



ALGORITMA BEE COLONY DENGAN METODE FUZZY MAMDANI UNTUK PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS

Yusthesia Esta Kurnia✉, Mulyono, dan Rochmad

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Mei 2020
Disetujui Desember 2020
Dipublikasikan Desember 2020

Keyword:

Algoritma Bee Colony;
Metode Fuzzy Mamdani;
Fase Lampu Lalu Lintas;
Durasi Lampu Lalu Lintas;
Fuzzy Logic Toolbox Matlab R2014a

Abstrak

Algoritma *Bee Colony* adalah algoritma yang terinspirasi dari perilaku lebah dalam suatu kelompok untuk mencari makanan, dan dalam penelitian ini diimplementasikan untuk mengatur fase lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya. Setelah fase lampu lalu lintas baru diperoleh kemudian diatur durasi lampu hijau menggunakan metode fuzzy mamdani. Metode fuzzy mamdani adalah salah satu metode dalam FIS untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Variabel input berupa jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah dan variabel output berupa durasi lampu hijau, perhitungan menggunakan bantuan *fuzzy logic toolbox* Matlab R2014a, kemudian diatur durasi lampu lalu lintas dengan lampu kuning 2 detik dan clear 3 detik. Hasil penelitian diperoleh fase lampu lalu lintas baru terdiri 4 fase tanpa adanya tabrakan arus kendaraan dan durasi lampu lalu lintas berubah mengikuti jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah.

Abstract

Bee Colony algorithm is an algorithm that is inspired by the behavior of bees in groups to search for food, and in this study was implemented to manage the traffic light phase at the intersection of Tambak Dalam Raya st., Soekarno Hatta st., Gajah Raya st. After obtaining a new phase of the traffic lights, the duration of the green light is regulated by the Mamdani fuzzy method. The Mamdani fuzzy method is one of the methods in FIS to map the input space to the output space. Variable input consists of the number of cars and motorcycles that stop when the red light and variable output consist of the duration of the green light, calculation using the fuzzy logic toolbox from Matlab R2014a, then adjust the traffic light duration with 2 seconds of yellow light and delete 3 seconds. The result is that the new traffic lights phase consists of 4 phases without a collision of vehicle currents and the duration of the traffic lights changes according to the number of cars and motorcycles that stop at the red light.

How To Cite

Kurnia, Y. E., Mulyono & Rochmad. 2020. Implementasi Algoritma *Bee Colony* dengan Metode Fuzzy Mamdani untuk Pengaturan Lampu Lalu Lintas. *Unnes Journal of Mathematics*, 9(2): 64-73.

© 2020 Universitas Negeri Semarang

PENDAHULUAN

Federal Highway Administration (2005), menjelaskan bahwa ada 7 faktor yang menyebabkan kemacetan, salah satunya kemacetan yang dikarenakan alat pengaturan lalu lintas. Salah satu alat pengaturan lalu lintas adalah lampu lalu lintas yang terpasang di persimpangan. Lampu lalu lintas yang terpasang di persimpangan mempunyai beberapa tujuan antara lain menghindari hambatan karena adanya perbedaan arus jalan bagi pergerakan kendaraan, memfasilitasi pejalan kaki agar dapat menyebrang dengan aman dan tentunya mengurangi tingkat kecelakaan yang diakibatkan adanya tabrakan antar arus yang berbeda, karena fungsi lampu lalu lintas sangat penting maka dibutuhkan pengendalian dan pengontrolan sehingga dapat memperlancar lalu lintas di persimpangan.

Persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya merupakan salah satu dari persimpangan di Kota Semarang yang kurang optimal sebab masih ditemui tabrakan antar arus kendaraan dan durasi lampu lalu lintas konstan yang artinya pengaturan durasi lampu hijau belum memperhatikan jumlah kendaraan yang berhenti saat lampu merah di persimpangan tersebut.

Pewarnaan graf merupakan salah satu bagian dari teori graf. Francis Guthrie merupakan ahli matematika pertama yang melakukan penelitian tentang pewarnaan graf pada tahun 1852. Menurut Munir (2010), pewarnaan graf terdiri dari tiga macam yaitu pewarnaan simpul, pewarnaan sisi dan pewarnaan wilayah. Pada kasus pengaturan fase lampu lalu lintas di persimpangan, untuk diperoleh fase lampu lalu lintas tanpa adanya tabrakan antar arus kendaraan, merupakan pengaplikasian dari pewarnaan simpul.

Pewarnaan simpul adalah menetapkan warna pada masing-masing simpul didalam graf sedemikian sehingga warna pada simpul-simpul yang bertetangga memiliki warna yang berbeda (Patidar & Chakrabarti, 2016). Pewarnaan simpul bukan hanya memberikan warna yang berbeda antar dua simpul yang bertetangga, tetapi warna yang dihasilkan minimum yang disebut bilangan khromatik.

Algoritma *Bee Colony* adalah algoritma yang terinspirasi dari perilaku lebah dalam suatu kelompok untuk mencari makanan (Sireesha, 2014). Dalam kasus pewarnaan algoritma *Bee Colony* sering digunakan untuk mengatur penjadwalan mata pelajaran, algoritma *Bee Colony* juga dapat digunakan

untuk kasus lain, yaitu kasus *Travelling Salesman Problem*.

Logika fuzzy pertama kali diusulkan oleh Lotfi A. Zadeh dari Universitas California pada tahun 1965 (Kamboj & Kaur, 2013). Menurut Kusumadewi & Purnomo (2010), logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Salah satu aplikasi logika Fuzzy yang telah dikembangkan adalah *Fuzzy Inference System* (FIS), yaitu sistem komputasi yang bekerja atas dasar prinsip logika Fuzzy. Salah satu metode dalam FIS yaitu metode Mamdani atau sering disebut metode MAX-MIN. Pada kasus pengaturan durasi lampu hijau di persimpangan, variabel input yang digunakan adalah jumlah kendaraan yang berhenti saat lampu merah dan variabel outputnya adalah durasi lmpu hijau.

Algoritma *Bee Colony* telah digunakan Faraji dan Javadi (2011) untuk masalah perwarnaan graf namun belum diterapkan dalam masalah aplikatifnya. Lara, Flores dan Calderon (2014), Rachmawati, Armay dan Purnomo (2012), dan Tanadi (2013) menggunakan algoritma yang sama untuk menyelesaikan masalah penjadwalan dan Arifin dan Laksito (2019) dan Hermawan, Hidayat dan Setiawan (2017) menggunakan algoritma yang sama dalam masalah *Travelling Salesman Problem*.

Kasus pengaturan lampu lalu lintas telah diselesaikan oleh Meiliana dan Maryono (2014) di Sukoharjo namun dengan algoritma yang berbeda yaitu algoritma *Welch-Powell*. Algoritma *Welch-Powell* juga digunakan Setiawan (2016) untuk menyelesaikan masalah pewarnaan graf di persimpangan Jerakah dan persimpangan STIKES Tlogorejo, Semarang. Marpaung (2019) menyelesaikan masalah pengaturan lampu lalu lintas menggunakan algoritma *Recursive Large First*.

Penelitian dari Meiliana dan Maryono (2014), Setiawan (2016) dan Marpaung (2019) mengambil studi kasus di persimpangan yang sudah bagus, ditunjukkan dari tidak adanya tabrakan antar arus kendaraan di persimpangan yang diteliti dan dalam mengatur durasi lampu lalu lintas di persimpangan yang diteliti belum memperhatikan jumlah kendaraan yang berhenti saat lampu merah di persimpangan.

Trimartanti dan Abadi (2015) dan Yudanto, Apriyadi dan Sanjaya (2013), dua penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk mengatur durasi lampu hijau menyala dengan memperhatikan jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah di persimpangan, dalam penelitian Trimartanti dan Abadi (2015) dan Yudanto, Apriyadi dan

Sanjaya (2013) ukuran jalan di persimpangan diasumsikan memiliki ukuran yang sama.

Perbedaan penelitian penulis dengan penelitian terdahulu adalah menerapkan prinsip pewarnaan simpul dengan algoritma *Bee Colony* untuk mengatur fase lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya, Kota Semarang, penelitian ini memilih persimpangan yang masih ditemui adanya tabrakan antar arus kendaraan, penelitian ini juga mengatur durasi lampu lalu lintas pada fase lampu lalu lintas baru dengan terlebih dahulu menghitung durasi lampu hijau menggunakan metode fuzzy Mamdani dengan memperhatikan jumlah mobil dan jumlah motor yang berhenti saat lampu merah di persimpangan yang diteliti.

Perbedaan lain dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian sebelumnya algoritma *Bee Colony* digunakan untuk masalah penjadwalan mata pelajaran dan masalah *travelling salesman problem*, dalam kasus pengaturan lampu lalu lintas penelitian sebelumnya diselesaikan dengan algoritma lain yang dalam menghitung durasi lampu hijau belum memperhatikan jumlah kendaraan yang berhenti saat lampu merah persimpangan yang diteliti.

Dalam penelitian ini, penulis meninjau permasalahan mengenai bagaimana hasil implementasi algoritma *Bee Colony* dalam pengaturan fase lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya, perhitungan durasi lampu lalu lintas pada fase lampu lalu lintas baru di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya menggunakan metode Fuzzy Mamdani dan perbandingan sistem lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya sebelum dan sesudah diterapkan algoritma *Bee Colony* dengan Metode Fuzzy Mamdani.

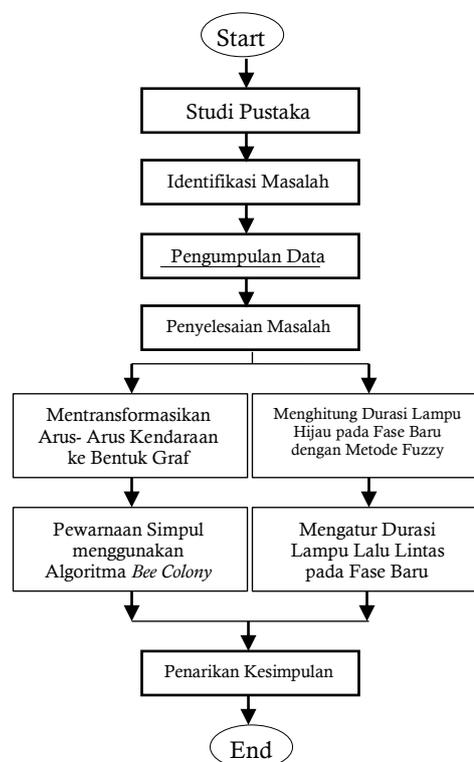
Dari permasalahan tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah mengetahui implementasi algoritma *Bee Colony* dalam pengaturan fase lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya, menentukan durasi lampu lalu lintas pada fase lampu lalu lintas baru di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya menggunakan metode Fuzzy Mamdani, dan mencari perbandingan antara sistem lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya sebelum dan

sesudah diterapkan algoritma *Bee Colony* dengan Metode Fuzzy Mamdani.

METODE

Penelitian mengambil kasus pengaturan lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya pada tiga waktu yang berbeda yaitu pagi hari, siang hari, dan sore hari. Penelitian dilakukan pada bulan Januari-Februari 2019.

Berikut langkah- langkah pelaksanaan penelitian dalam metode penelitian, disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Kerja

Studi pustaka berupa buku, artikel, makalah, jurnal, skripsi dan sebagainya yang berkaitan dengan pewarnaan simpul, algoritma *Bee Colony*, metode Fuzzy Mamdani, Toolbox Matlab R2014a dan hal-hal yang berkaitan dengan pengaturan lampu lalu lintas. Setelah sumber pustaka terkumpul dilanjutkan dengan penelaah isi sumber pustaka tersebut.

Masalah dalam penelitian ini merupakan salah satu aplikasi dari pewarnaan simpul yang di terapkan untuk menyelesaikan masalah pengaturan sistem lampu lalu lintas. Pengaturan sistem lampu lalu lintas dalam penelitian ini yakni, mengatur fase lampu lalu lintas menggunakan algoritma *Bee Colony* dan

mengatur durasi lampu lalu lintas pada fase baru, dengan terlebih dahulu menghitung durasi lampu hijau menggunakan metode Fuzzy Mamdani, dengan memperhatikan jumlah mobil dan jumlah motor yang berhenti saat lampu merah.

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data penelitian ini adalah pengamatan dan pencatatan secara langsung untuk mengambil data primer di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya meliputi, arus- arus kendaraan, fase lampu lalu lintas, durasi lampu lalu lintas, ukuran jalan, jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah di persimpangan simpang empat Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya, sedangkan data ukuran jalan yaitu lebar ruas jalan diukur menggunakan bantuan google earth.

Setelah pengambilan data selesai, maka dilanjutkan langkah penyelesaian masalah berupa mengatur fase lampu lalu lintas menggunakan algoritma *Bee Colony* dan mengatur durasi lampu lalu lintas pada fase baru, dengan terlebih dahulu menghitung durasi lampu hijau menggunakan metode Fuzzy Mamdani dengan memperhatikan jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah. Adapun tahapannya sebagai berikut:

Mengatur Fase Lampu Lalu Lintas menggunakan Algoritma *Bee Colony*

1. Mentransformasikan arus- arus kendaraan ke dalam bentuk graf. Simpul mempresentasikan arus- arus kendaraan sedangkan sisi mempresentasikan arus yang tidak boleh berjalan bersamaan.
2. Mewarnai simpul dengan algoritma *Bee Colony*, yaitu:
 - Pewarnaan simpul pertama random
 - Pewarnaan simpul berikutnya dicari dengan menggunakan fungsi probabilitas:

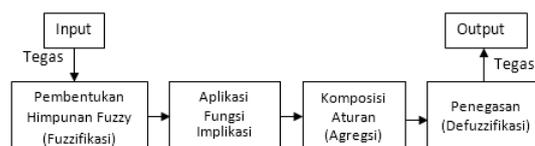
$$P_{v_i, S} = \begin{cases} 0, & v_i \in W_S \\ \frac{d(v_i)}{\sum_{j=1, v_j \in W_S}^N d(v_j)}, & v_i \notin W_S \end{cases} \quad (1)$$

$P_{v_i, S}$ adalah probabilitas simpul v_i yang dipilih, W_S adalah himpunan dari simpul berwarna, N adalah jumlah simpul dalam graf, $w_s(v_i)$ adalah simpul v_i yang berwarna, dan W adalah himpunan warna.
 - Ulangi langkah 2 sampai semua simpul terwarnai
3. Diperoleh fase lampu lalu lintas baru dengan tidak adanya tabrakan antar arus kendaraan dan perbedaan kendaraan di setiap fasenya jelas.

4. Membandingkan fase lampu lalu lintas sebelum dan setelah menggunakan algoritma *Bee Colony*.

Mengatur Durasi Lampu Lalu Lintas pada Fase Baru menggunakan Metode Fuzzy Mamdani

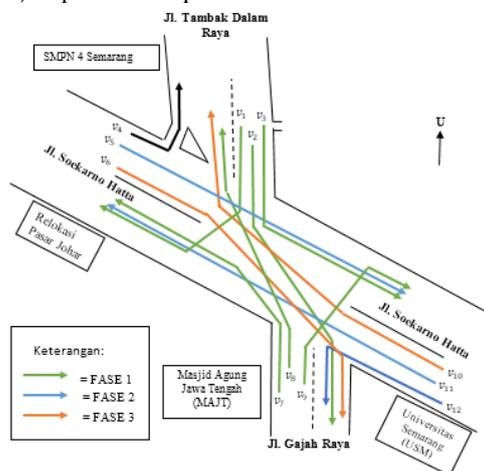
Setelah di peroleh fase lampu lalu lintas baru yang tidak terjadi tabrakan seta perbedaan kendaraan di setiap fasenya jelas, maka diatur durasi lampu lalu lintas pada setiap fase menggunakan metode Fuzzy Mamdani, sebagai berikut:



1. Menentukan FIS *editor* berupa variabel input dan output
2. Terdapat 2 variabel input yaitu, jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah pada fase yang diatur, sedangkan variabel outputnya adalah durasi lampu hijau di fase yang diatur.
3. Menentukan fungsi keanggotaan setiap variabel.
4. Menentukan *rule* pada *rule editor*, berupa fungsi implikasi *IF-THEN* dengan menggunakan fungsi min yang telah diatur pada FIS *editor*, dan operator yang digunakan untuk menghubungkan antara dua variabel input adalah operator *and*.
5. Pada *rule viewer* terdapat proses implikasi FIS tipe Mamdani dengan *rule* yang sesuai dengan *rule* pada *rule editor*, proses agregasi berupa max yang telah diatur pada FIS *editor*, dan proses defuzzifikasi berupa metode Centroid yang telah diatur pada FIS *editor*.
6. Hasil dari defuzzifikasi berupa durasi lampu hijau berdasarkan jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah.
7. Durasi lampu kuning diasumsikan 2 detik, nilai normal waktu antar hijau 5 detik per fase berdasarkan ukuran simpangan (MKJI, 1997), durasi *clear* diperoleh berdasarkan nilai normal waktu antar hijau dikurangi durasi kuning, sehingga diperoleh durasi lampu merah dan total durasi keseluruhan.
8. Membandingkan durasi lampu lalu lintas sebelum dan setelah menggunakan metode Fuzzy Mamdani pada fase lampu lalu lintas baru

HASIL DAN PEMBAHASAN Hasil Penelitian

Hasil Pengamatan selama 7 hari dalam 3 waktu yang berbeda, menunjukkan bahwa sistem lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya memiliki 3 fase, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Fase Lampu Lalu Lintas Saat Ini

Keterangan:

- v_1 : dari arah SMPN 4 ke Pasar Johar
- v_2 : dari arah SMPN 4 ke MAJT
- v_3 : dari arah SMPN 4 ke USM
- v_4 : dari arah Pasar Johar ke SMPN 4
- v_5 : dari arah Pasar Johar ke USM
- v_6 : dari arah Pasar Johar ke MAJT
- v_7 : dari arah MAJT ke Pasar Johar
- v_8 : dari arah MAJT ke SMPN 4
- v_9 : dari arah MAJT ke USM
- v_{10} : dari arah USM ke SMPN 4
- v_{11} : dari arah USM ke Pasar Johar
- v_{12} : dari arah USM ke MAJT

Fase 1 mengatur arus kendaraan di ruas Jl. Tambak Dalam Raya, fase 2 di ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah Pasar Johar, fase 3 di ruas Jl. Gajah Raya, dan fase 4 di ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah USM. Dari Gambar 2 menunjukkan adanya arus yang bertabrakan yang mana arus tersebut merupakan arus di fase 1 yaitu arus v_1 dengan arus v_7 , arus v_1 dengan arus v_8 , arus v_2 dengan arus v_9 , dan arus v_3 dengan v_9 .

Durasi lampu lalu lintas di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Durasi Lampu Lalu Lintas Saat Ini

Fase	Durasi Lampu			Total Durasi (detik)
	Merah (detik)	Kuning (detik)	Hijau (detik)	
Fase 1	73	2	20	95
Fase 2	53	2	40	95
Fase 3	73	2	20	95

Ukuran jalan saat lampu merah di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta – Jl. Gajah Raya berbeda setiap ruasnya, disajikan pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 2 Ukuran Jalan di Ruas Jl. Tambak Dalam Raya

Kondisi	Ukuran Jalan saat Lampu Merah Panjang (m) x Lebar (m)
Maksimum	50 x 5.05
Minimum	5 x 5.05
Rata-Rata	22.21804512 x 5.05

Tabel 3 Ukuran Jalan di Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah Pasar Johar

Kondisi	Ukuran Jalan saat Lampu Merah Panjang (m) x Lebar (m)
Maksimum	127.5 x 7.64
Minimum	12.5 x 7.64
Rata-Rata	47.0018797 x 7.64

Tabel 4 Ukuran Jalan di Ruas Jl. Gajah Raya

Kondisi	Ukuran Jalan saat Lampu Merah Panjang (m) x Lebar (m)
Maksimum	80 x 3.765
Minimum	2.5 x 3.765
Rata-Rata	34.83082707 x 3.765

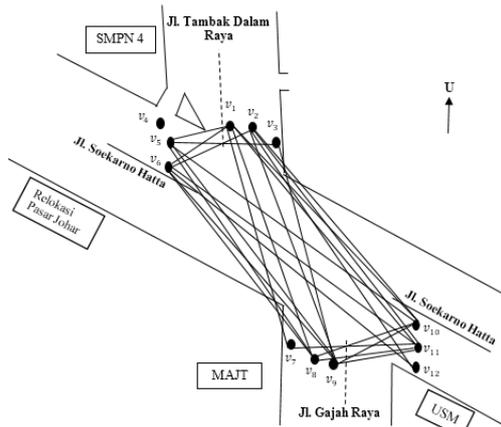
Tabel 5 Ukuran Jalan di Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah USM

Kondisi	Ukuran Jalan saat Lampu Merah Panjang (m) x Lebar (m)
Maksimum	87.5 x 7.61
Minimum	15 x 7.61
Rata-Rata	40.84116541 x 7.61

Lebar jalan yang dimaksud adalah lebar jalan yang dipakai kendaraan saat berhenti di lampu merah, diperoleh dari pengukuran dengan Google Earth, panjang jalan yang dimaksud adalah panjang jalan yang di pakai mobil dan motor saat lampu merah dengan ukuran mobil (2.5m x 5m) dan motor (1.25m x 2.5m).

Langkah-langkah dalam mengatur fase lampu lalu lintas yang baru di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya dengan algoritma *Bee Colony* adalah sebagai berikut:

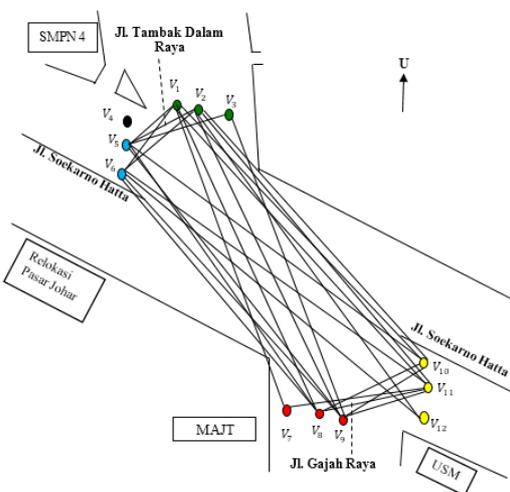
1. Mentrasformasikan arus-arus kendaraan ke bentuk graf, disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Graf Arus- Arus Kendaraan

2. Mewarnai simpul dengan algoritma *Bee Colony*

Diasumsikan simpul pertama yang diberi warna adalah simpul v_1 , dan pewarnaan simpul selanjutnya menggunakan fungsi probabilitas sesuai persamaan (1) sampai semua simpul diwarnai, sehingga diperoleh graf penyelesaian dari pewarnaan simpul di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya dengan menggunakan algoritma *Bee Colony*, disajikan pada Gambar 4.

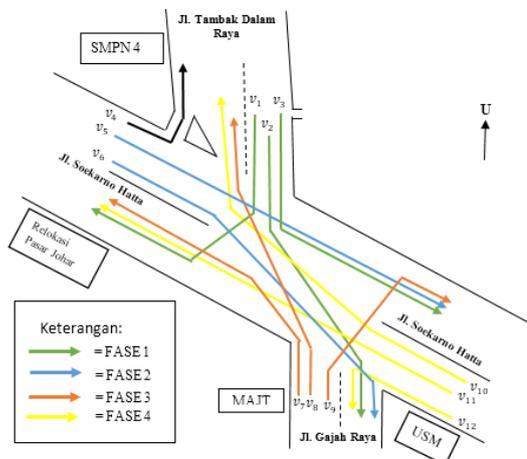


Gambar 4 Graf Penyelesaian

Gambar 4 menunjukkan antar dua simpul yang bertetangga memiliki warna yang berbeda. simpul v_1, v_2 , dan v_3 memiliki warna yang sama yaitu warna hijau yang artinya arus kendaraan yang dipresentasikan v_1, v_2 , dan v_3 dapat berjalan bersamaan, berlaku juga untuk simpul yang diwarnai oleh warna biru, merah dan kuning. Simpul v_4 diberi warna hitam artinya simpul v_4 merupakan simpul terencil dan arus kendaraan yang dipresentasikan simpul v_4 adalah arus kendaraan untuk belok kiri jalan terus, sehingga pewarnaan simpul v_4 tidak

berpengaruh untuk simpul yang lain. Jadi ada 4 warna yang digunakan dalam pewarnaan simpul menggunakan algoritma *Bee Colony* di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya yaitu hijau, biru, merah dan kuning, sehingga diperoleh bilangan khromatik-4.

Setelah diperoleh graf penyelesaian seperti pada Gambar 4, maka diperoleh fase lampu lalu lintas yang baru di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya, disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Fase Lampu Lalu Lintas Baru

Fase lampu lalu lintas baru memiliki 4 fase, fase 1 adalah fase yang mengatur kendaraan dari ruas Jl. Tambak Dalem Raya, fase 2 adalah fase yang mengatur kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah Pasar Johar, fase 3 adalah fase yang mengatur kendaraan dari ruas Jl. Gajah Raya, dan fase 4 adalah fase yang mengatur kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah USM.

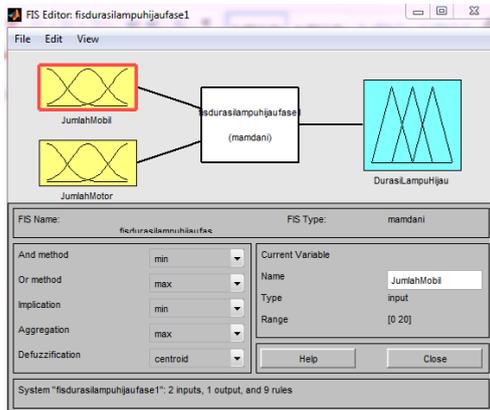
Dalam penelitian ini pengaturan durasi lampu hijau dipengaruhi oleh jumlah mobil dan jumlah motor yang berhenti saat lampu merah di fase yang diatur, sehingga tidak ada mobil dan motor antar fase yang bercampur, hal ini sesuai dengan hasil fase lampu lalu lintas baru yang setiap ruasnya diatur oleh satu fase.

Langkah-langkah dalam mengatur durasi lampu hijau pada fase lampu lalu lintas baru di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya dengan metode Fuzzy Mamdani menggunakan bantuan *Fuzzy Logic Toolbox* Matlab R2014a adalah sebagai berikut:

1. *FIS Editor*

Terdapat 4 fase yang diatur durasi lampu hijau dan FIS editor pada tiap fase tersebut sama yakni memiliki 2 variabel input yaitu variabel jumlah mobil dan variabel jumlah

motor yang berhenti saat lampu merah, sedangkan 1 variabel output yaitu variabel durasi lampu hijau. Pada FIS Editor, fungsi implikasi berupa fungsi min, agregasi menggunakan fungsi max, defuzzifikasi menggunakan metode Centroid, seperti Gambar 6.



Gambar 6. FIS Editor untuk Pengaturan Durasi Lampu Hijau

2. Menentukan Fungsi Keanggotaan

a. Fase 1

Fase 1 adalah fase yang mengatur arus kendaraan dari ruas Jl. Tambak Dalam Raya, sehingga ukuran jalan saat lampu merah yang dipakai adalah ukuran ruas Jl. Tambak Dalam Raya (lihat Tabel 2). Dari ukuran jalan tersebut diperoleh tabel perencanaan himpunan fuzzy pada pengaturan durasi lampu hijau di fase 1, disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Perencanaan Himpunan Fuzzy pada Fase 1

Variabel	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain	Fungsi Keanggotaan	Parameter
Jumlah Mobil	Sedikit	[0,20]	[0,8]	Bahu Kiri	(0; 2; 8)
	Sedang		[2,20]	Segitiga	(2; 8; 20)
	Banyak		[8,20]	Linear Naik	(8; 20)
Jumlah Motor	Sedikit	[0,80]	[0,32]	Bahu Kiri	(0; 8; 32)
	Sedang		[8,80]	Segitiga	(8; 32; 80)
	Banyak		[32,80]	Linear Naik	(32; 80)
Durasi Lampu Hijau	Sebentar	[0,30]	[0,13.33]	Bahu Kiri	(0; 3; 13.33)
	Sedang		[3,30]	Segitiga	(3; 13.33; 30)
	Lama		[13.33,30]	Linear Naik	(13.33; 30)

b. Fase 2

Fase 2 adalah fase yang mengatur arus kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah Pasar Johar, sehingga ukuran jalan saat lampu merah yang dipakai sesuai Tabel 3. Dari ukuran jalan tersebut diperoleh tabel perencanaan himpunan fuzzy pada pengaturan durasi lampu hijau di fase 2, disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Perencanaan Himpunan Fuzzy pada Fase 2

Variabel	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain	Fungsi Keanggotaan	Parameter
Jumlah Mobil	Sedikit	[0,75]	[0,27]	Bahu Kiri	(0; 6; 27)
	Sedang		[6,75]	Segitiga	(6; 27; 75)

Jumlah Motor	Banyak	[0,306]	[27,75]	Linear Naik	(27; 75)
	Sedikit		[0,108]	Bahu Kiri	(0; 30; 108)
	Sedang		[30,306]	Segitiga	(30; 108; 306)
Durasi Lampu Hijau	Banyak	[0,76.5]	[108,306]	Linear Naik	(108; 306)
	Sebentar		[0,28.20]	Bahu Kiri	(0; 7.50; 28.20)
	Sedang		[7.5,76.5]	Segitiga	(7.50; 28.20; 76.50)
	Lama	[28.20,76.5]	Linear Naik	(28.20; 76.50)	

c. Fase 3

Fase 3 adalah fase yang mengatur arus kendaraan dari ruas Jl.Gajah Raya, sehingga ukuran jalan saat lampu merah yang dipakai sesuai Tabel 4. Dari ukuran jalan tersebut diperoleh tabel perencanaan himpunan fuzzy pada pengaturan durasi lampu hijau di fase 3, disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Perencanaan Himpunan Fuzzy pada Fase 3

Variabel	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain	Fungsi Keanggotaan	Parameter
Jumlah Mobil	Sedikit	[0,16]	[0,6]	Linear Turun	(0; 6; 16)
	Sedang		[6,16]	Segitiga	(6; 16)
	Banyak		[0,13]	Linear Naik	(0; 3; 13)
Jumlah Motor	Sedikit	[0,96]	[3,96]	Segitiga	(3; 13; 96)
	Sedang		[13,96]	Linear Naik	(13; 96)
	Banyak		[0,20.90]	Bahu Kiri	(0; 1.50; 20.90)
Durasi Lampu Hijau	Sebentar	[0,48]	[1.50,48]	Segitiga	(1.50; 20.90; 48)
	Sedang		[20.90,48]	Linear Naik	(20.90; 48)

d. Fase 4

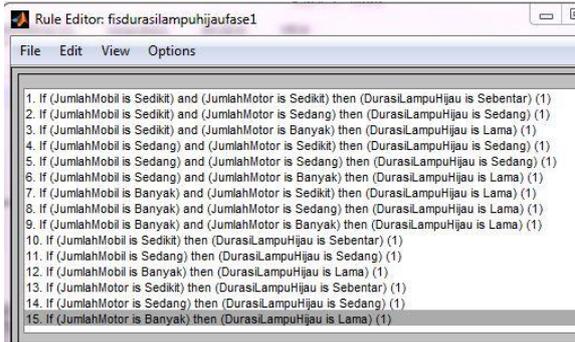
Fase 4 adalah fase yang mengatur arus kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah USM, sehingga ukuran jalan saat lampu merah yang dipakai sesuai Tabel 5. Dari ukuran jalan tersebut diperoleh tabel perencanaan himpunan fuzzy pada pengaturan durasi lampu hijau di fase 4, disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Perencanaan Himpunan Fuzzy pada Fase 4

Variabel	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain	Fungsi Keanggotaan	Parameter
Jumlah Mobil	Sedikit	[0,51]	[0,24]	Bahu Kiri	(0; 9; 24)
	Sedang		[9,51]	Segitiga	(9; 24; 51)
	Banyak		[24,51]	Linear Naik	(24; 51)
Jumlah Motor	Sedikit	[0,210]	[0,96]	Bahu Kiri	(0; 36; 96)
	Sedang		[36,210]	Segitiga	(36; 96; 210)
	Banyak		[96,210]	Linear Naik	(96; 210)
Durasi Lampu Hijau	Sebentar	[0,52.50]	[0,24.50]	Bahu Kiri	(0; 9; 24.50)
	Sedang		[9,52.50]	Segitiga	(9; 24.50; 52.50)
	Lama		[24.50,52.50]	Linear Naik	(24.50; 52.50)

3. Menentukan Aturan Fuzzy

Aturan- aturan yang digunakan dalam menentukan durasi lampu hijau pada 4 fase yang diatur sama yaitu, berupa fungsi implikasi *IF-THEN* dengan menggunakan fungsi MIN yang telah diatur pada FIS editor, dan operator yang digunakan untuk menghubungkan antara dua variabel input adalah operator AND, dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Aturan untuk Menentukan Durasi Lampu Hijau

4. Perhitungan Durasi Lampu Hijau pada Fase Baru di Persimpangan Simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya

Beberapa contoh kondisi yang berbeda saat lampu merah, sebagai berikut:

a. Kondisi 1

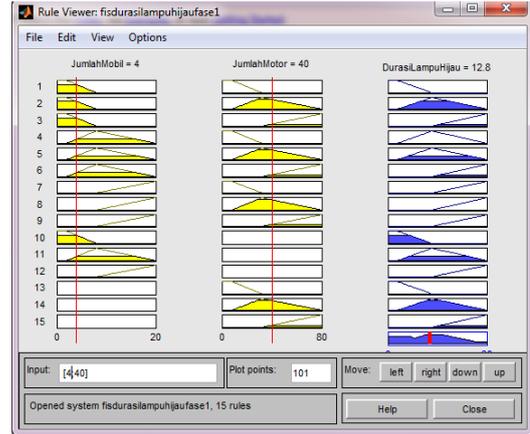
Terdapat jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah seperti pada Tabel 10.

Tabel 10 Kondisi 1

FASE	Jumlah	
	Mobil (menit)	Motor (menit)
Fase 1 (Ruas Jl. Tambak Dalam Raya)	4	40
Fase 2 (Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah Pasar Johar)	6	37
Fase 3 (Ruas Jl. Gajah Raya)	2	13
Fase 4 (Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah USM)	14	57

Dari hasil perhitungan menggunakan metode Fuzzy Mamdani dengan bantuan *fuzzy logic toolbox* Matlab R2014 diperoleh durasi lampu hijau sebagai berikut

- 1) Fase 1 jika terdapat 4 mobil dan 40 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 12.8 detik seperti pada Gambar 8.
- 2) Fase 2 jika terdapat 6 mobil dan 37 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 17.4 detik.
- 3) Fase 3 jika terdapat 2 mobil dan 13 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 20.8 detik.
- 4) Fase 4 jika terdapat 14 mobil dan 57 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 20 detik.



Gambar 8 Durasi Lampu Hijau untuk Fase 1 pada Kondisi 1

b. Kondisi 2

Terdapat jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah seperti pada Tabel 11.

Tabel 11 Kondisi 2

FASE	Jumlah	
	Mobil (menit)	Motor (menit)
Fase 1 (Ruas Jl. Tambak Dalam Raya)	2	11
Fase 2 (Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah Pasar Johar)	13	26
Fase 3 (Ruas Jl. Gajah Raya)	5	12
Fase 4 (Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah USM)	11	26

Dari hasil perhitungan menggunakan metode Fuzzy Mamdani dengan bantuan *fuzzy logic toolbox* Matlab R2014 diperoleh durasi lampu hijau sebagai berikut

- 1) Fase 1 jika terdapat 2 mobil dan 11 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 7.74 detik.
- 2) Fase 2 jika terdapat 13 mobil dan 26 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 26.2 detik.
- 3) Fase 3 jika terdapat 5 mobil dan 12 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 23 detik.
- 4) Fase 4 jika terdapat 11 mobil dan 26 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 13.8 detik.

c. Kondisi 3

Terdapat jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah seperti pada Tabel 12.

Tabel 12 Kondisi 3

FASE	Jumlah	
	Mobil (menit)	Motor (menit)
Fase 1 (Ruas Jl. Tambak Dalam Raya)	2	16
Fase 2 (Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah Pasar Johar)	15	39

Fase 3 (Ruas Jl. Gajah Raya)	7	21
Fase 4 (Ruas Jl. Soekarno Hatta dari Arah USM)	5	34

Dari hasil perhitungan menggunakan metode Fuzzy Mamdani dengan bantuan *fuzzy logic toolbox* Matlab R2014 diperoleh durasi lampu hijau sebagai berikut

- 1) Fase 1 jika terdapat 2 mobil dan 16 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 10.3 detik.
- 2) Fase 2 jika terdapat 15 mobil dan 39 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 28.2 detik.
- 3) Fase 3 jika terdapat 7 mobil dan 21 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 23.7 detik.
- 4) Fase 4 jika terdapat 5 mobil dan 34 motor yang berhenti saat lampu merah, maka durasi lampu hijau sebesar 8.83 detik.

5. Pengaturan Durasi Lampu Lalu Lintas

Setelah diperoleh durasi lampu hijau, maka diperoleh durasi lampu lalu lintas seperti pada Tabel 13, Tabel 14, dan Tabel 15.

Tabel 13 Durasi Lampu Lalu Lintas pada Kondisi 1

FASE	Jumlah		Durasi Lampu Lalu Lintas				Total Durasi (detik)
	Mobil (menit)	Motor (menit)	Lampu Hijau (detik)	Lampu Kunin (detik)	Clear (detik)	Lampu Merah (detik)	
Fase 1	4	40	12.8	2	3	75.5	93.3
Fase 2	6	37	17.4	2	3	70.9	
Fase 3	2	13	20.1	2	3	68.2	
Fase 4	14	57	20	2	3	68.3	

Tabel 14 Durasi Lampu Lalu Lintas pada Kondisi 2

FASE	Jumlah		Durasi Lampu Lalu Lintas				Total Durasi (detik)
	Mobil (menit)	Motor (menit)	Lampu Hijau (detik)	Lampu Kunin (detik)	Clear (detik)	Lampu Merah (detik)	
Fase 1	2	11	7.74	2	3	81	93.7
Fase 2	13	26	26.2	2	3	62.54	
Fase 3	5	12	23	2	3	65.74	
Fase 4	11	26	13.8	2	3	74.94	

Tabel 15 Durasi Lampu Lalu Lintas pada Kondisi 3

FASE	Jumlah		Durasi Lampu Lalu Lintas				Total Durasi (detik)
	Mobil (menit)	Motor (menit)	Lampu Hijau (detik)	Lampu Kunin (detik)	Clear (detik)	Lampu Merah (detik)	
Fase 1	2	16	10.3	2	3	78.73	94.0
Fase 2	15	39	28.2	2	3	60.83	
Fase 3	7	21	23.7	2	3	65.33	
Fase 4	5	34	8.83	2	3	80.2	

Pembahasan

Fase lampu lalu lintas yang saat ini diterapkan pada persimpangan simpang empat

Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya, terdiri dari 3 fase, yaitu:

1. Fase 1: Arus kendaraan dari ruas Jl. Tambak Dalam Raya dan Jl. Gajah Raya
2. Fase 2: Arus kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta yang berjalan lurus baik dari arah Pasar Johar maupun dari arah USM
3. Fase 3: Arus kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta yang belok kanan baik dari arah Pasar Johar maupun dari arah USM

Sedangkan fase lampu lalu lintas baru menggunakan algoritma *Bee Colony*, terdiri dari 4 fase, yaitu:

1. Fase 1: Arus Kendaraan dari ruas Jl. Tambak Dalam Raya
2. Fase 2: Arus Kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah Pasar Johar
3. Fase 3: Arus Kendaraan dari ruas Jl. Gajah Raya
4. Fase 4: Arus Kendaraan dari ruas Jl. Soekarno Hatta dari arah USM

Pada fase lampu lalu lintas saat ini masih ditemui tabrakan antar arus kendaraan yaitu arus- arus di fase 1, arus v_1 dengan arus v_7 , arus v_1 dengan arus v_8 , arus v_2 dengan arus v_9 , dan arus v_3 dengan arus v_9 (lihat Gambar 2).

Durasi lampu lalu lintas sebelum diatur menggunakan metode Fuzzy Mamdani memiliki durasi yang konstan meskipun jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah berubah dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan durasi lampu lalu lintas sesudah diatur menggunakan metode Fuzzy Mamdani dengan bantuan *fuzzy logic toolbox* Mamdani R2014a dengan memperhatikan jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah, menghasilkan durasi lampu lalu lintas yang berubah mengikuti jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah, dapat dilihat pada Tabel 14, Tabel 15, Tabel 16.

PENUTUP

Simpulan yang dapat diambil dari pengaturan fase lampu lalu lintas menggunakan algoritma *Bee Colony* yaitu diperoleh fase lampu lalu lintas baru yang terdiri dari 4 fase sedangkan pada fase lampu lalu lintas saat ini terdiri dari 3 fase. Fase lampu lalu lintas yang dihasilkan dari penerapan algoritma *Bee Colony* tidak terjadi tabrakan antara arus kendaraan, berbeda dengan fase lampu lalu lintas saat ini yang masih ditemui tabrakan antar arus kendaraan, sehingga fase lampu lalu lintas yang baru ini dianggap dapat mengurangi resiko kecelakaan di persimpangan simpang empat Jl. Tambak Dalam Raya- Jl. Soekarno Hatta- Jl. Gajah Raya.

Pengaturan durasi lampu lalu lintas di fase baru menggunakan metode Fuzzy Mamdani

dengan bantuan *fuzzy logic toolbox* Matlab R2014. Pengaturan durasi lampu lalu lintas baru memperhatikan jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah. Durasi lampu lalu lintas yang dihasilkan setelah diterapkan metode fuzzy mamdani berubah mengikuti jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah. Sedangkan durasi lampu lalu lintas sebelum diterapkan metode fuzzy mamdani memiliki durasi yang konstan atau tidak mengikuti jumlah mobil dan motor yang berhenti saat lampu merah.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M. D., & Laksito, A. D. 2019. Implementasi Algoritma Bee Colony untuk Optimasi Rute Distribusi Carica Nida Food Wonosobo. *SISTEMASI: Jurnal Sistem Informasi*, 8(2): 243-253.
- Faraji, M., & Javadi, H. H. S. 2011. Proposing a New Algorithm Based on Bees Behavior for Solving Graph Coloring. *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, 6(1): 41-49.
- Federal Highway Administration. 2005. Traffic Congestion and Reability: Trends Advanced Strategies for Congestion Mitigation. Washington DC. USA.
- Hermawan, M. A., Hidayat, N., & Setiawan, B. D. 2017. Sistem Optimasi Rute Tempat Wisata Kuliner di Malang Menggunakan Algoritma Bee Colony. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 1(3): 215-223.
- Kamboj, V., & Kaur, A. 2013. Comparison of Constant SUGENO- Type and MAMDANI- Type Fuzzy Inference System for Load Sensor. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 3(2): 204-207.
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lara, C., Flores, J. J., & Calderon, F. 2014. *Solving School Timetabling Problem Using a Bee Algorithm*. Mexico: Universidad Michoacana de San.
- Marpaung, F. 2019. Optimasi Pengaturan Traffic Light di Persimpangan Kota Medan. *Jurnal Keluarga Sehat Sejahtera*, 17(1): 11-23.
- Meiliana, C. H., & Maryono, D. 2014. Aplikasi Pewarnaan Graf untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light di Sukoharjo. *JIPTEK*, 7(1): 25-34.
- MKJI. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Munir, R. 2010. *Matematika Distrik*. Bandung: Informatika.
- Patidar, H., & Chakrabarti, P. 2016. Sequential and Parallel Approaches in Context to Graph Coloring Problems- A Survey. *International Journal of Computer Systems*, 3(5): 403-406.
- Rachmawati, H., Armay, E. F., & Purnomo, M. H. 2012. Problem Solving Analysis of Course Scheduling Using Graph Coloring Technique Based on Bee Colony Algorithm. *7th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*. Bali: Indonesia.
- Setiawan, D. A. 2016. Penerapan Graf pada Persimpangan Menggunakan Algoritma Welsh-Powel untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light. *UNNES Journal of Mathematics*, 5(2): 144-152.
- Sireesha, K. 2014. BCO for Multiprocessor Scheduling. *International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology (IJARCST)*, 2(3): 38-40.
- Tanadi, S. 2013. *Model Penjadwalan Guru Menggunakan Graph Coloring Dengan Algoritma Bee Colony*. Tesis. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Trimartanti, L.W., & Abdi, A. M. 2015. Sistem APLIL Menggunakan Fuzzy Logic. *Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika UNY*.
- Yudanto, A. Y., Apriyadi, M., & Sanjaya, K. 2013. Optimalisasi Lampu Lalu Lintas dengan Fuzzy Logic. *ULTIMATICS*, 5(2):58-62.