

## PENCARIAN RUTE TERBAIK MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY DAN ALGORITMA SEMUT

Syaiful Anam<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Matematika, Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Brawijaya  
Email: syaiful@ub.ac.id

### Abstrak

Rute terbaik pada umumnya didasarkan jarak tempuh terpendek dari suatu titik ke titik yang lain. Pada kenyataannya rute terbaik seharusnya memperhatikan kondisi jalan misalnya kapasitas jalan, banyak kendaraan yang melewati dan lain-lain. Pada tulisan ini dibahas pencarian rute terbaik dengan menggunakan logika fuzzy dan algoritma semut. Langkah pertama adalah membangun suatu graf berbobot dimana bobot-bobot diperoleh melalui metode inferensi dari himpunan fuzzy dari kepadatan jalan dan himpunan fuzzy jarak tempuh. Metode yang digunakan untuk inferensi adalah metode Tsukamoto. Metode ini digunakan karena cukup mudah digunakan dan sudah terbukti sukses digunakan untuk inferensi dalam pengambilan keputusan. Langkah kedua adalah mencari rute terbaik dari graf berbobot tersebut dengan menggunakan algoritma semut. Algoritma semut merupakan algoritma optimasi global yang diinspirasi oleh kemampuan dari sekumpulan semut dalam mencari makanan. Kumpulan semut tersebut mampu menemukan kumpulan makanan dengan jalur terpendek dari sarangnya ke sumber makanan. Metode ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya mampu menemukan solusi dengan baik dan cepat dan efisien digunakan untuk menyelesaikan masalah rute terpendek.

**Kata Kunci:** rute terbaik; logika fuzzy, algoritma semut

### 1. PENDAHULUAN

Dalam melakukan perjalanan dari suatu tempat asal ke tempat tujuan, perjalanan dengan rute terbaik menjadi harapan setiap orang. Rute terbaik yang dimaksudkan disini adalah rute perjalanan yang kemungkinan besar memiliki waktu tempuh tercepat. Rute terbaik pada umumnya adalah berdasarkan jarak tempuh dari suatu tempat ke tempat yang lain. Pada kenyataannya rute terbaik seharusnya memperhatikan kondisi jalan misalnya kapasitas jalan, banyak kendaraan yang melewati, jarak tempuh dan lain-lain. Hal ini karena waktu tempuh dari suatu tempat asal ke tempat tujuan selain ditentukan oleh jarak juga dipengaruhi kepadatan jalan. Oleh karena itu dalam tulisan ini rute terbaik didefinisikan sebagai rute yang kemungkinan besar memiliki waktu tercepat, dimana rute dipilih dengan memperhatikan jarak tempuh dan kepadatan lalu lintas. Jadi rute terbaik belum tentu memiliki jarak tempuh terpendek.

Saat ini rute terbaik lebih realitis digunakan dari pada rute terpendek. Hal ini karena hampir di setiap kota di Indonesia sering terjadi kemacetan lalu lintas, sehingga pemilihan rute dengan memperhatikan kepadatan lalu lintas menjadi suatu keharusan. Kemacetan lalu lintas akan berdampak pada waktu tempuh dan biaya, waktu tempuh akan semakin lama dan biaya akan semakin mahal karena dengan ada kemacetan perjalanan akan membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak. Dengan rute terbaik ini perjalanan dari satu kota ke kota lain akan lebih efisien.

Penentuan jalur terbaik akan dijadikan bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk dalam memilih rute yang akan ditempuh. Pemilihan rute terbaik ini seharusnya bisa ditentukan secara *real time*, oleh karena itu penentuan rute terbaik secara cepat dan akurat dibutuhkan. Penyelesaian masalah rute baik dengan berbantuan komputer adalah solusi yang dapat digunakan.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan hanya memperhatikan rute terpendek (Mutakhiroh et al, 2007). Pada penelitian ini menggunakan algoritma semut (Dorigo, 1996). Algoritma semut diadopsi dari perilaku koloni semut. Koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ketempat-tempat sumber makanan. Setiap semut yang melewati suatu jalan selalu meninggalkan feromon sehingga semakin banyak semut yang melewati suatu jalan maka kadar feromonnya semakin tinggi. Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan kadar feromon pada rute yang telah dilalui. Semakin banyak kadar feromon pada suatu rute menyebabkan jumlah semut yang melalui rute tersebut semakin banyak. Algoritma semut telah berhasil diaplikasikan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan misalnya *Travelling Salesman Problem* (TSP) (Brezina & Čičková, 2011), Job Shop Scheduling (Umarini et al, 2012) dan lain-lain. Berdasarkan keunggulan algoritma semut tersebut maka algoritma semut sangat tepat digunakan untuk menyelesaikan masalah rute terbaik.

Kepadatan lalu lintas secara umum dinyatakan secara linguistik yaitu tidak padat, sedang atau padat. Logika fuzzy merupakan metode biasa digunakan untuk menangani fuzziness. Logika fuzzy merepresentasikan nilai yang bersifat linguistik. Logika fuzzy pertama kali diusulkan oleh Zadeh pada tahun 1965 (Brezina & Čičková, 2011). Permasalahan kepadatan lalu lintas tidak dapat dilihat sebagai 'lalu lintas padat' atau 'lalu lintas tidak padat' saja, tetapi akan lebih realistis kalau terdapat hal 'lalu lintas agak padat'. Jika dalam kepadatan lalu lintas memperhatikan yang samar-samar akan membuat keputusan yang lebih adil dan lebih realistis. Oleh karena itu logika fuzzy lebih cocok digunakan pada sebagian besar permasalahan yang terjadi di dunia nyata.

Berdasarkan kelebihan algoritma semut dan logika fuzzy, maka pada tulisan ini mengusulkan pencarian rute terbaik dengan menggunakan logika fuzzy dan algoritma semut. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan membangun suatu graf berbobot. Bobot dari graf dihitung dengan melakukan metode inferensi logika fuzzy atau metode Tsukamoto. Banyaknya faktor yang digunakan untuk inferensi sebanyak dua buah faktor. Faktor pertama adalah jarak tempuh dan faktor yang kedua adalah kepadatan lalu lintas. Setelah membangun graf berbobot dengan metode Tsukamoto, langkah selanjutnya adalah mencari rute terbaik dengan menggunakan algoritma semut.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kajian teori dan eksperimen. Langkah-langkah penelitian akan dijelaskan dalam tahapan berikut ini:

- a. Menentukan kepadatan lalu lintas.
- b. Membangun graf berbobot dengan menggunakan metode Tsukamoto.

- c. Membangun algoritma semut untuk menyelesaikan masalah rute terbaik.
- d. Mengimplementasikan metode Tsukamoto dan algoritma semut dengan Matlab.
- e. Mengevaluasi hasil rute yang diperoleh.

**3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Sebelum membahas hasil penelitian maka pertama-tama akan dijelaskan tiap langkah dari metode yang diusulkan.

**3.1. Menentukan Kepadatan Lalu Lintas**

Kepadatan lalu lintas ditentukan berdasarkan kapasitas ruas jalan dan kepadatan kendaraan yang melewati jalan tersebut. Kepadatan kendaraan pada suatu jalan merupakan jumlah kendaraan yang menempati panjang ruas jalan tertentu atau lajur, yang umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan per kilometer atau satuan mobil penumpang per kilometer (smp/km). Semua nilai arus lalu lintas (per arah dan total) diubah menjadi satuan mobil penumpang (smp) dengan menggunakan ekivalensi mobil penumpang (emp) yang diturunkan secara empiris untuk tipe kendaraan berikut:

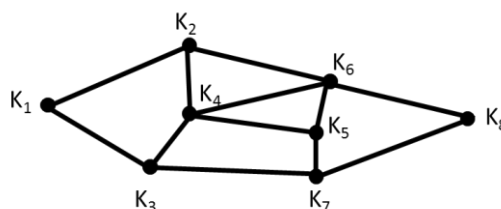
1. Kendaraan ringan (LV) termasuk mobil penumpang, minibus, pik-up, truk kecil dan jeep.
2. Kendaraan berat (HV) termasuk truk dan bus.
3. Sepeda Motor (MC).

Ekivalensi mobil penumpang (emp) untuk masing-masing tipe kendaraan tergantung pada tipe jalan dan arus lalu lintas total yang dinyatakan dalam kend/jam. Semua nilai emp untuk kendaraan yang berbeda ditunjukkan dalam tabel Tabel 1 (Zadeh, 1965).

Kapasitas ruas jalan adalah arus lalu lintas maksimum yang dapat melintas dengan stabil pada suatu potongan melintang jalan pada keadaan tertentu. Perbandingan kapasitas ruas jalan dengan kepadatan kendaraan ini digunakan untuk menentukan kepadatan lalu lintas. Jika perbandingannya menghasilkan

**Tabel 1. Ekivalensi Mobil Penumpang**

Tipe Kendaraan	Ekivalensi Mobil Penumpang (emp)
Kendaraan ringan (LV)	1
Kendaraan berat (HV)	1,2
Sepeda Motor (MC)	0,25



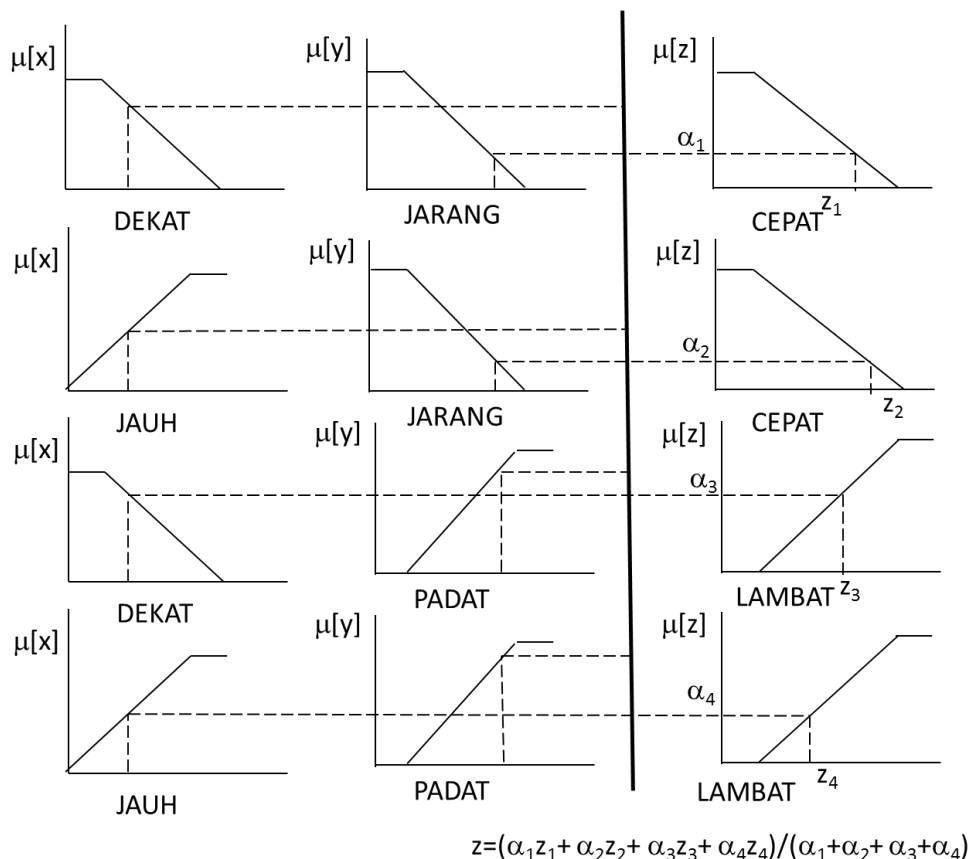
**Gambar. 1. Graf dari suatu peta perjalanan**

mendekati satu atau lebih dari satu maka ruas jalan tersebut dikatakan padat dan jika mendekati nol maka dikatakan tidak padat atau jarang.

Rute perjalanan dapat dimodelkan dengan menggunakan graf. Misal diketahui graf dari suatu peta sebagai terlihat pada Gambar 1.  $K_1, K_2, \dots, K_7$  mewakili ujung-ujung dari suatu ruas jalan. Rusuk-rusuk pada graf tersebut mewakili suatu ruas jalan. Misalnya untuk graf pada Gambar 1 maka kepadatan ruas lalu lintas jalan  $K_1K_2$  maka ditentukan dengan cara membagi kapasitas ruas jalan dengan kepadatan kendaraan yang melewati ruas jalan  $K_1K_2$ . Setiap ruas jalan yang ada pada graf tersebut dihitung dengan cara yang sama untuk ruas jalan  $K_1K_2$ .

**3.2. Membangun Graf Berbobot dengan Menggunakan Metode Tsukamoto**

Pada langkah ini, bobot dari graf diinferensi dengan menggunakan metode Tsukamoto. Pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF-THEN harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton (Juniarta, 2012). Pada penentuan rute terbaik ini menggunakan variabel *input* yaitu jarak antar tempat dan kepadatan lalu lintas.



**Gambar 2. Inferensi menggunakan Metode Tsukamoto**

Variabel jarak antar tempat terbagi menjadi dua himpunan fuzzy yaitu himpunan JAUH dan DEKAT sedangkan variabel kepadatan lalu lintas terbagi menjadi dua himpunan fuzzy yaitu himpunan PADAT dan JARANG. Sedang

variabel *output* ada satu buah yaitu waktu. Variabel *output* terbagi menjadi tiga himpunan fuzzy yaitu himpunan CEPAT dan LAMBAT. Himpunan CEPAT mewakili kriteria baik pada suatu rute. Ini artinya semakin kecil nilai yang dihasilkan semakin baik.

Aturan yang digunakan untuk inferensi sebanyak 4 aturan seperti pada daftar aturan berikut:

- R1 IF (x is DEKAT) and (y is JARANG) THEN z is CEPAT
- R2 IF (x is JAUH ) and (y is JARANG) THEN z is CEPAT
- R3 IF (x is DEKAT) and (y is PADAT) THEN z is LAMBAT
- R4 IF (x is JAUH) and (y is PADAT) THEN z is LAMBAT.

Alur inferensi untuk mendapatkan satu nilai crisp z seperti terlihat pada Gambar 2.

### 3.3. Membangun algoritma semut untuk menyelesaikan masalah rute terbaik

Rute terbaik adalah suatu rute dengan jumlah bobot terkecil dari graf berbobot yang diperoleh pada langkah sebelumnya. Algoritma semut digunakan untuk mencari rute terbaik tersebut. Berikut langkah-langkah untuk menentukan jalur terbaik dengan menggunakan algoritma semut.

#### **Langkah 1:**

- a. Inisialisasi harga parameter-parameter algoritma semut.

Parameter-parameter yang di inisialisasikan adalah:

1. Intensitas feromon semut antar tempat dan perubahannya ( $\tau_{ij}$ )
2. Jarak antar tempat  $d_{ij}$
3. Penentuan tempat asal dan tempat tujuan
4. Tetapan pengendali intensitas feromon semut ( $\alpha$ )
5. Tetapan pengendali visibilitas ( $\beta$ )
6. Tetapan siklus semut ( $Q$ )
7. Visibilitas antar kota  $1/d_{ij}$  ( $\eta_{ij}$ )
8. Jumlah semut ( $m$ )
9. Tetapan penguapan feromon semut ( $\rho$ )
10. Jumlah siklus maksimum ( $NC_{max}$ )

- b. Inisialisasi tempat awal setiap semut.

Pada langkah ini, m semut ditempatkan pada tempat asal yang sudah ditentukan.

#### **Langkah 2:**

Pengisian tempat pertama ke dalam *tabu list*. Pada langkah ini tempat asal diisikan sebagai elemen pertama *tabu list*  $tabu(k,1)$  dimana  $k=1, \dots, m$ .

#### **Langkah 3:**

Pada langkah ini untuk setiap semut berpindah dari tempat asal ke tempat-tempat lainnya yang belum pernah dikunjungi sampai ketemu tempat

tujuan. Semut-semut tersebut berpindah berdasarkan peluang yang bergantung pada visibilitas kunjungan. Persamaan peluang kota yang akan dikunjungi adalah sebagai berikut:

$$p_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{k' \in [N - Tabu_k]} (\tau_{ik'})^\alpha (\eta_{ik'})^\beta}, j \in [N - Tabu_k] \tag{1}$$

$$p_{ij}^k = 0, j \text{ lainnya}$$

dengan i indeks tempat asal dan j indeks tempat tujuan.

Dalam setiap kunjungan setiap semut menyimpan tempat-tempat yang dikunjungi pada *tabu list*. Jika *s* menyatakan indeks urutan kunjungan dan *k* menunjukkan urutan semut, maka tempat yang dikunjungi dinyatakan sebagai *tabu(k,s)*.

**Langkah 4:**

Perhitungan panjang jalur setiap semut. Perhitungan panjang jalur tertutup atau  $L_k$  setiap semut dilakukan setelah satu siklus diselesaikan oleh semua semut. Perhitungan dilakukan berdasarkan *tabu(k)*. Selanjutnya adalah mencari rute terpendek. Setelah  $L_k$  setiap semut dihitung, akan diperoleh harga minimal panjang jalur tertutup setiap siklus atau  $L_{min}$ .

Kolonisasi semut akan meninggalkan feromon pada lintasan antar kota yang dilaluinya. Adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang lewat, menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan nilai intensitas feromon semut antar tempat  $\Delta\tau_{ij}$ . Oleh karena itu perubahan intensitas feromon diperbarui dengan menggunakan persamaan (2).

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \tag{2}$$

Dengan  $\Delta\tau_{ij}^k$  adalah perubahan intensitas feromon antar tempat setiap semut yang dihitung dengan persamaan (3)

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{L_k}{Q} \tag{3}$$

untuk  $(i, j) \in$  tempat asal dan tujuan dalam *tabu(k)*.

**Langkah 5:**

Perhitungan harga intensitas feromon semut antar tempat untuk siklus selanjutnya. Harga intensitas feromon semut antar tempat pada semua lintasan antar tempat adakemungkinan berubah karena adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melewati. Harga intensitas feromon semut antar tempat untuk siklus selanjutnya diperbarui dengan rumus berikut

$$\tau_{ij} = \rho\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}. \tag{4}$$

Selanjutnya harga perubahan intensitas feromon semut antar tempat diatur ulang.

**Langkah 6:**

*Tabu list* perlu dikosongkan untuk diisi lagi dengan urutan kota yang baru pada siklus selanjutnya, jika jumlah siklus maksimum belum tercapai atau belum terjadi konvergensi. Algoritma diulang lagi dari langkah dua dengan menggunakan parameter intensitas feromon semut antartempat yang sudah diperbaharui.

### 3.4. Mengimplementasikan metode Tsukamoto dan algoritma semut dengan Matlab

Pada tahap ini metode Tsukamoto dan algoritma semut diimplementasikan dengan menggunakan Matlab.

### 3.5. Mengevaluasi hasil rute yang diperoleh.

Pada tahapan ini program akan diujikan pada graf. Rute terbaik ditentukan oleh jumlah bobot terkecil pada rute yang dilalui. Selain itu juga ditentukan waktu komputasi untuk setiap percobaan.

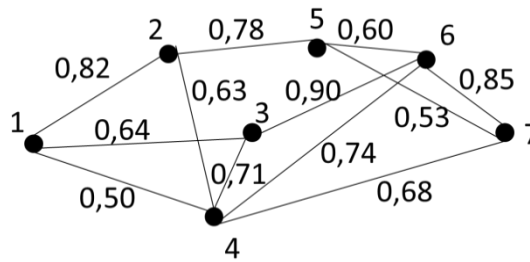
### 3.6. Contoh kasus

Diketahui data kendaraan yang melewati jalan dapat dilihat pada Tabel. 2. Kolom total kendaraan pada Tabel 2 dihitung dari jumlah kendaraan ringan, berat dan sepeda motor dengan menggunakan aturan pada Tabel 1. Selanjutnya kepadatan jalan dihitung dengan membagi total kendaraan dengan kapasitas jalan (Tabel 2).

Himpunan fuzzy JAUH dibentuk dari "Jarak". Jarak dinormalisasi dalam skala 0 sampai 1. Derajat keanggotaan himpunan JAUH sama dengan satu jika jarak hasil normalisasi sama lebih besar sama dengan 0,7 dan sama dengan nol jika jarak hasil normalisasi kurang dari sama dengan 0,3.

**Tabel 2. Data Jalan dan Kendaraan**

Jalan	Jumlah Kend. Ringan	Jumlah Kend. Berat	Jumlah Sepeda Motor	Total Kend. (emp)	Kap. Jalan	Kepadatan	Jarak	Nrm. Jarak
12	80	10	100	117	200	0,59	10	1,0
13	70	6	85	98	100	0,98	5	0,5
14	90	8	120	130	130	1,00	2	0,2
24	80	10	80	112	115	0,97	5	0,5
25	20	20	70	62	100	0,62	8	0,8
34	10	10	90	45	300	0,15	7	0,7
36	30	20	130	87	200	0,44	10	1,0
46	20	10	50	45	50	0,90	7	0,7
47	10	6	60	32	40	0,80	4	0,4
56	20	20	70	62	70	0,89	2	0,2
57	50	30	80	106	110	0,96	10	1,0
67	20	20	70	62	200	0,31	5	0,5



Gambar 3. Graf berbobot

Tabel 3. Hasil pencarian rute terbaik

Awal	Akhir	Rute	Panjang Rute
1	7	1 4 7	1,18
1	5	1 2 5	1,60
7	3	7 4 3	1,39
7	2	7 5 2	1,31

Himpunan DEKAT berlaku sebaliknya. Himpunan fuzzy JARANG dibentuk dari “Kepadatan”. Jika kepadatan lebih besar dari 0,7 maka derajat keanggotaan himpunan JARANG sama dengan nol dan kurang dari sama dengan 0,3 maka derajat keanggotaannya sama dengan satu. Himpunan PADAT berlaku sebaliknya. Bobot dari graf pada Gambar 3 diperoleh dengan melakukan inferensi menggunakan metode Tsukamoto. Selanjutnya program algoritma semut dijalankan untuk mencari rute terbaik. Tabel 3 menampilkan hasil percobaan pencarian rute terbaik dari satu tempat ke tempat yang lain.

Tabel 3 dan Gambar 3 memperlihatkan bahwa algoritma semut mencari rute terbaik dengan tepat. Dari hasil percobaan juga menunjukkan jumlah semut mempengaruhi akurasi yang diperoleh. Jumlah semut yang terlalu sedikit menyebabkan hasilnya tidak akurat. Jumlah siklus maksimal juga mempengaruhi akurasi dari algoritma ini. Semakin sedikit jumlah siklus maksimal maka metode ini kemungkinan besar rute yang dihasilkan bukan rute yang terbaik. Selain itu juga pemilihan parameter pada algoritma juga perlu diperhatikan karena juga mempengaruhi kemampuan dari metode ini.

#### 4. SIMPULAN

Rute terbaik lebih realitis digunakan daripada menggunakan rute terpendek pada daerah yang sering mengalami macet. Logika fuzzy dan algoritma semut telah berhasil digunakan untuk mencari rute terbaik dengan pemilihan parameter algoritma semut secara tepat. Banyaknya semut, siklus serta parameter lain dari algoritma semut yang digunakan mempengaruhi tingkat akurasi rute yang dihasilkan.



**5. DAFTAR PUSTAKA**

- Mutakhirah, I., Indrato, dan Hidayat, T. (2007). Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Algoritma Semut: *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, Diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Informatika, Universitas Islam Indonesia, 16 Juni 2007 (hal. B81-B85). Yogyakarta. Diakses dari <http://journal.uii.ac.id/index.php/Snati/article/view/1632>
- Dorigo, M. (1996), The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents, *IEEE transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part B*, **26**(1), 29-40.
- Brezina, I. Jr and Čičková, Z. (2011). Solving the Travelling Salesman Problem Using the Ant Colony Optimization, *Management Information Systems*, **6**(4), 10-14.
- Umarini, S., Nithya, L. M and Shanmugam, A. (2012). Efficient Multiple Ant Colony Algorithm for Job Scheduling In Grid Environment, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, **3**(2), 3388-3393
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control*, **8**, 338-353.
- Juniarta, I. W., Negara, I. N. W. dan Wikrama, I. A. A. N. A. J. (2012). Penentuan Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang Pada Ruas Jalan Perkotaan. *Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil*. X1-X7, <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=12514&val=911&title=>
- Kusumadewi, S. dan Purnomo, H. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta, Graha Ilmu.