dengan *fuzzy inference system (FIS)* Tsukamoto diterapkan di perempatan Mandan Kabupaten Sukoharjo. *FIS* Tsukamoto digunakan karena sesuai dengan fungsi keanggotaan *fuzzy* yang monoton. Kondisi lalu lintas di perempatan Mandan direpresentasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi lalu lintas di perempatan Mandan

Pengaturan lampu lalu lintas di perempatan Mandan saat ini menggunakan sistem pengaturan otomatis. Lampu hijau menyala di dua jalur berpelurus. Jika jalur lalu lintas dari arah utara dan selatan bergerak atau berjalan, maka jalur lalu lintas dari arah barat dan timur berhenti. Pada penelitian ini, diasumsikan setiap arah dari utara, selatan, barat, dan timur sebagai sisi yang berbeda. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 43 tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan Bab VIII Pasal 59, jika kendaraan belok kiri,

maka diizinkan jalan terus tanpa memperhatikan lampu lalu lintas. Selanjutnya dilakukan pengamatan kepadatan kendaraan yang melalui perempatan tersebut. Karena terdapat banyak jenis kendaraan, perlu digunakan proporsi sebagai standarisasi untuk semua kendaraan. Berdasarkan standar konstruksi dari Direktorat Jenderal Bina Marga [1], satu mobil diasumsikan satu kendaraan. Untuk kendaraan yang lain, luas kendaraan tersebut diukur dan kemudian dibandingkan dengan standar satu mobil. Hasil pengamatan dijadikan acuan dalam proses perhitungan.

2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer, berupa banyaknya kendaraan dan durasi lampu hijau setiap jalur di perempatan Mandan Kabupaten Sukoharjo. Pengamatan dilakukan tanggal 18-22 April 2016, pada pagi hari pukul 06.30-07.30 WIB, siang hari pukul 11.00-12.00 WIB, dan sore hari pukul 16.00-17.00 WIB. Selanjutnya, ditentukan variabel-variabel *input*, yaitu banyaknya kendaraan jalur yang diatur dan banyaknya kendaraan jalur selanjutnya, serta variabel *output*, yaitu durasi lampu hijau jalur yang diatur. Variabel *input* menggunakan satuan kendaraan. Setelah menentukan variabel-variabel yang digunakan, dibentuk himpunan *fuzzy* sehingga setiap variabel memiliki fungsi keanggotaan. Nilai keanggotaan *fuzzy* dari setiap variabel digunakan untuk membuat inferensi atas aturan-aturan *fuzzy* dengan operator *AND*. Sistem inferensi yang digunakan adalah metode Tsukamoto. Melalui proses inferensi didapat nilai α – *predikat* dari setiap aturan-aturan yang selanjutnya akan digunakan untuk proses defuzzifikasi. Metode rata-rata terbobot dipilih untuk defuzzifikasi sehingga didapat suatu nilai sebagai *output* untuk durasi lampu hijau. Rata-rata terbobot adalah rata-rata yang dihitung dengan memperhitungkan bobot untuk setiap datanya. Kemudian *output* dari *FLTLC* dibandingkan dengan sistem pengaturan lalu lintas otomatis.

3. LOGIKA *Fuzzy*

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output*. Dasar logika *fuzzy* adalah himpunan *fuzzy*. Menurut Zimmerman [6], jika X adalah kumpulan objek yang dinotasikan dengan x , maka himpunan *fuzzy* \tilde{A} dalam X adalah himpunan pasangan berurutan

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$$

dengan $\mu_{\tilde{A}}$ merupakan fungsi keanggotaan dari x , yaitu suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar tingkat keanggotaan suatu elemen (x) dalam suatu himpunan \tilde{A} . Pada penelitian ini dibentuk variabel *input* banyaknya kendaraan jalur yang diatur dan banyaknya kendaraan jalur selanjutnya serta variabel *output* durasi lampu hijau. Setiap variabel mempunyai himpunan *fuzzy*. Misalnya, variabel *input* banyaknya kendaraan jalur yang diatur mempunyai himpunan *fuzzy* : padat, normal, dan tidak padat.

4. PERANCANGAN *FLTLC*

Proses pengamatan dilakukan pada 4 jalur seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Masing-masing jalur memiliki kepadatan lalu lintas yang berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan derajat keanggotaan untuk variabel *input* bisa berbeda. Oleh karena itu akan dibagi menjadi 4 kondisi. Kondisi 1 yaitu ketika jalur yang diatur adalah jalur I. Kondisi 2 yaitu ketika jalur yang diatur adalah jalur II. Kondisi 3 yaitu ketika jalur yang diatur adalah jalur III. Kondisi 4 yaitu ketika jalur yang diatur adalah jalur IV. Sebagai contoh, akan ditentukan durasi lampu hijau pada kondisi 1. Diasumsikan jika jalur yang diatur adalah jalur I maka jalur selanjutnya adalah jalur II. Variabel *fuzzy* dan himpunan *fuzzy* pada kondisi 1 ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Variabel *input* dan *output* beserta *range* himpunan *fuzzy* kondisi 1

Fungsi	Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	<i>Range</i>
<i>Input</i>	Banyaknya kendaraan jalur yang diatur (BKD)	Tidak Padat (TP)	[0,12]
		Normal (N)	[6,18]
		Padat (P)	[12,24]
<i>Input</i>	Banyaknya kendaraan jalur selanjutnya (BKS)	Tidak Padat (TP)	[0,4]
		Padat (P)	[2,6]
<i>Output</i>	Durasi lampu hijau (DL)	Cepat (C)	[0,15]
		Lama (L)	[5,20]

Fungsi keanggotaan setiap *input* dan *output* dari Tabel 1 menggunakan representasi kurva linear naik, kurva segitiga, dan kurva linear turun. Fungsi keanggotaan untuk variabel *input* banyaknya kendaraan jalur yang diatur, yaitu

$$\mu_{TP}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 12; \\ \frac{12-x}{6}, & 6 \leq x \leq 12; \\ 1, & x \leq 6; \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\mu_N(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 18 \text{ atau } x \leq 6; \\ \frac{x-6}{6}, & 6 \leq x \leq 12; \\ \frac{18-x}{6}, & 12 \leq x \leq 18; \end{cases}$$

$$\mu_P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 12; \\ \frac{x-12}{6}, & 12 \leq x \leq 18; \\ 1, & x \geq 18. \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel *input* banyaknya kendaraan jalur selanjutnya, yaitu

$$\mu_{TP}(y) = \begin{cases} 0, & y \geq 4; \\ \frac{4-y}{2}, & 2 \leq y \leq 4; \\ 1, & y \leq 2; \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\mu_P(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 2; \\ \frac{y-2}{2}, & 2 \leq y \leq 4; \\ 1, & y \geq 4. \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel *output* durasi lampu hijau, yaitu

$$\mu_C(z) = \begin{cases} 0, & z \geq 15; \\ \frac{15-z}{5}, & 5 \leq z \leq 15; \\ 1, & z \leq 5; \end{cases} \quad (4.3)$$

$$\mu_L(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 5; \\ \frac{z-5}{10}, & 5 \leq z \leq 15; \\ 1, & z \geq 15. \end{cases}$$

Langkah selanjutnya adalah penentuan aturan-aturan yang digunakan pada kondisi 1. Banyaknya aturan dapat ditentukan dengan mengalikan banyaknya masing-masing himpunan *fuzzy* untuk tiap variabel yaitu $a \times b \times c$, dengan a merupakan banyaknya himpunan *fuzzy* dari variabel BKD, b merupakan banyaknya himpunan *fuzzy* dari variabel BKS dan c merupakan banyaknya himpunan *fuzzy* dari variabel DL. Diperoleh $3 \times 2 \times 2 = 12$ aturan yang dapat dibentuk. Berikut ditampilkan empat aturan untuk kondisi 1.

Aturan 1 : Jika BKD tidak padat dan BKS tidak padat maka DL cepat.

Aturan 2 : Jika BKD tidak padat dan BKS tidak padat maka DL lama.

Aturan 3 : Jika BKD tidak padat dan BKS padat maka DL cepat.

Aturan 4 : Jika BKD tidak padat dan BKS padat maka DL lama.

Setiap aturan dievaluasi menggunakan *FIS* Tsukamoto, sehingga diperoleh α - *predikat* dari setiap aturan-aturan. Sebagai contoh, akan ditentukan α - *predikat* dan *output fuzzy* (z) untuk aturan 1.

Jika BKD tidak padat yaitu 2 kendaraan dan BKS tidak padat yaitu 3 kendaraan maka DL cepat. Karena BKD= 2, digunakan persamaan (4.1) sehingga diperoleh $\mu_{TP}(2) = 1$. Karena BKS= 3, digunakan persamaan (4.2) sehingga diperoleh $\mu_{TP}(3) = 0.5$. Oleh karena itu,

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \min(\mu_{TP}(2), \mu_{TP}(3)) \\ &= 0.5.\end{aligned}$$

Karena durasi lampu cepat, digunakan persamaan (4.3) sehingga diperoleh z_1 .

$$\frac{15 - z_1}{10} = 0.5 \rightarrow z_1 = 10.$$

Aturan 1 hingga aturan 4 adalah aturan yang signifikan. Oleh karena itu, dengan cara yang sama, untuk aturan 2, 3, dan 4 diperoleh $\alpha_2 = 0.5$, $\alpha_3 = 0.5$, dan $\alpha_4 = 0.5$ serta $z_2 = 10$, $z_3 = 10$, dan $z_4 = 10$.

Setelah diperoleh α_k dan z_k , tahap selanjutnya adalah defuzzifikasi menggunakan metode rata-rata terbobot.

$$\begin{aligned}Z &= \frac{\sum_{k=1}^{12} \alpha_k z_k}{\sum_{k=1}^{12} \alpha_k} \\ &= \frac{(\alpha_1 z_1) + (\alpha_2 z_2) + (\alpha_3 z_3) + (\alpha_4 z_4)}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} \\ &= \frac{(0.5 \times 10) + (0.5 \times 10) + (0.5 \times 10) + (0.5 \times 10)}{0.5 + 0.5 + 0.5 + 0.5} \\ &= 10.\end{aligned}$$

Jadi durasi lampu hijau jalur I adalah 10 detik.

5. PERBANDINGAN SISTEM PENGATURAN OTOMATIS DENGAN *FLTLC*

Sistem pengaturan yang digunakan pada perempatan Mandan Kabupaten Sukoharjo adalah sistem pengaturan otomatis. Durasi dari lampu hijaunya yaitu 20 detik, sedangkan durasi untuk lampu merahnya yaitu 25 detik. Kemudian

sistem pengaturan ini akan dibandingkan dengan *output* dari *FLTLC*. Selanjutnya akan ditulis *input* untuk *FLTLC* pada Tabel 2.

Tabel 2. *Input* untuk *FLTLC* dalam satuan kendaraan

Jalur I Hijau Merah	Jalur II Hijau Merah	Jalur III Hijau Merah	Jalur IV Hijau Merah
23.63 -	- 2	- -	- -
- -	3 -	- 0	- -
- -	- -	1 -	- 2.5
- 0.5	- -	- -	2.75 -
3.74 -	- 2	- -	- -
- -	2.25 -	- 0.75	- -
- -	- -	1.25 -	- 0
- 0.75	- -	- -	1.75 -
4.29 -	- 0.75	- -	- -
- -	1 -	- 0.75	- -

Tabel 2 baris pertama menunjukkan bahwa lalu lintas jalur I mendapat giliran lampu hijau dan jalur II mendapat giliran lampu merah. Banyaknya kendaraan jalur I adalah 23,63 kendaraan dan banyaknya kendaraan jalur II adalah 2 kendaraan. Selanjutnya diperoleh durasi lampu hijau dengan cara yang sama pada Bagian 4. Durasi lampu hijau untuk masing-masing jalur dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Output* dari *FLTLC* dalam satuan detik

Jalur I	Jalur II	Jalur III	Jalur IV
10	-	-	-
-	10	-	-
-	-	7,5	-
-	-	-	10
10	-	-	-
-	10	-	-
-	-	7,5	-
-	-	-	10
10	-	-	-
-	10	-	-

Tabel 3 baris pertama menunjukkan bahwa jalur I mendapat giliran lampu hijau dengan durasi lampu hijau adalah 10 detik. Melalui hasil penjumlahan

durasi lampu hijau pada Tabel 3, didapat hasil 95 detik sedangkan sistem kontrol otomatis memerlukan waktu 10×20 detik = 200 detik.

6. KESIMPULAN

FLTLC memberikan durasi lampu hijau yang lebih sedikit daripada sistem pengaturan lalu lintas otomatis. Dapat dikatakan bahwa *FLTLC* lebih efisien daripada sistem pengaturan lalu lintas otomatis. *FLTLC* mampu bekerja sesuai dengan kondisi lalu lintas. Oleh karena itu *FLTLC* dapat menjadi solusi baru untuk pengaturan lalu lintas.

PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum. *Standar Geometri dan Jalan Perkotaan*, RSNI T-14-2004.
- [2] Irawanto, B., dan D. Kurniawan, *Penerapan Sistem Inferensi Metode Min-Max dalam Logika Fuzzy untuk Pengaturan Traffic Light*, Jurnal Sains dan Matematika **Vol. 18** (2010), 27-36.
- [3] Kareem, E. I. A., and A. Jantan, *An Intelligent Traffic Light Monitor System using an Adaptive Associative Memory*, International Journal of Information Processing and Management **Vol. 2** (2011), 23-39.
- [4] Mehan, S., *Introduction of Traffic Light Controller with Fuzzy Control System*, International Journal of Electronics and Communication Technology **Vol. 2** (2011), 119-122.
- [5] Mehta, S., K. Soundararajan, U. Eranna, and Bharathi, S.H., *Intelligent System for Automated Traffic Signal Control Using Fuzzy Mamdani Model*, International Journal of Emerging Trends and Technology in Computer Sciece **Vol. 2** (2013), 126-129.
- [6] Zimmermann, R., *Fuzzy Sets Theory and Its Application*, 2nded, Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, 1991.