

# MODEL PEMILIHAN RUTE DAN PEMBEBANAN PERJALANAN DENGAN SISTEM *FUZZY*

**Nindyo Cahyo Kresnanto**  
Mahasiswa Program S3  
Program Studi Teknik Sipil  
Fak. Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa No.10 Bandung  
Telp: (022)2502350.,  
Fax: (022) 2502350  
nindyo@students.itb.ac.id

**Ofyar Z. Tamin**  
Guru Besar Teknik Transportasi  
Sekolah Pascasarjana  
Program Studi Teknik Sipil  
Fak. Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa No.10 Bandung  
Telp: (022) 2502350,  
Fax: (022) 2502350  
ofyar@trans.si.itb.ac.id

**Russ Bona Frazila**  
Staf Pengajar  
Sekolah Pascasarjana  
Program Studi Teknik Sipil  
Fak. Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa No.10 Bandung  
Telp: (022) 2502350,  
Fax: (022) 2502350  
frazilla@trans.si.itb.ac.id

## Abstract

Route selection is a major element of the network assignment model. This process is often also called network tree building. In conventional route selection, each repetition will only produce one best path or *shortestpath*. Using *fuzzy* systems approach, travel cost is modeled in *fuzzy* numbers. *Fuzzy* numbers are numbers with certain upper-bound and under-bound limits. In *fuzzy* conditions, route selection process is expected to produce several routes that can be nominated as the *shortestpath*. It means that in each repetition, the finding algorithm will generate more than one best route, starting from the first best route, the second best route, to the  $k$  best route. The next process is the trip assignment existing (demand side) on the transportation network system (supply side) which will produce a route pattern and traffic flow. Traffic flow allocation based on the series of best routes and degree of membership of *fuzzy* numbers.

**Keywords:** fuzzy travel cost, fuzzy shortest path, fuzzy assignment

## PENDAHULUAN

Arus lalu lintas hasil pembebanan pada suatu ruas jalan dalam suatu sistem jaringan jalan dapat diperkirakan sebagai hasil proses pengkombinasian informasi Matriks Asal dan Tujuan Pergerakan (MAT), deskripsi sistem jaringan, dan pemodelan pemilihan rute. Prosedur pemilihan rute bertujuan memodelkan perilaku pelaku pergerakan dalam memilih rute terbaik. Dengan kata lain, dalam proses pemilihan rute, pergerakan antara dua zona (yang didapat dari tahap sebaran pergerakan) untuk moda tertentu (yang didapat dari tahap pemilihan moda) dibebankan ke rute tertentu yang terdiri atas ruas jaringan jalan tertentu (atau angkutan umum). Dalam pemodelan pemilihan rute ini dapat diidentifikasi rute yang akan digunakan oleh setiap pengendara sehingga akhirnya didapat jumlah pergerakan pada setiap ruas jalan (Tamin, 2000).

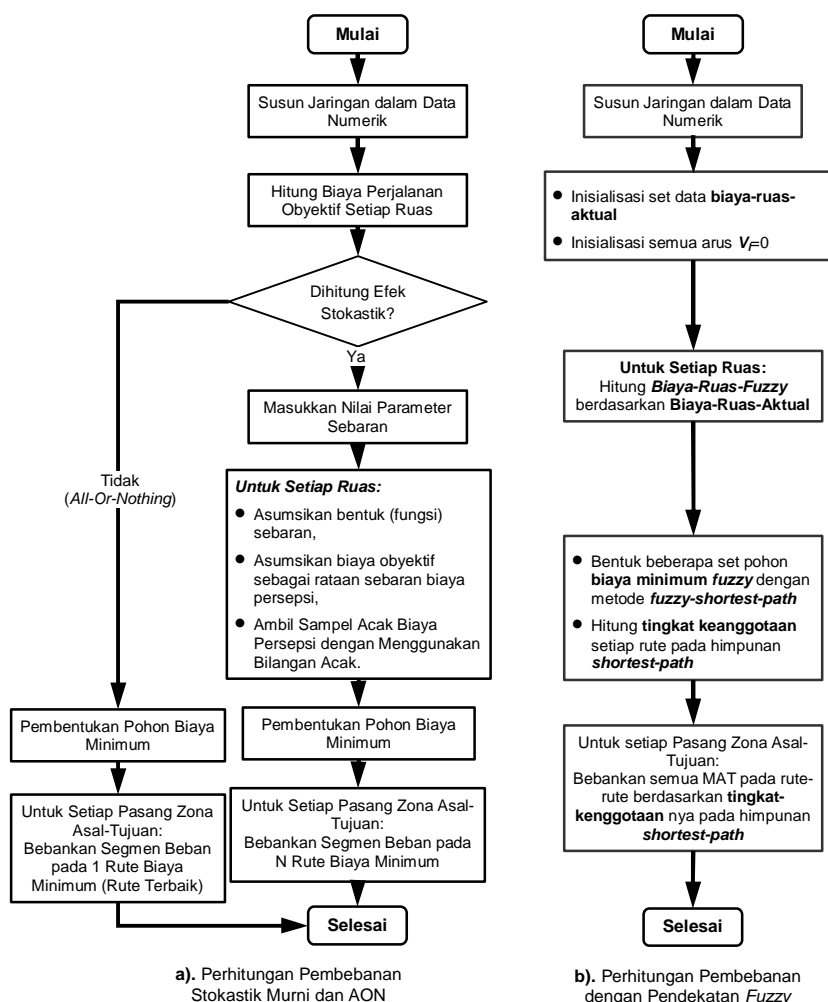
Secara umum terdapat 2 (dua) algoritma dasar yang sering digunakan untuk mencari rute tercepat (atau termurah) dalam suatu jaringan jalan, yang dikembangkan oleh Moore (1957) dan Dijkstra (1959). Keduanya diterangkan dengan menggunakan notasi berorientasi simpul dengan jarak (biaya) ruas antara dua titik A dan B dalam suatu jaringan diberi notasi  $d_{A,B}$ . Rute didefinisikan dalam bentuk urutan simpul yang saling berhubungan, yaitu A–C–D–H dan seterusnya, sedangkan jarak rute adalah penjumlahan setiap ruas yang ada dalam rute tersebut.

Dalam kasus *fuzzy*, rute tercepat tidak dapat secara langsung ditetapkan, karena jika biaya ruas didefinisikan menggunakan biaya-ruas-*fuzzy*, kemungkinan rute tercepat akan lebih dari satu rute. Blue dkk (1997) telah mengembangkan algoritma dasar untuk menentukan *shortest path* dalam kasus *fuzzy*. Asumsi dasar yang digunakan adalah tidak ada dominasi rute tercepat, biaya ruas dinyatakan dalam bilangan-*fuzzy*, dan rute tercepat diurutkan berdasarkan ranking. Proses selanjutnya adalah membebankan sejumlah pergerakan ke dalam rute terpilih berdasarkan ranking akibat dari biaya rute *fuzzy*.

## TINJAUAN PUSTAKA

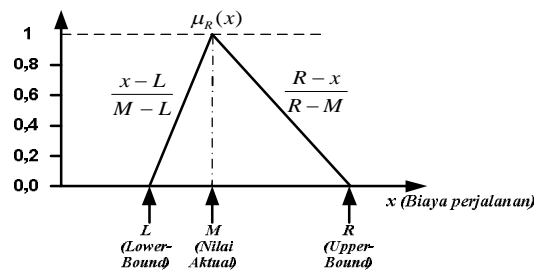
Pada studi ini, proses pembebanan dilakukan dalam kondisi biaya ruas *fuzzy* dengan pertama kali melakukan proses pemilihan rute kemudian dilanjutkan proses pembebanan pada rute terpilih. Gambar 1 memperlihatkan perbandingan proses pembebanan pada beberapa metode pembebanan stokastik murni dan metode pembebanan *fuzzy*.

Biaya perjalanan ruas *fuzzy* dikembangkan berdasarkan biaya perjalanan ruas aktual dengan mempertimbangkan faktor *error* untuk penentuan batas bawah (*under-bound*) dan batas atas (*upper-bound*) nya.



**Gambar 1** Perbandingan Proses Pembebanan Stokastik Murni, AON, dan *Fuzzy*

Biaya perjalanan rute/ruas dinyatakan dalam himpunan *fuzzy* untuk menggambarkan dugaan pembuat perjalanan terhadap biaya tersebut. Dugaan terhadap biaya perjalanan sering dinyatakan secara linguistik sebagai “sekitar  $t$  menit” atau “antara  $t_1$  sampai  $t_2$  menit”. Pernyataan kondisi “sekitar”, “antara”, atau “kira-kira” dinyatakan dalam rentang nilai biaya perjalanan yang mempunyai batas bawah (*Lower-Bound*) dan batas atas (*Upper-Bound*) dan selanjutnya disebut dengan himpunan *fuzzy* “sekitar  $t$  menit” atau “antara  $t_1$  sampai  $t_2$  menit” atau bilangan *fuzzy*. Pada penelitian disertasi ini digunakan tipe bilangan *fuzzy* segitiga L-R (*L-R Triangular fuzzy number*), seperti diperlihatkan pada Gambar 2, dengan  $M$  adalah biaya aktual hasil perhitungan pemodel,  $L$  dan  $R$  didefinisikan merupakan fungsi dari  $\gamma$  (paramater yang harus dikalibrasi) sebagai persamaan 1 dan 2.

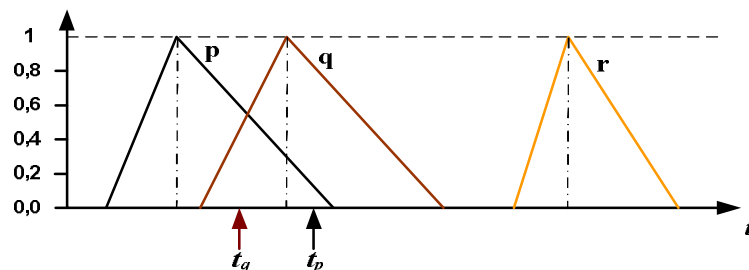


**Gambar 2** Bilangan Fuzzy Segitiga L-R untuk Biaya Perjalanan Ruas

$$L = M \cdot (1 - \gamma) \quad (1)$$

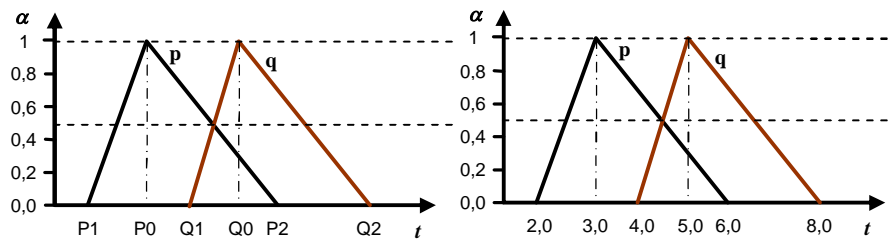
$$R = M \cdot (1 + \gamma) \quad (2)$$

Pada sebuah jaringan deterministik, *shortest path* dari sebuah titik asal ke sebuah titik tujuan akan berupa rute tunggal dengan biaya minimum. Dalam situasi *fuzzy*, dengan menggunakan biaya-*fuzzy* sebagai biaya rutenya, tidak dapat ditentukan suatu rute tunggal yang dapat dinyatakan sebagai *shortest path*. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3, dengan  $p$ ,  $q$ , dan  $r$  adalah tiga buah rute dengan masing-masing biaya rute  $\tau_p$ ,  $\tau_q$ ,  $\tau_r$ , dalam biaya-rute-*fuzzy*. Secara intuitif, terlihat jelas bahwa rute  $p$  dan  $q$  lebih “cepat” dari rute  $r$ . Tetapi untuk rute  $p$  dan  $q$ , kita tidak dapat mengatakan secara mutlak bahwa rute  $p$  lebih “cepat” dari rute  $r$ . Alasannya karena  $\exists t_p \in \text{Supp}(\tau_p)$  dan  $\exists t_q \in \text{Supp}(\tau_q)$  sedemikian sehingga  $t_p > t_q$  (Ban et al, 2004)



**Gambar 3** Ilustrasi Rute Optimum Fuzzy (*Fuzzy-Shortest-Path*) (Ban et al 2004)

Hubungan antara dua buah bilangan *fuzzy* dapat dinyatakan dalam perpotongan antara dua buah garis yang membentuk bilangan *fuzzy* tersebut. Perpotongan garis tersebut yang akan menyatakan bahwa derajat keanggotaan antara dua buah bilangan *fuzzy* tersebut sama.



**Gambar 4** Hubungan Dua Buah Bilangan Fuzzy

Jika sumbu vertikal dinyatakan dengan  $\alpha$  dan sumbu horisontal untuk  $t$ , sebuah bilangan fuzzy  $p$  dan  $q$  pada Gambar 4a dapat dinyatakan dalam persamaan dua garis lurus dengan variabel  $\alpha$  seperti pada persamaan 3 dan persamaan 4:

$$p = \{p_1 + (p_0 - p_1)\alpha; p_2 - (p_2 - p_0)\alpha\} \quad (3)$$

$$q = \{q_1 + (q_0 - q_1)\alpha; q_2 - (q_2 - q_0)\alpha\} \quad (4)$$

Bilangan *fuzzy* pada Gambar 4b dapat dinyatakan sebagai:

$$p = \{2 + \alpha, 6 - 3\alpha\} \quad (5)$$

$$q = \{4 + \alpha, 8 - 3\alpha\} \quad (6)$$

dan titik potong antara dua buah bilangan *fuzzy*  $p$  dan  $q$  pada  $\alpha$  adalah:

$$q_1 + (q_0 - q_1)\alpha = p_2 - (p_2 - p_0)\alpha$$

$$\alpha = \frac{p_2 - q_1}{\{(q_0 - q_1) + (p_2 - p_0)\}} \quad (7)$$

Gambar 5 memperlihatkan proses pembebanan lalu lintas dengan pendekatan *Fuzzy*. Secara garis besar algoritma pembebanan *fuzzy* (dimodifikasi dari Ban 2004) adalah sebagai berikut:

1. Membangun *Upper-Bound-Graph* (UBG)  $\bar{G}$  dan *Lower-Bound-Graph* (LBG)  $\underline{G}$ . Pertama, bangun *upper-bound-graph*  $\bar{G}$  dan *lower-bound-graph*  $\underline{G}$ , berdasarkan *original-fuzzy-graph*  $G$  (*graph* dengan biaya perjalanan aktual).
2. Mencari *Shortest-path* di UBG  $\bar{G}$ , menemukan *shortest-path* pada UBG  $\bar{G}$ , dan menyimpan biaya perjalanan *shortest-path* tersebut sebagai  $\kappa$ .
3. Mencari *Support* dari  $FSP_{rs}$ , mencari semua rute dalam LBG  $\underline{G}$  yang menghubungkan titik asal dan titik tujuan dengan waktu tempuh lebih kecil dari  $\kappa$ , dan menyimpan  $\underline{S}$  sebagai himpunan rute-rute tersebut:

$$\underline{S} = \{ \underline{p}_m \mid m = 1, 2, \dots, M \} \quad (8)$$

dengan:

$M$  adalah jumlah rute dalam  $\underline{S}$

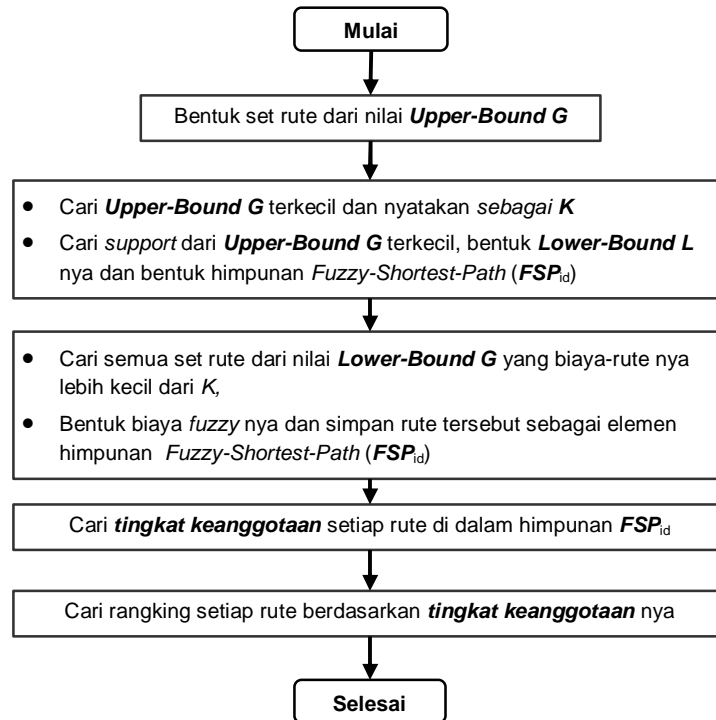
Untuk setiap  $\underline{p}_m$  dalam  $\underline{S}$ , dicari  $p_m$ , yang merupakan *counterpart* dalam *fuzzy graph G*. Semua  $p_m$  membangun *support* dari  $FSP_{rs}$ ,  $Supp(FSP_{rs})$ . sehingga:

$$Supp(FSP_{rs}) = \{ p_m \mid m = 1, 2, \dots, M \} \quad (9)$$

Bagian kritis pada tahap ini adalah pencarian  $\underline{S}$  dan ini dapat dicapai dengan berbagai metode yang telah dikembangkan oleh peneliti terdahulu.

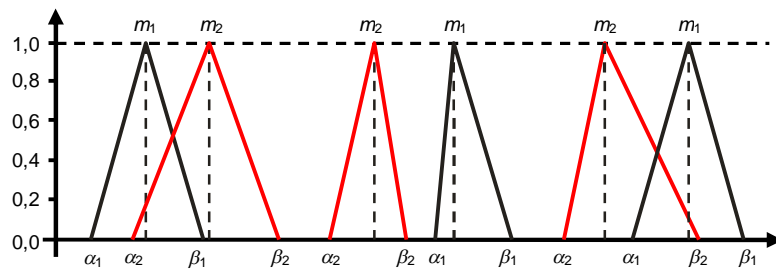
4. Membangun Fungsi Keanggotaan dari  $FSP_{ab}$ . Pada tahap ini dilakukan perhitungan fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk  $FSP_{rs}$ . Sebagai contoh, keanggotaan (*membership*) untuk setiap  $p \in Supp(FSP_{rs})$  terhadap  $FSP_{rs}$  ditunjukkan seperti  $\mu_{FSP_{rs}}(p_m)$  yang dapat diperoleh dari persamaan:

$$\mu_{FSP_{rs}}(p) = \min_{\forall q \in \Pi_{rs}} \{ \hat{\mu}_{qp \leq tq} \}, \quad \forall p \in \Pi_{rs} \quad (10)$$



**Gambar 5** Metode Pembebanan *Fuzzy*

Kemudian perlu dihitung keanggotaan (*membership*) dari “ $\leq$ ” antara  $\tau_{p_m}$  dan  $\tau_{p_n}$ ,  $\forall_n = 1, 2, \dots, M; n \neq m$ . Secara normal, analisis empirik perlu diaplikasikan untuk menentukan keanggotaan antar dua variabel *fuzzy* dengan *membership function* yang berubah-ubah. Bagaimanapun untuk dua buah variabel *fuzzy* tipe segitiga L-R (*triangular L-R type fuzzy variable*) hanya diperlukan aritmatika dasar. Seperti terlihat pada Gambar 6, diberikan dua variabel *fuzzy* tipe segitiga L-R,  $\tilde{m}_1 = (\alpha_1, m_1, \beta_1)$  dan  $\tilde{m}_2 = (\alpha_2, m_2, \beta_2)$ , tiga kasus dalam konteks bentuk dan posisi dua variabel *fuzzy* ini dan keanggotaan (*membership*) dari  $\tilde{m}_1 \leq \tilde{m}_2$  dapat perhitungkan sebagai Persamaan 11.



**Gambar 6** Model *Membership* dari “ $\leq$ ” untuk Dua Buah Variabel *Fuzzy* Tipe segitiga L-R.

$$\tilde{\mu}_{\tilde{m}_1 \leq \tilde{m}_2} = \begin{cases} 1, & \text{if } m_1 \leq m_2, \\ 0, & \text{if } m_1 - \alpha_1 \geq m_2 + \beta_2, \\ (1 - ((m_1 - m_2) / (\alpha_1 + \beta_2))), & \text{if } m_1 > m_2 \text{ dan } m_1 - \alpha_1 < m_2 + \beta_2 \end{cases} \quad (11)$$

Proses selanjutnya adalah membebaskan sejumlah arus  $T_{id}$  pada rute-rute terpilih berdasarkan nilai keanggotaan masing-masing rute dalam himpunan *shortest-path* (himpunan ini merupakan bilangan *fuzzy* rute terbaik pertama). Dengan arti lain tiap rute akan dicari nilai keanggotaannya terhadap bilangan *fuzzy* rute terbaik pertama (rute dengan nilai *upper-bound* terkecil). Setelah nilai keanggotaan masing-masing rute didapat, arus  $T_{id}$  akan disebarkan ke tiap rute dengan model logit berdasarkan nilai keanggotaannya dengan metode logit seperti Persamaan 12.

$$p(m | M) = \frac{\exp(\mu_{FSP_{rs}}(p_m))}{\sum_{i=M} \exp(\mu_{FSP_{rs}}(p_i))} \quad (12)$$

## UJI COBA DALAM JARINGAN ARTIFISIAL

Peralatan yang dipakai pada penelitian ini berupa Perangkat Lunak (*Software*), Bahasa Pemrograman, dan Perangkat Keras (*Hardware*). Rincian peralatan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Peralatan Yang Digunakan

| Jenis Peralatan             | Uraian   | Keterangan   |
|-----------------------------|--|--|
| Bahasa Pemrograman Software | C++<br><br>Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition   | <i>Software</i> dengan <i>free license</i> yang dapat di download langsung dari website <i>Microsoft</i> . |
| Hardware                    | Komputer dengan spesifikasi:<br>Operating System: Windows XP Professional (5.1, Build 2600) Service Pack 2; Processor: Intel(R) Core(TM)2 CPU T5500 @ 1.66GHz; Memory: 1014 MB |  |

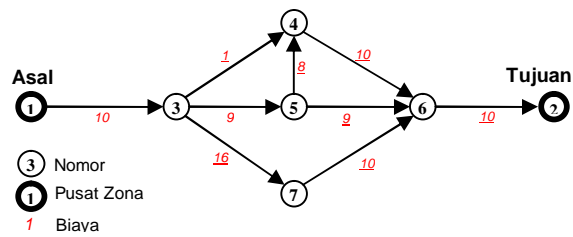
Sistem zona dan jaringan jalan buatan yang akan digunakan pada pada uji coba terdiri atas:

1. Satu set data buatan kecil (*small*) dengan satu zona asal, satu zona tujuan, tujuh simpul, dan sembilan ruas jalan satu arah. Set data buatan ini digunakan untuk uji coba algoritma pencarian rute *fuzzy* dan pembebanan sederhana *fuzzy*.
2. Satu set data buatan kecil (*small*) dengan satu zona asal, tiga zona tujuan, sembilan belas simpul, dan dua puluh tujuh ruas jalan satu arah. Set data buatan ini digunakan untuk melihat pola hasil pembebanan dengan metode *fuzzy* pada kondisi rute biaya murah, biaya sedang, dan biaya mahal. Set data buatan untuk jarak sedang mempunyai biaya ruas sebesar 1,5 kali biaya ruas biaya murah, dan jarak jauh mempunyai biaya ruas sebesar 2 kali biaya ruas biaya murah.

Sistem zona dan jaringan jalan buatan kecil dengan satu zona asal dan satu zona tujuan, tujuh simpul, dan sembilan buah ruas jalan satu arah dapat dilihat pada Gambar 7. Selain sistem zona dan sistem jaringan, untuk memodelkan perilaku pembebanan lalu lintas, masih diperlukan data masukan, yaitu matriks asal-tujuan (MAT) antar zona ( $T_{id}$ ).

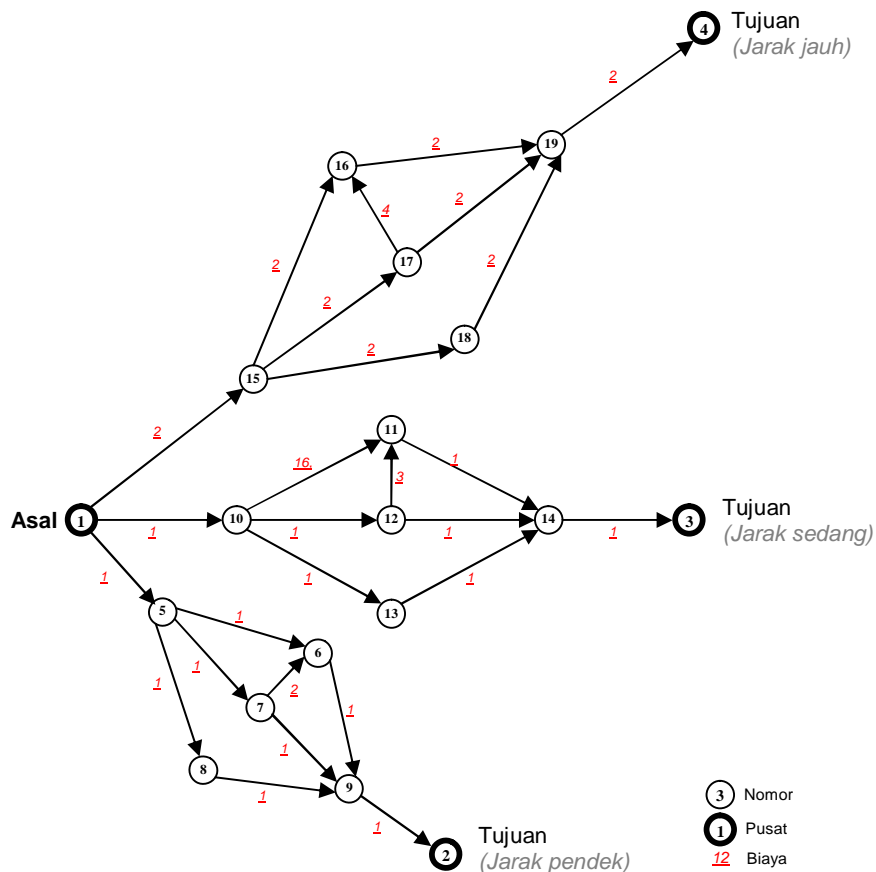
**Tabel 2** MAT Data Buatan Kecil (1 Pasang Zona Asal Tujuan)

| Zona  | 1 | 2   | $O_i$ |
|-------|---|-----|-------|
| 1     | 0 | 100 | 100   |
| 2     | 0 | 0   | 0     |
| $D_d$ | 0 | 100 | 100   |



**Gambar 7** Set Data Buatan Kecil (*Small*) dengan Satu Zona Asal dan Satu Zona Tujuan

Sistem zona dan jaringan jalan buatan kecil dengan satu zona asal dan tiga zona tujuan, sembilan belas simpul dan dua puluh tujuh buah ruas jalan satu arah dapat dilihat pada Gambar 8. Sistem zona dan jaringan pada data buatan kecil ini dibagi menjadi tiga bagian. Arus dari zona asal 1 ke zona tujuan 2 menggambarkan pergerakan antar asal-tujuan dengan persepsi biaya murah, arus dari zona asal 1 ke zona tujuan 3 menggambarkan pergerakan antar asal-tujuan dengan persepsi biaya sedang, dan arus dari zona asal 1 ke zona tujuan 4 menggambarkan pergerakan antar asal-tujuan dengan persepsi biaya mahal.

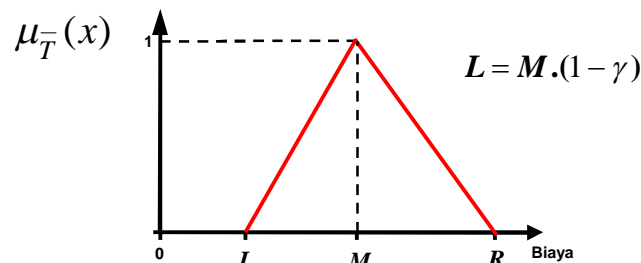


**Gambar 8** Set Data Buatan Kecil (*Small*) dengan Satu Zona Asal dan Tiga Zona Tujuan



### Hasil Percobaan untuk Set Data Buatan Kecil dengan Satu Pasang Zona Asal dan Tujuan

Pada model pembebanan *fuzzy* dengan nilai  $\gamma = 0,3$  didapat rute-banyak sebagai akibat perbedaan persepsi mengenai biaya perjalanan yang bersifat mempunyai bias 30% (Gambar 9). Jumlah perjalanan tidak difraksikan dengan asumsi sudah diwakili oleh bias akibat persepsi *fuzzy*. Tahap pembebanan adalah:



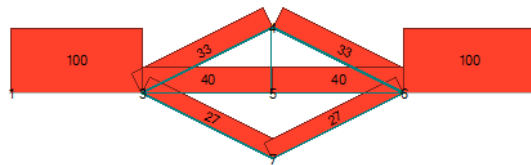
**Gambar 9** Biaya Perjalanan *Fuzzy*

1. Dari zona 1 ke zona 2 dicari urutan rute terbaik, mulai dari ke 1 sampai dengan ke 3. Didapat pilihan rute terbaik pertama adalah 1-3-5-6-2, rute terbaik kedua adalah 1-3-4-6-2, dan rute terbaik ketiga adalah 1-3-7-6-2.
2. Dicari derajat keanggotaan setiap rute terhadap rute terbaik pertama dengan mencari titik potong persamaan garis lurus antara rute terbaik pertama dan rute terbaik yang lain dengan menggunakan persamaan 7.
3. Pergerakan arus dibebankan berdasarkan derajat keanggotaan masing-masing rute terpilih, dengan semakin besar derajat keanggotaan suatu rute semakin besar arus yang akan melewati rute tersebut.

Hasil perhitungan derajat keanggotaan dan proporsi arus yang dibebankan berdasarkan derajat keanggotaan setiap rute dapat dilihat pada Tabel 3. Model *fuzzy* pada percobaan ini menghasilkan banyak-rute (tiga rute terbaik untuk dibebani) pada pasangan zona asal-tujuan 1-2 bergantung pada pendefinisian berapa jumlah yang kemungkinan bisa dibandingkan oleh pembuat perjalanan. Arus pada ruas adalah hasil penjumlahan arus hasil pembebanan berdasarkan derajat keanggotaan setiap rute terpilih Gambar 10 pergerakan lebih diarahkan pada rute termurah.

**Tabel 3** Hasil Perhitungan Pembebanan untuk Set Data Buatan Kecil dengan Satu Pasang Zona Asal dan Zona Tujuan

| Ranking<br><i>Shortest-path</i> | Biaya Perjalanan<br><i>Shortest-path</i> | Derajat Keanggotaan<br><i>Shortest-path</i> terhadap<br><i>Shortest-path</i> ke-1 | Proporsi<br>Pembebanan | Arus Hasil<br>Pembebanan |
|---------------------------------|--|---|------------------------|--------------------------|
| Pertama                         | 38                                       | 1   | 0,397476               | 40                       |
| Kedua                           | 42                                       | 0,833333  | 0,33123                | 33                       |
| Ketiga                          | 46                                       | 0,68254   | 0,271293               | 27                       |



**Gambar 10** Hasil Pembebanan Pada Set Data Buatan Kecil dengan Satu Pasang Zona Asal dan Zona Tujuan

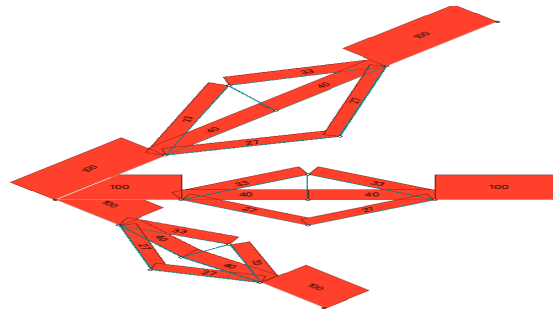
### Hasil Percobaan untuk Set Data Buatan Kecil dengan Tiga Pasang Zona Asal dan Tujuan

Pada model pembebanan *fuzzy* dengan nilai  $\gamma = 0,3$  didapat rute-banyak sebagai akibat perbedaan persepsi mengenai biaya perjalanan yang bersifat mempunyai bias 30% (Gambar 8). Jumlah perjalanan tidak difraksikan dengan asumsi sudah diwakili oleh bias akibat persepsi *fuzzy*. Tahap pembebanan adalah:

1. Dari zona 1 ke zona 2 dicari urutan rute terbaik mulai pertama sampai dengan ketiga, dan didapat pilihan rute terbaik pertama adalah 1-5-7-9-2, rute terbaik kedua adalah 1-5-6-9-2, dan rute terbaik ketiga adalah 1-5-8-9-2. Dari zona 1 ke zona 3 dicari urutan rute terbaik mulai dari pertama sampai dengan ketiga didapat pilihan rute terbaik pertama adalah 1-10-12-14-3, rute terbaik kedua adalah 1-10-11-14-3, dan rute terbaik ketiga adalah 1-10-13-14-3. Demikian juga dari zona 1 ke zona 4 dan diperoleh pilihan rute terbaik pertama adalah 1-15-17-19-4, rute terbaik kedua adalah 1-15-16-19-4, dan rute terbaik ketiga adalah 1-15-18-19-4.
2. Dicari derajat keanggotaan setiap rute pasangan zona asal tujuan terhadap rute terbaik pertama setiap pasang zona asal tujuan dengan mencari titik potong persamaan garis lurus antara rute terbaik pertama dan rute terbaik yang lain dengan menggunakan persamaan 7.
3. Pergerakan arus dibebankan berdasarkan derajat keanggotaan masing-masing rute terpilih dengan semakin besar derajat keanggotaan suatu rute semakin besar arus yang akan melewati rute tersebut.
4. Hasil perhitungan derajat keanggotaan dan proporsi arus yang dibebankan berdasarkan derajat keanggotaan setiap rute dapat dilihat pada Tabel 4. Arus pada ruas adalah hasil penjumlahan arus hasil pembebanan berdasarkan derajat keanggotaan setiap rute terpilih, dengan Pergerakan lebih diarahkan pada rute termurah yang mempunyai derajat keanggotaan besar, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

**Tabel 4** Hasil Perhitungan Pembebanan dengan Metode *Fuzzy*

| Ranking<br><i>Shortest-path</i> | Biaya perjalan<br><i>Shortest-path</i> | Derajat Keanggotaan<br><i>Shortest-path</i> terhadap<br><i>Shortest-path</i> ke-1 | Proporsi<br>pembebanan | Arus Hasil<br>Pembebanan |
|---------------------------------|--|---|------------------------|--------------------------|
| Zona 1 ke zona 2                |  |   |                        |                          |
| Pertama                         | 38                                     | 1   | 0,397476               | 40                       |
| Kedua                           | 42                                     | 0,833333  | 0,33123                | 33                       |
| Ketiga                          | 46                                     | 0,68254   | 0,271293               | 27                       |
| Zona 1 ke zona 3                |  |   |                        |                          |
| Pertama                         | 57                                     | 1   | 0,397476               | 40                       |
| Kedua                           | 63                                     | 0,833333  | 0,33123                | 33                       |
| Ketiga                          | 69                                     | 0,68254   | 0,271293               | 27                       |
| Zona 1 ke zona 4                |  |   |                        |                          |
| Pertama                         | 76                                     | 1   | 0,397476               | 40                       |
| Kedua                           | 84                                     | 0,833333  | 0,33123                | 33                       |
| Ketiga                          | 92                                     | 0,68254   | 0,271293               | 27                       |

**Gambar 11** Hasil Pembebanan pada Set Data Buatan Kecil dengan Tiga Pasang Zona Asal dan Tujuan

## KESIMPULAN

Dari hasil pengembangan model dan uji coba yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan set data buatan kecil pertama, yang terdiri atas sembilan ruas dan satu pasang zona asal dan zona tujuan, semua jenis metode pembebanan dapat menunjukkan nilai biaya yang berbeda sebagai gambaran adanya biaya persepsi dan adanya pengalihan rute sehingga dapat menghasilkan rute lebih dari satu. Akan tetapi untuk set data buatan ini belum dapat ditunjukkan adanya perbedaan pola pergerakan akibat perbedaan kelompok jarak rute (murah, sedang, dan mahal).
2. Dengan menggunakan set data buatan kecil kedua, yang terdiri atas dua puluh tujuh ruas dan tiga pasang zona asal dan zona tujuan, semua jenis metode pembebanan dapat menunjukkan nilai biaya yang berbeda sebagai gambaran adanya biaya persepsi dan adanya pengalihan rute sehingga dapat menghasilkan rute lebih dari satu. Selain itu telah dapat ditunjukkan adanya perbedaan pola pergerakan untuk kasus perbedaan jarak rute (murah, sedang, dan mahal).

3. Pada Metode *fuzzy* selalu akan menghasilkan banyak-rute sesuai dengan asumsi jumlah rute yang dapat diperkirakan oleh pembuat perjalanan serta selisih antara rute terbaik dengan rute alternatif berdasarkan nilai parameter  $\gamma$  yang ada. Hal ini berarti bahwa hasil akan bergantung pada ketepatan menentukan berapa jumlah rute yang dapat dibandingkan dan berapa selang antara batas-bawah dan batas-atas perkiraan biaya terhadap biaya aktualnya.

#### **Daftar Pustaka**

- Ban, X, dkk. 2004. *Traffic Assignment Model With Fuzzy Travel Time Perceptions*, 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Blue, M., dkk. 1997. *Applications of Fuzzy Logic to Graph Theory*. Los Alamos National Laboratory.
- Tamin, O.Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi – Edisi Kedua*. Penerbit ITB. Bandung. Indonesia.