
Optimalisasi *Traffic Light* Berdasarkan Kepadatan Kendaraan dengan Teknik *Edge Detection Operator Sobel* dan Metode *Fuzzy Logic Sugeno* (Studi Kasus: Jalan Margorejo Indah)

Azimatul Chusnia Sayyidah¹, Wika Dianita Utami²

¹UIN Sunan Ampel Surabaya, azimatulchusnia@gmail.com

²UIN Sunan Ampel Surabaya, wikadianita@uinsby.ac.id

Abstrak: Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu dari sekian banyak permasalahan kota-kota besar di Indonesia yang perlu ditangani. Salah satu bentuk kemacetan adalah adanya antrian kendaraan pada simpang waktu tunggu lampu lalu lintas. Oleh karena itu, upaya yang dapat digunakan untuk mengurangi kemacetan yaitu membangun sistem pengontrol lampu lalu lintas yang lebih baik atau efisien untuk mengatur lalu lintas di persimpangan jalan. Sistem lampu lalu lintas yang diperlukan adalah yang dapat mengatur waktu dan lama nyala lampu lalu lintas yang disesuaikan dengan kondisi kepadatan jalan raya yang tidak padat, normal, padat, dan sangat padat. Jalan Margorejo Indah Kota Surabaya merupakan persimpangan yang mengalami kondisi kemacetan atau antrian kendaraan di jam tertentu. Optimalisasi durasi lampu hijau dapat diterapkan dengan menggunakan data gambar citra yang disimulasikan dengan metode *edge detection operator Sobel* dihasilkan nilai batasan untuk kemudian diolah dengan logika *fuzzy Sugeno*. Hasil yang diperoleh lama durasi lampu hijau yang diperoleh yaitu 37 detik dengan memperhatikan kondisi jalan raya.

Kata Kunci: *lampu lalu lintas, edge detection operator Sobel, logika fuzzy Sugeno*

Abstract: *Traffic jam is one of the many problems of major cities in Indonesia that need to be solved. One form of traffic jam is long queues at traffic light. Therefore, an effort that can be used to reduce traffic jam is to build a better or efficient traffic light control system to manage traffic at a crossroads. A traffic light system that is needed is one that can adjust the time and duration of the traffic lights that are adjusted to the density of road conditions that are not dense, normal, congested, and very dense. Margorejo Indah street at Surabaya is a district that have traffic jam or long queues at certain hours. Optimization of the duration of the green light can be applied by using image data that is simulated with the edge detection method of the sobel operator resulting boundary values to then be processed with Sugeno fuzzy logic. The results obtained for a long duration of green light obtained were 37 seconds with regard to road conditions*

Keywords: *traffic light, edge detection operator Sobel, fuzzy logic Sugeno*

1. Pendahuluan

Kemacetan adalah situasi tersendatnya atau terhentinya arus lalu lintas yang disebabkan terhambatnya mobilitas kendaraan. Masalah kemacetan lalu lintas nampaknya sudah menjadi semacam ciri khusus kota-kota besar di negara berkembang, termasuk Indonesia [13]. Kemacetan lalu lintas disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu perbandingan jumlah kendaraan dengan ruas jalan yang tersedia tidak seimbang, jumlah kendaraan pribadi yang terus meningkat, adanya parkir liar, kurangnya kesadaran dalam penggunaan transportasi umum dan terkadang adanya kecelakaan lalu lintas. Metode yang paling penting dan efektif untuk mengatur lalu lintas di persimpangan adalah dengan menggunakan *traffic light* [7]. Akan tetapi antrian kendaraan di persimpangan *traffic light* juga rentan terhadap kemacetan. Kemacetan yang terjadi dengan seiring berjalannya waktu akan menjadi masalah yang cukup serius. Hal ini dikarenakan kemacetan menimbulkan berbagai dampak negatif atau kerugian yang besar bagi pengguna jalan raya, seperti halnya pemborosan waktu dan tenaga, pemborosan bahan bakar, dan polusi udara yang meningkat dan rendahnya kenyamanan berlalu lintas [13].

Data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2017 menyatakan bahwa jumlah kendaraan di Surabaya untuk sepeda motor sebanyak 113.030.793 dan untuk mobil sebanyak 15.493.068 dan untuk angkutan umum sebanyak 7.523.550 [3]. Salah satu titik jalan di Surabaya yang sering dilanda kemacetan yaitu Jalan Margorejo Indah. Kemacetan sering terjadi karena menumpuknya kendaraan di Jalan Margorejo Indah sebab berada disekitar pusat perbelanjaan, SDN Margorejo V, SDN Margorejo I, UIN Sunan Ampel Surabaya, pabrik-pabrik dan adanya perlintasan kereta api. Volume kendaraan meningkat di jam aktivitas yakni pagi pukul 8.00-10.00 WIB dan sore pukul 15.00-18.00 WIB. Faktor penyebab padatnya antrian kendaraan adalah sistem lampu lalu lintas dikawasan tersebut memiliki durasi lampu hijau yaitu 27 detik dengan pengaturan lalu lintas yang tetap dan tidak memperhatikan kondisi jalan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu solusi yang menerapkan matematika untuk mengatur optimalisasi durasi lampu lalu lintas, khususnya durasi lampu hijau dengan memperhatikan kondisi kepadatan jalan raya yang tidak padat, normal, padat, dan sangat padat.

Deteksi tepi (*edge detection*) merupakan salah satu pengolahan citra pendeteksi tepi yang bisa digunakan untuk mendeteksi kepadatan kendaraan. Metode ini merupakan metode pemfilteran objek untuk mengambil informasi bagian tepi objek yang berupa data biner. Tepi menjadi ciri-ciri dari batas-batas objek sehingga berguna untuk proses identifikasi dan segmentasi objek dalam citra. Tujuan pendeteksi tepi adalah meningkatkan penampakan garis batas suatu daerah atau objek di dalam citra. Salah satu metode deteksi tepi adalah operator Sobel. Operator Sobel merupakan metode yang paling banyak digunakan sebagai pelacak tepi karena kesederhanaan. Kelebihan dari metode ini adalah kemampuan untuk mengurangi *noise* sebelum melakukan perhitungan deteksi tepi [2].

Metode *fuzzy logic sugeno* dapat diterapkan sebagai metode pengatur lampu lalu lintas menjadi lebih efektif daripada pengaturan berbasis waktu. Pengaturan lampu lalu lintas dengan *fuzzy logic control sugeno* sangat mempertimbangkan faktor tingkat kepadatan lalu lintas dan mampu memberikan durasi lampu hijau yang tepat kepada jalur-jalur yang lebih padat kendaraan. Penelitian terdahulu menerapkan metode *edge detection* dan logika fuzzy untuk membuat pemodelan *traffic light* [15], penerapan fuzzy Sugeno untuk menentukan durasi tiap fase pada pengaturan lampu lalu lintas di simpang Lamper Gajah Kota Semarang [12], perbandingan kinerja lampu lalu lintas metode fuzzy tipe Sugeno dengan metode waktu tetap [14], implementasi logika fuzzy untuk lampu lalu lintas [6][10], penerapan fuzzy Sugeno untuk menentukan hal terbaik [5][11].

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan optimalisasi durasi *traffic light* di Jalan Margorejo Indah dengan menggunakan data citra dimana mengaplikasikan deteksi tepi dengan operator Sobel dan mempertimbangkan kondisi jalan raya berdasarkan kategori

kendaraan, yaitu sepeda motor, mobil, dan angkutan umum. Serta menggunakan sebuah sistem *fuzzy logic control sugeno* untuk menentukan durasi waktu lampu hijau.

2. Kajian Teori

2.1 Citra Digital

Citra adalah suatu representasi, kemiripan, atau imitasi dari suatu objek atau benda. Citra sebagai *output* dari suatu sistem perekamana data dapat berifat optik berupa foto, analog berupa sinyal video seperti gambar pada monitor, dan digital yang dapat langsung disimpan pada media penyimpanan. Citra dapat dikatakan sebagai citra digital jika citra tersebut disimpan dalam format digital (dalam bentuk file). Citra digital tersusun dalam bentuk *grid*. Sebuah citra digital dapat dinyatakan dalam bentuk matriks yang terdiri dari M kolom N baris, dimana perpotongan antara kolom dan baris disebut piksel (yaitu elemen terkecil dari sebuah citra) [1]. Piksel mempunyai dua parameter, yaitu koordinat dan intensitas atau warna. Nilai yang terdapat pada koordinat (x, y) adalah $f(x, y)$, yaitu besar intensitas atau warna dari piksel di titik itu. Oleh sebab itu, sebuah citra digital dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, M - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, M - 1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N - 1,0) & f(N - 1,1) & \dots & f(N - 1, M - 1) \end{bmatrix}$$

2.2 Deteksi Tepi (Edge Detection)

Deteksi Tepi (*Edge Detection*) pada suatu citra adalah suatu proses yang menghasilkan tepi-tepi dari objek-objek citra. Tujuan deteksi tepi adalah untuk menandai bagian yang menjadi detail gambar/citra untuk memperbaiki detail dari gambar/citra yang blur, yang terjadi karena adanya efek dari proses akuisisi citra. Tepi adalah perubahan nilai intensitas derajat keabuan yang mendadak (besar) dalam jarak yang singkat. Suatu titik (x, y) dikatakan sebagai tepi (*edge*) dari suatu citra apabila titik tersebut mempunyai perbedaan yang tinggi dengan tetangganya [4].

2.3 Operator Sobel

Deteksi tepi operator Sobel diperkenalkan oleh Irwin Sobel pada tahun 1970. Operator Sobel paling banyak digunakan sebagai pelacak tepi karena kesederhanaan dan keampuannya. Kelebihan dari metode ini adalah kemampuan untuk mengurangi noise sebelum melakukan perhitungan deteksi tepi. Operator Sobel melakukan perhitungan secara 2D terhadap suatu ruang di dalam sebuah citra. Operator ini biasanya digunakan untuk mencari gradien dari masing-masing piksel citra input yang telah dikonversi ke *grayscale* sebelumnya [2]. Operator Sobel terbentuk dari matriks berukuran 3x3. Berikut matriks pengaturan piksel di sekitar piksel:

$$\begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ a_7 & (x, y) & a_3 \\ a_6 & a_5 & a_4 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan susunan piksel tetangga tersebut, besaran gradien yang dihitung menggunakan operator Sobel sebagai berikut:

$$M = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

dimana M adalah besaran gradien operator Sobel, G_x adalah gradien Sobel arah horizontal dan G_y adalah gradien Sobel arah vertikal. Adapun M adalah besar gradien di titik tengah kernel dan turunan parsial dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$G_x = (a_2 + ca_3 + a_4) - (a_0 + ca_7 + a_6)$ dan $G_y = (a_0 + ca_1 + a_2) - (a_6 + ca_5 + a_4)$ dimana $c=2$. Adapun implementasi mask untuk G_x dan G_y sebagai berikut:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ dan } G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

2.4 Logika Fuzzy

Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Dalam logika fuzzy terdapat fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1 [8]. Salah satu aplikasi logika fuzzy yang telah berkembang amat luas dewasa ini adalah sistem inferensi fuzzy (*Fuzzy Inference System/FIS*), yaitu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy berbentuk IF THEN, dan penalaran fuzzy. Ada tiga metode dalam sistem inference fuzzy yang sering digunakan yaitu Tsukamoto, Mamdani, dan Takagi Sugeno.

2.5 Fungsi Keanggotaan

Derajat keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (disebut fungsi keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Derajat keanggotaan sebuah variabel x dilambangkan dengan simbol $\mu(x)$. Aturan-aturan (*rules*) menggunakan nilai keanggotaan sebagai faktor bobot untuk menentukan pengaruhnya pada saat melakukan inferensi dalam menarik kesimpulan [8]. Beberapa fungsi keanggotaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan untuk kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{b-a}{x-a}, & a < x < b \\ \frac{b-x}{c-b}, & b < x < c \\ 1, & x = b \end{cases}$$

dimana a, c adalah nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol, b adalah nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu dan x adalah *input* yang akan diubah kedalam bilangan fuzzy.

2. Kurva Bahu

Fungsi keanggotaan untuk kurva bahu kiri adalah sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

dimana a adalah nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol, b adalah nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu dan x adalah *input* yang akan diubah kedalam bilangan fuzzy.

Fungsi keanggotaan untuk kurva bahu kanan adalah sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b}, & b < x < c \\ 1, & x \geq c \end{cases}$$

dimana b adalah nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol, c adalah nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu dan x adalah *input* yang akan diubah kedalam bilangan fuzzy.

2.6 Logika Fuzzy Sugeno

Output (konsekuen) dari logika fuzzy Sugeno tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Michio Sugeno mengusulkan penggunaan singleton sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuen. Singleton adalah sebuah himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang pada titik tertentu mempunyai sebuah nilai dan 0 di luar titik tersebut. Ada 2 model fuzzy metode Sugeno yaitu [9]:

a. Model Fuzzy Sugeno Orde-Nol

Secara umum bentuk model Fuzzy Sugeno Orde Nol sebagai berikut:

IF $(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \circ \dots \circ (x_N \text{ is } A_N)$ THEN $z = k$ dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke- i sebagai antesenden dan k adalah suatu konstanta sebagai konsekuen.

b. Model Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Secara umum bentuk model Fuzzy Sugeno Orde-Satu sebagai berikut:

IF $(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \circ \dots \circ (x_N \text{ is } A_N)$ THEN $z = p_1 * x_1 + \dots + p_N * x_N + q$ dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke- i sebagai antesenden, dan p_i adalah suatu konstanta ke- i dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuen.

Berdasarkan model fuzzy tersebut, ada tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam implementasi metode Sugeno yaitu:

1) Pembentukan himpunan fuzzy

Pada tahapan ini variabel *input* dari sistem fuzzy ditransfer ke dalam himpunan fuzzy untuk dapat digunakan dalam perhitungan nilai kebenaran dari premis pada setiap aturan dalam basis pengetahuan. Dengan demikian tahap ini mengambil nilai-nilai tegas dan menentukan derajat di mana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan fuzzy yang sesuai.

2) Aplikasi fungsi implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah sebagai berikut: IF x is A THEN y is B dengan x dan y adalah scalar dan A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai antesenden sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy seperti, IF $(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \circ \dots \circ (x_N \text{ is } A_N)$ THEN y is B dengan \circ adalah operator (misal: OR atau AND). Secara umum fungsi implikasi yang dapat digunakan yaitu Min (*minimum*) dimana fungsi ini akan memotong output himpunan fuzzy dan Dot (*product*) dimana fungsi ini akan menskala *output* himpunan fuzzy.

Pada metode Sugeno, fungsi implikasi yang digunakan adalah fungsi Min.

3) Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy yang dihasilkan dari proses komposisi dan *output* adalah sebuah nilai. Untuk aturan IFTHEN fuzzy dalam persamaan $RU(k) = \text{IF } x_1 \text{ is } A_{1k} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{nk} \text{ THEN } y \text{ is } B_k$, dimana A_{1k} dan B_k berturut-turut adalah himpunan fuzzy dalam U dan V (U dan V adalah domain fisik), $i = 1, 2, \dots, n$ dan $x = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ U dan y V berturut-turut adalah variabel *input* dan *output*

(*linguistik*) dari sistem fuzzy. Pada persamaan di atas didefinisikan sebagai suatu pemetaan dari himpunan fuzzy B ke dalam V, R (yang merupakan *output* dari inferensi fuzzy) ke titik tegas $y * V$. Pada metode Sugeno *defuzzification* dilakukan dengan perhitungan *Weight Average* (WA):

$$WA = \frac{\alpha_1 * z_1 + \alpha_2 * z_2 + \alpha_3 * z_3 + \alpha_4 * z_4 + \alpha_5 * z_5 + \dots + \alpha_n * z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \dots + \alpha_n}$$

dimana WA adalah ilai rata-rata, α_n adalah nilai predikat aturan ke- n dan z_n adalah indeks nilai *output* (konstanta) ke- n .

3. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu penelitian kuantitatif, karena di dalam penelitian menganalisa data dengan menggunakan data yang berupa angka. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa citra yang sudah ada diolah berdasarkan kebutuhan agar dapat dijadikan sebuah *input* serta akan dijadikan uji sistem. Nilai pada deteksi citra digunakan untuk batasan *input* yaitu jalan yang diatur dan jalan selanjutnya sedangkan untuk *output* berupa durasi baru lampu hijau. Adapun tahapan analisis data dalam penelitian untuk mencapai tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Input data citra
Data yang digunakan berupa data gambar atau citra yang diambil dari di Jalan Margorejo Indah.
2. Menentukan nilai dengan metode *edge detection* dan operator Sobel
Dari data pengambilan citra dengan kondisi jalan raya tersebut untuk menentukan nilai batasan atau nilai citra pada Jalan Kendaraan Diatur (JKD) dan Jalan Kendaraan Selanjutnya (JKS) digunakan metode operator Sobel dengan *software* komputer.
3. Menentukan himpunan fuzzy
Pada pembentukan himpunan fuzzy diperlukan nilai masing masing keanggotaannya. Nilai keanggotaan didapatkan dari acuan atau berdasarkan orang yang ahli untuk menetapkan nilai domain dari variabel JKD dan JKS, untuk nilai batasan didapat dari hasil citra sebelumnya.
4. Menentukan fungsi keanggotaan
Pada tahap ini dilakukan untuk menentukan nilai derajat atau memetakan nilai variabel ruang input ke dalam nilai keanggotaannya dalam range 0 sampai 1.
5. Pembentukan *Rules*
Pada tahap ini *rules* juga disebut dengan inferensi, didapatkan *rules* dari aturan-aturan yang telah ditetapkan pada basis *rules* untuk menghubungkan antara peubah-peubah yang digunakan untuk pengambilan keputusan dengan cara IF-THEN.
6. Defuzzifikasi
Pada tahap ini diperoleh nilai *output* atau hasil keluaran dari hasil pembentukan fuzzy, pembentukan *rules* menjadi suatu bilangan yang merupakan himpunan fuzzy dari data tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Data Deteksi Tepi Citra

Pada analisis deskriptif data ini, pengambilan data gambar pada kondisi tingkat kemacetan di Jalan Margorejo Indah yang diproses menggunakan pengolahan citra atau deteksi tepi operator Sobel dengan guide pada *software* komputer.



Gambar 1. Kondisi Kendaraan Jalan Margorejo Indah

Gambar 1 menunjukkan bahwa kondisi kendaraan di JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur) yaitu dengan nilai citra 4.7471 dan kondisi kendaraan di JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya) dengan nilai citra 3.15552.

4.2 Pembentukan Himpunan Fuzzy

4.2.1 Himpunan Fuzzy

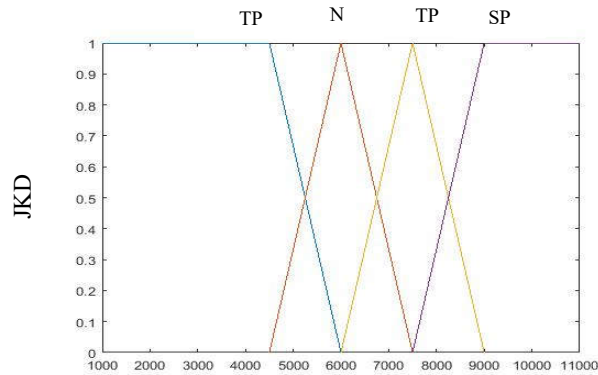
Pembentukan himpunan fuzzy terdiri atas dua input yaitu JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur) dan JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya) dan bagian *output* adalah LH (Lama Waktu Hijau).

Tabel 1. Himpunan Fuzzy

Fungsi	Variabel	Himpunan	Domain
Input 1	JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur)	TP (tidak padat)	[0,60]
		N (normal)	[4500,75]
		P (padat)	[6000,90]
		SP (sangat padat)	[7500,11]
Input 2	JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya)	TP (tidak padat)	[0,60]
		N (normal)	[4500,75]
		P (padat)	[6000,90]
		SP (sangat padat)	[7500,11]
Output	LH (Lama Lampu Hijau)	C (cepat)	[20]
		S (sedang)	[60]
		L (lama)	[80]

4.2.2 Fungsi Keanggotaan

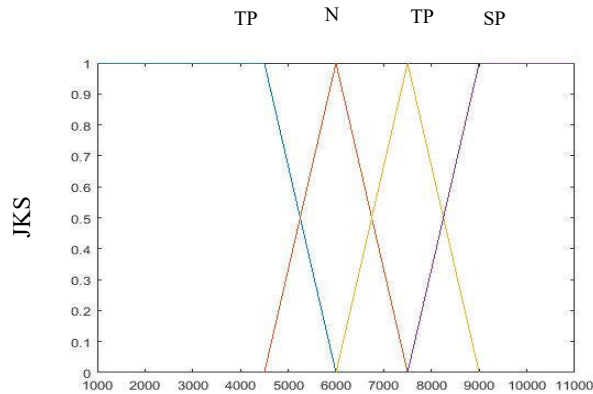
Fungsi keanggotaan atau derajat keanggotaan terdiri dari JKD (Jumlah Kendaraan yang Diatur), JKS (Jumlah Kendaraan Selanjutnya) dan memiliki *output* LH (Lama Lampu Hijau).



Gambar 2. JKD (Jalan Kendaraan Diatur)

Berdasarkan Gambar 2 terdapat variabel *input* pertama JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur) dengan nilai citra 4747 dan 4 parameter yaitu TP (Tidak Padat), N (Normal), P (Padat), SP (Sangat Padat). Berdasarkan parameter JKD akan didapatkan fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{TP}[JKD] &= \frac{6000 - 4747}{6000 - 4500} = \frac{1253}{1500} = 0,836 & \mu_P [JKD] &= 0 \\ \mu_N [JKD] &= \frac{4747 - 4500}{6000 - 4500} = \frac{247}{1500} = 0,164 & \mu_{SP} [JKD] &= 0 \end{aligned}$$



Gambar 3. JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya)

Berdasarkan Gambar 3 terdapat variabel *input* pertama JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya) dengan nilai citra 3156 dan 4 parameter yaitu TP (Tidak Padat), N (Normal), P (Padat), SP (Sangat Padat). Berdasarkan parameter JKS akan didapatkan fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{TP}[JKS] &= \frac{4500 - 3156}{6000 - 4500} = \frac{1344}{1500} = 0,896 & \mu_P [JKS] &= 0 \\ \mu_N [JKS] &= \frac{6000 - 3156}{6000 - 4500} = \frac{2844}{3000} = 0,948 & \mu_{SP} [JKS] &= 0 \end{aligned}$$

4.2.3 Pembentukan Rules pada Fuzzy

Berdasarkan Tabel 1 dapat dibentuk rules atau aturan sebagai berikut:

1. IF (JKD) Tidak Padat AND (JKS) Tidak Padat THEN (LH) Cepat.
2. IF (JKD) Tidak Padat AND (JKS) Normal THEN (LH) Cepat.
3. IF (JKD) Normal AND (JKS) Tidak Padat THEN (LH) Sedang.

4. IF (JKD) Normal AND (JKS) Normal THEN (LH) Sedang.
5. IF (JKD) Tidak Padat AND (JKS) Padat THEN (LH) Cepat.
6. IF (JKD) Tidak Padat AND (JKS) Sangat Padat THEN (LH) Cepat.
7. IF (JKD) Normal AND (JKS) Tidak Padat THEN (LH) Sedang.

Berdasarkan *rules* tersebut didapatkan aturan-aturan yang dipakai untuk menentukan nilai predikat min dari fungsi keanggotaan JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur) dan JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya). Adapun *rules* yang terbentuk adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan *rule* ke-1

IF JKD = TP, AND JKS = TP, THEN DL= C

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \mu_{JKD} \cap \mu_{JKS} \\ &= \min(\mu_{TP}[4747]; \mu_{TP}[3156]) \\ &= \min[0,836; 0,896] \\ &= 0,836\end{aligned}$$

$$z_1 = \text{Cepat} = 20$$

2. Perhitungan *rule* ke-2

IF JKD = TP, AND JKS = N, THEN DL= C

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= \mu_{JKD} \cap \mu_{JKS} \\ &= \min(\mu_{TP}[4747]; \mu_{TP}[3156]) \\ &= \min[0,836; 0,948] \\ &= 0,836\end{aligned}$$

$$z_2 = \text{Cepat} = 20$$

3. Perhitungan *rule* ke-3

IF JKD = N, AND JKS = TP, THEN DL= S

$$\begin{aligned}\alpha_3 &= \mu_{JKD} \cap \mu_{JKS} \\ &= \min(\mu_N[4747]; \mu_{TP}[3156]) \\ &= \min[0,164; 0,896] \\ &= 0,164\end{aligned}$$

$$z_3 = \text{Sedang} = 60$$

⋮
⋮

7. Perhitungan *rule* ke-7

IF JKD = N AND JKS = TP, THEN DL= S

$$\begin{aligned}\alpha_7 &= \mu_{JKD} \cap \mu_{JKS} \\ &= \min(\mu_N[4747]; \mu_{TP}[3156]) \\ &= \min[0,948; 0,896] \\ &= 0,896\end{aligned}$$

$$z_7 = \text{Sedang} = 60$$

4.2.4. Defuzzifikasi

Menghitung *Weight Average* (WA) untuk menentukan durasi lampu hijau (LH).

$$WA = \frac{\alpha_1 * z_1 + \alpha_2 * z_2 + \alpha_3 * z_3 + \alpha_4 * z_4 + \alpha_5 * z_5 + \alpha_6 * z_6 + \alpha_7 * z_7}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7}$$

$$WA = \frac{0,836 * 20 + 0,836 * 20 + 0,164 * 60 + \dots + 0,896 * 60}{0,836 + 0,836 + 0,164 + \dots + 0,896}$$

$$WA = \frac{106,88}{2,896} = 36,9 \text{ detik}$$

Berdasarkan nilai perhitungan dengan *fuzzy logic* Sugeno dengan variabel JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur) dan JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya) diperoleh durasi baru lampu hijau yaitu 36,9 detik yang kemudian dibulatkan menjadi 37 detik.

5. Kesimpulan

Metode *edge detection* operator Sobel yang diterapkan pada suatu citra gambar pada kondisi tingkat kemacetan di Jalan Margorejo Indah diperoleh nilai variabel JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur) yaitu 4.7471 dan JKS (Jalan Kendaraan Selanjutnya) yaitu 3.1552. Hasil perhitungan menggunakan fuzzy Sugeno diperoleh durasi lampu hijau baru dengan memperhatikan JKD (Jalan Kendaraan yang Diatur) (KS (Kondisi Kendaraan Selanjutnya) yaitu 37 detik.

Daftar Pustaka

- [1] Abdul Kadir dan Adhi Susanto, *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, Yogyakarta, 2013.
- [2] Amelia, L dan Marwati, R. “Perbandingan Metode Roberts dan Sobel dalam Mendeteksi Tepi Suatu Citra Digital”, *Jurnal EurekaMatika*, 2013.
- [3] Badan Pusat Statistik, *Data Jumlah Kendaraan di Kota Surabaya tahun 2017*, Badan Pusat Statistik, 2017.
- [4] Barllad, C., Rowan, E., Stephens, S., Kalaria, and R., Kenny, R.A, *Edge Detection*, Yakugaku Zasshi, 1982.
- [5] Hilda, A. A., G.K. Gandhiadi, dan Tjokorda B.O., “Penerapan Metode Fuzzy Sugeno untuk Menentukan Harga Jual Sepeda Motor Bekas”, *E-Jurnal Matematika*, vol. 5, no. 4, pp. 176-182, 2016.
- [6] Juniana, P. dan Lukman H., “Kendali Lampu Lalu Lintas dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Mamdani”, *Jurnal Terapan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 1, pp. 1-10, 2019.
- [7] Kandaga, T. dan Tjahjadi, E., “Aplikasi Simulasi Hubungan Antrian yang Terjadi dan Penentuan Waktu Hidup Lampu Lalu Lintas pada Persimpangan Jalan”, *Jurnal Informatika*, vol. 7, pp 87-97, 2011.
- [8] Kusumadewi, S., *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab (1 ed.)*, Graha Ilmu, 2010.
- [9] Lodewyik, R.D., “Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Berdasarkan Data Persediaan dan Jumlah Permintaan (Studi Kasus: Pabrik Roti Sarinda Ambon)”, *Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 9, no. 2, pp. 121-134, 2015.
- [10] Maslim, M., B. Yudi D., dan Nonety V.S., “Implementasi Metode Logika Fuzzy dalam Pembangunan Sistem Optimalisasi Lampu Lalu Lintas, *Jurnal Buana Informatika*”, vol. 9, no. 1, pp. 11-20, 2018.
- [11] Mukaromah, M., “Penerapan Metode Fuzzy Sugeno untuk Menentukan Jalur Terbaik Menuju Lokasi Wisata di Surabaya”, *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi*, vol. 29, no. 2, pp. 95-101, 2019.
- [12] Muzaroah, S., Mulyono, Muh. Fajar Syafaatullah, dan Isnaini Rosyida, “Aplikasi Pewarnaan Graf Fuzzy dan FIS Tipe Sugeno untuk Menentukan Fase dan Durasi Tiap Fase pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas”, *PRISMA (Prosiding Seminar Nasional Matematika)* 2, pp. 516-525, 2019.
- [13] Nasution, M. Nur, *Manajemen Transportasi*, Jakarta: Ghalia Indonesia, , 2004.

- [14] Prasetyo, E.E., “Perbandingan Kinerja Lampu Lalu Lintas Metode Fuzzy Tipe Sugeno dengan Metode Waktu Tetap”, *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, pp. 43-48, 2016.
- [15] Sutomo, B., “Pemodelan Sistem Kontrol Traffic Light Berdasarkan Kepadatan Kendaraan dengan Teknik Edge Detection dan Logika Fuzzy”, *Jurnal Informatika*, vol. 15, no.2, pp. 116-126, 2015.