ESTIMASI PARAMETER BILANGAN *FUZZY* SEGITIGA UNTUK MODEL PEMBEBANAN LALULINTAS *FUZZY*

Nindyo Cahyo Kresnanto[1], Ofyar Z. Tamin[2] dan Russ Bona Frazila[3]

[1] *Staf Pengajar, Program Studi Teknik Sipil, Fak. Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 57 Yogyakarta Telp/Fax: (0274)543676, email: nindyo_ck@yahoo.co.id*
[2] *Staf Pengajar, Sekolah Pascasarjana, Program Studi Teknik Sipil, Fak. Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung Telp/Fax: (022) 2502350, email: ofyar@trans.si.itb.ac.id*
[3] *Staf Pengajar, Sekolah Pascasarjana, Program Studi Teknik Sipil, Fak. Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung Telp/Fax: (022) 2502350, email: frazilla@trans.si.itb.ac.id*

ABSTRAK

Dalam metode pembebanan lalulintas yang mempertimbangkan perbedaan persepsi (efek stokastik) tentang biaya perjalanan, metode lama banyak menggunakan pendekatan probabilistik (Model Burrell, Kusdian, Keseimbangan Stokatik). Disisi lain metode *fuzzy* yang memliki kemampuan dalam menterjemahkan informasi yang bersifat informasi linguistik juga mulai banyak dikembangkan untuk mengatasi masalah perbedaan persepsi ini.

Model pembebanan lalulintas dengan pendekatan *fuzzy* menggunakan himpunan *fuzzy* untuk menyatakan biaya perjalanan pada setiap ruas sebagai input modelnya. Dengan mengetahui beberapa set data volume lalulintas pengamatan, parameter biaya perjalanan ini dapat diestimasi untuk mendapatkan model biaya perjalanan *fuzzy* terbaik.

Pada makalah ini dicoba mengestimasi parameter bilangan *fuzzy* untuk model pembebanan lalulintas pada kondisi batasan kapasitas. Metode estimasi yang digunakan adalah metode newton-raphson. Hasil uji model diperlihatkan dengan konvergensi nilai paramater pada satu nilai tertentu.

Kata kunci: Model Pembebanan Lalulintas Fuzzy, Model Estimasi, Bilangan Fuzzy

1. PENDAHULUAN

Ketidak-tentuan adalah merupakan bagian tidak terpisahkan dalam menganalisis sistem transportasi. Prilaku manusia, yang menjadi fokus utama dalam analisis transportasi, mempunyai banyak variasi yang perlu dipertimbangkan. Secara konvensional, dalam rekayasa dan perencanaan transportasi, aspek ketidak-tentuan ini sering diabaikan/disederhanakan atau dipertimbangkan dengan satu paradikma pendekatan yaitu teori probabilitas **(Kikuchi, 2005)**.

Khusus dalam Model Pembebanan Jaringan yang merupakan model terakhir dari rangkaian Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (MPTEP), faktor utama ketidak-tentuan persepsi pengguna terhadap biaya perjalanan, biasa dimodelkan dalam kerangka teori probabilitas dengan menggunakan model utilitas acak (*random utility model*). **Inokuchi (2002)** mengatakan bahwa pendekatan ini kurang realistik karena tidak mungkin menyatakan biaya perjalanan secara akurat dengan pendekatan *human recognition* jika menggunakan model utilitas acak (*random utility model*).

Pemecahan masalah model pembebanan jaringan dengan metode Sistem *Fuzzy* dikatakan lebih realistik, karena pada kenyataannya permasalahan transportasi (terutama pembebanan jaringan) lebih bersifat *real-life*, tidak-pasti, subyektif, dan tidak-teliti (*imprecise*). Sebagai contoh: ketika kita melakukan perjalanan, kita mengatakan bahwa waktu perjalanan dari A ke B "**sekitar** 10 menit". Terlihat bahwa informasi yang bersifat linguistik "**sekitar**" merupakan faktor yang bersifat tidak dapat diukur dengan tepat (mempunyai rentang nilai tertentu).

Permasalahan utama selanjutnya dalam model pembebanan *fuzzy* adalah menentukan parameter rentang nilai yang tepat sehingga hasil model pembebanan bias sesuai dengan kondisi nyata. Pemecahan masalah selanjutnya didiskusikan dalam model estimasi parameter bilangan *fuzzy* untuk pembebanan lalulintas. Dalam makalah ini, pembabanan fuzzy dikembangkan dari model pembebanan berulang dengan biaya ruas *fuzzy*.

2. MODEL PEMBEBANAN LALULINTAS

Pemodelan pemilihan rute dibuat untuk tujuan menentukan jumlah pergerakan yang berasal dari zona asal $\boldsymbol{i}$ ke zona tujuan $\boldsymbol{d}$ dengan menggunakan rute $\boldsymbol{r}$ ($\boldsymbol{T_{idr}}$) dari jumlah total pergerakan yang terjadi antara setiap zona asal $\boldsymbol{i}$ ke zona tujuan ***d*** (T_{id}). Konsep pemodelan pemilihan rute pada sudut pandang analisis jaringan adalah **analisis kebutuhan-sediaan sistem transportasi** (pembebanan).

Setiap model mempunyai tahapan yang harus dilakukan secara berurutan. Fungsi dasarnya adalah:

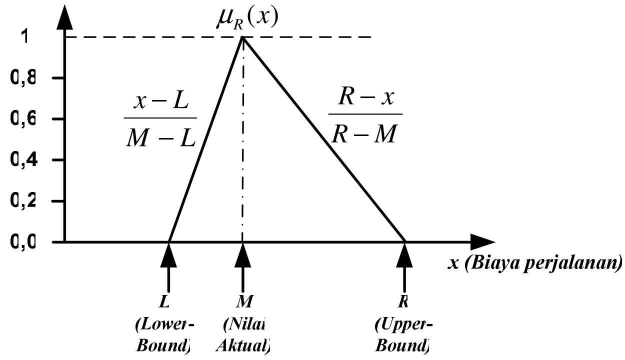
- mengidentifikasi beberapa set rute yang akan diperkirakan menarik bagi pengendara; rute ini disimpan dalam struktur data yang disebut **pohon**; oleh sebab itu, tahapan ini disebut tahap **pembentukan pohon**.
- membebankan segmen MAT ke jaringan jalan yang menghasilkan volume pergerakan pada setiap ruas jalan.

3. MODEL PEMBEBANAN LALULINTAS FUZZY

Biaya Perjalanan *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. Biaya perjalanan ruas dinyatakan dalam himpunan *fuzzy* untuk menggambarkan dugaan pelaku perjalanan terhadap biaya tersebut. Dugaan terhadap biaya perjalanan sering dinyatakan secara liguistik 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*. Dari berbagai macam kemungkinan tipe bilangan *fuzzy*, dalam penelitian desertasi ini digunakan tipe bilangan *fuzzy* segitiga L-R (L-R *triangular fuzzy number*) seperti pada **Gambar 1**.



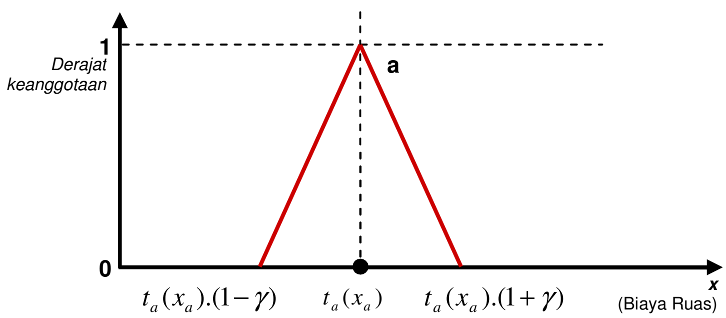
Gambar 1. Bilangan *fuzzy* segitiga L-R untuk biaya perjalanan ruas

M adalah biaya aktual hasil perhitungan pemodel, **L** dan **R** didefinisikan merupakan fungsi dari γ (paramater yang harus dikalibrasi) sebagai **persamaan 1**.

$$\tilde{t}_a(x_a) = t_a(x_a) \pm \tilde{\varepsilon}_a\left[t_a(x_a)\right] \quad (1)$$

dengan $\tilde{t}_a(x_a)$ = biaya ruas *fuzzy*, $t_a(x_a)$ = biaya ruas aktual, $\tilde{\varepsilon}_a\left[t_a(x_a)\right] = t_a(x_a).(1+\gamma)$, dan γ = parameter yang harus dikalibrasi

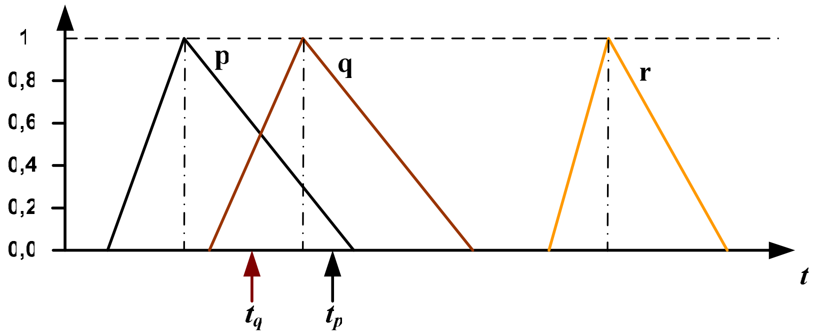
Contoh (**Gambar 2**) jika terdapat sebuah biaya ruas *fuzzy* ***a*** (sekitar ***a***) maka secara matematis dapat didefinisikan sebagai:



Gambar 2. Biaya ruas *fuzzy* ***a***

Fuzzy Shortest Path

Dalam sebuah jaringan deterministik, rute terpendek 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, kita tidak dapat menentukan sebuah rute tunggal yang dapat dinyatakan sebagai rute terpendek. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada **Gambar 3**. $\boldsymbol{p}$, $\boldsymbol{q}$, $\boldsymbol{r}$ adalah tiga buah rute dengan masing-masing biaya rute $\boldsymbol{\tau_p}$, $\boldsymbol{\tau_q}$, dan $\boldsymbol{\tau_r}$ dalam biaya-rute-*fuzzy*. Secara intuisi, terlihat jelas bahwa rute $\boldsymbol{p}$ dan $\boldsymbol{q}$ lebih "**cepat**" dari rute $\boldsymbol{r}$. Tetapi untuk rute $\boldsymbol{p}$ dan $\boldsymbol{q}$, kita tidak dapat mengatakan secara mutlak bahwa rute $\boldsymbol{p}$ lebih "**cepat**" dari rute $\boldsymbol{r}$. Alasannya karena $\exists t_p \in \boldsymbol{Supp}(\tau_p)$ dan $\exists t_q \in \boldsymbol{Supp}(\tau_q)$ sedemikian sehingga $t_p > t_q$ (**Ban et al, 2004**).



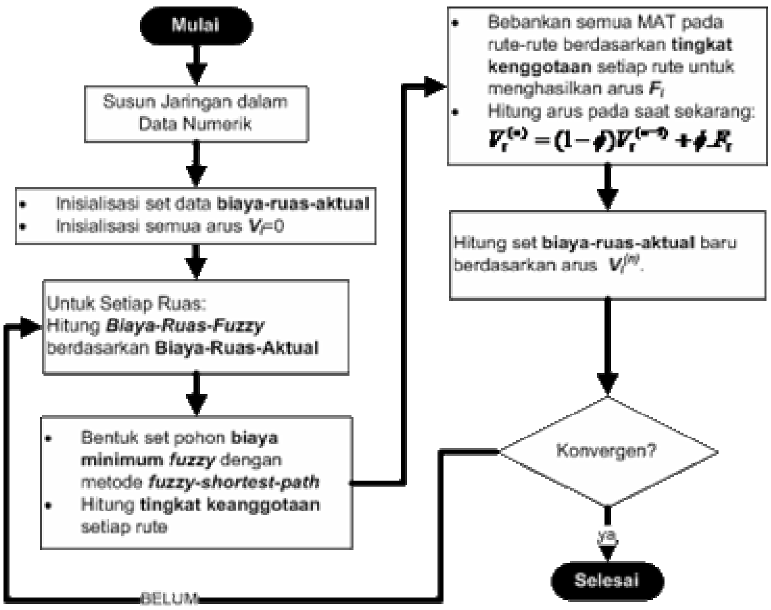
Gambar 3. Ilustrasi rute optimum *fuzzy* (*fuzzy shortest path*) (**Ban et al 2004**)

Dalam kasus *fuzzy* tersebut, rute terpendek tidak dapat secara langsung ditetapkan, karena jika biaya ruas didefinisikan menggunakan biaya-ruas-*fuzzy* maka kemungkinan rute terpendek akan lebih dari satu rute. **Blue dkk (1997)** telah mengembangkan algoritma dasar untuk menentukan rute terpendek dalam kasus *fuzzy*. Asumsi dasar yang digunakan adalah:

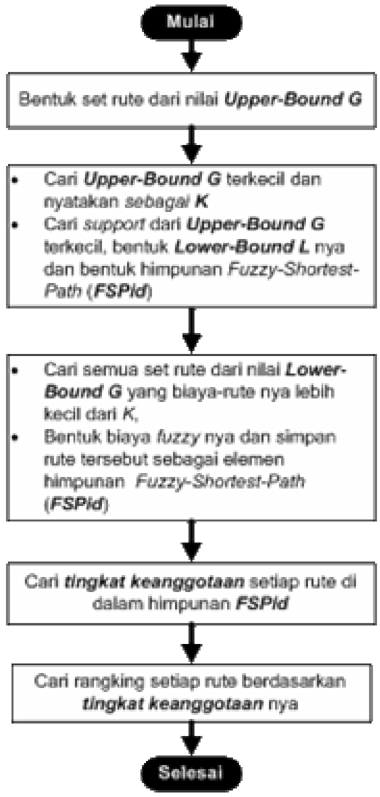
1. Tidak ada dominasi rute tercepat.
2. Biaya ruas dinyatakan dalam *Fuzzy-Number* (Bilangan *Fuzzy*).
3. Rute tercepat diurutkan berdasarkan rangking.

Pembebanan Lalulintas *Fuzzy*

Secara garis besar Model Pembebanan *Fuzzy* merupakan pengembangan model pembebanan berulang dengan metode *Method of Successive Average* (**Gambar 4**): (1). *Input* biaya perjalanan berupa biaya perjalanan *fuzzy,* (2). Pemilihan rute dengan metode *Fuzzy-Shortest-Path* (**Gambar 5**), dan (3). Mempertimbangkan batasan kapasitas.



Gambar 4. Model Pembebanan *Fuzzy*



Gambar 5. Algoritma *Fuzzy-Shortest-Path*

4. METODE ESTIMASI KUADRAT TERKECIL

Tamin (2000) menjelaskan bahwa ide dari metode ini adalah mengkalibrasi parameter yang tidak diketahui dengan meminimumkan jumlah perbedaan atau deviasi kuadrat antara arus lalu lintas hasil estimasi dengan arus lalu lintas hasil pengamatan. Fungsi obyektif dari metode estimasi kuadrat terkecil untuk data arus lalu lintas adalah sebagai berikut:

$$\text{Minimumkan } \mathbf{S} = \sum_{l} \left[\frac{1}{\dot{\boldsymbol{V}}_l} \left(\boldsymbol{V}_l - \hat{\boldsymbol{V}}_l \right)^2 \right] \tag{2}$$

Dengan $\dot{\boldsymbol{V}}_l = 1$ untuk Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linier (KTTL), $\dot{\boldsymbol{V}}_l = \hat{\boldsymbol{V}}_l$ untuk Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linier-Berbobot (KTTLB), $\hat{\boldsymbol{V}}_l$ = jumlah arus lalu lintas pada ruas hasil pengamatan, dan $\boldsymbol{V}_l$ = jumlah arus lalu lintas pada ruas hasil pemodelan.

5. MODEL ESTIMASI PARAMETER PEMBEBANAN LALULINTAS FUZZY

Dalam makalah ini biaya ruas *fuzzy* yang akan digunakan adalah: *Fuzzy Triangular Number* (Bilangan fuzzy segitiga) dengan $\boldsymbol{Upper-Bound} = \boldsymbol{M}.(1+\gamma)$ dan $\boldsymbol{Under-Bound} = \boldsymbol{M}.(1+\gamma)$. Digunakan bilangan fuzzy segitiga simetris sehingga derajat keanggotaan dalam himpunan bilangan fuzzy tersebut dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$\mu_k(\boldsymbol{SP}) = 1 - \frac{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{SP})}{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{UndK}) + (\boldsymbol{UppSP} - \boldsymbol{t}_{SP})} \tag{3}$$

dengan $\mu_k(\boldsymbol{SP})$ = keanggotaan dari rute $\boldsymbol{k}$ dalam *shortest paths*, $\boldsymbol{t}_k$ = biaya perjalanan aktual rute $\boldsymbol{k}$, $\boldsymbol{t}_{SP}$ = biaya perjalanan aktual rute ***shortest path***, ***UndK*** = batas bawah (*under bound*) biaya perjalanan rute $\boldsymbol{k}$, dan ***UndSP*** = batas atas (upper bound) biaya perjalanan rute ***shortest path***.

Mempertimbanglan persamaan Under-Bound dan Upper-Bound seperti pada **persamaan (1)**, **persamaan (3)** dapat dituliskan kembali sebagai:

$$\mu_k(\boldsymbol{SP}) = 1 - \frac{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{SP})}{(\gamma.\boldsymbol{t}_{SP} + \gamma.\boldsymbol{t}_k)} \tag{4}$$

Fungsi tujuan untuk estimasi parameter dalam fuzzy-travel-cost sebagai masukan untuk model pembebanan lalulintas dengan batasan kapasitas dengan Metode Kuadrat Terkecil adalah:

$$\text{Meminimasi } \boldsymbol{S} = \sum_k \left[\frac{1}{\dot{\boldsymbol{V}}_k} \left(\boldsymbol{V}_k^{(n)} - \hat{\boldsymbol{V}}_k \right)^2 \right]$$

dengan $\dot{\boldsymbol{V}}_k$ = 1 untuk Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linier (KTTL), = jumlah arus lalu lintas pada ruas hasil pengamatan rute $\boldsymbol{k}$, $\boldsymbol{V}_k^{(n)}$ = jumlah arus lalu lintas pada ruas hasil pemodelan rute $\boldsymbol{k}$, dalam $\boldsymbol{n}$ iterasi.

Untuk menghasilkan parameter $\boldsymbol{\gamma}$ yang uniq dari model fuzzy-travel-cost dengan meminimasi persamaan dengan metode *Newton-Rapshon*.

$$\frac{\partial \boldsymbol{S}}{\partial \gamma} = \sum_k \left[\frac{1}{\dot{\boldsymbol{V}}_k} \left\{ 2\left(\boldsymbol{V}_k^{(n)} - \hat{\boldsymbol{V}}_k \right) \frac{\partial \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma} \right\} \right] = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{S}}{\partial \gamma^2} = \sum_k \left[\frac{2}{\dot{\boldsymbol{V}}_k} \left\{ \left(\frac{\partial \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma} \right)^2 + \left(\boldsymbol{V}_k^{(n)} - \hat{\boldsymbol{V}}_k \right) \frac{\partial^2 \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma^2} \right\} \right] \tag{6}$$

$$\boldsymbol{V}_k^{(n)} = \sum_i \sum_d \sum_m \left((1-\phi) \boldsymbol{V}_{id}^{km(n-1)} + \phi \boldsymbol{F}_{id}^{km(n)} \right) \tag{7}$$

Dengan $\boldsymbol{V}_{id}^{km(n-1)}$ = Arus lalulintas dari zona asal $\boldsymbol{i}$ ke zona tujuan $\boldsymbol{d}$ di ruas $\boldsymbol{k}$, rute -$\boldsymbol{m}$, iterasi ke $\boldsymbol{n}$-1, $\boldsymbol{F}_{id}^{km(n)}$ = Arus lalulintas hasil pembebanan dari zona asal $\boldsymbol{i}$ ke zona tujuan $\boldsymbol{d}$ di ruas $\boldsymbol{k}$, ruta-$\boldsymbol{m}$, iterasi ke $\boldsymbol{n}$, ϕ = 1/$\boldsymbol{n}$ (*Method of Successive Average*)

Persamaan-persamaan selanjutnya diturunkan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{S} = \sum_k \left[\frac{1}{\dot{\boldsymbol{V}}_k} \left[\sum_i \sum_d \sum_m \left((1-\phi) \boldsymbol{V}_{id}^{km(n-1)} + \phi \boldsymbol{F}_{id}^{km(n)} \right) - \hat{\boldsymbol{V}}_k \right]^2 \right]$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{S}}{\partial \gamma} = \sum_k \left[\frac{2}{\dot{\boldsymbol{V}}_k} \left(\sum_i \sum_d \sum_m \left((1-\phi) \boldsymbol{V}_{id}^{km(n-1)} + \phi \boldsymbol{F}_{id}^{km(n)} \right) - \hat{\boldsymbol{V}}_k \right) \left(\frac{\partial \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma} \right) \right]$$

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{S}}{\partial \gamma^2} = \sum_k \left[\frac{2}{\dot{\boldsymbol{V}}_k} \left\{ \left(\frac{\partial \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma} \right)^2 + \left(\sum_i \sum_d \sum_m \left((1-\phi) \boldsymbol{V}_{id}^{km(n-1)} + \phi \boldsymbol{F}_{id}^{km(n)} \right) - \hat{\boldsymbol{V}}_k \right) \left(\frac{\partial^2 \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma^2} \right) \right\} \right]$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma} = \phi \sum_i \sum_d \sum_m \left(\frac{\partial \boldsymbol{F}_{id}^{km(n)}}{\partial \gamma} \right)$$

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{V}_k^{(n)}}{\partial \gamma^2} = \phi \sum_i \sum_d \sum_m \left(\frac{\partial^2 \boldsymbol{F}_{id}^{km(n)}}{\partial \gamma^2} \right)$$

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{F}_{id}^{km(n)}}{\partial \gamma^2} = \boldsymbol{F}_{id}^{k(n)} \left[\begin{array}{l} +2 \dfrac{1}{\left\{ \sum\limits_m \left(\exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) \right) \right\}^2} \left\{ \sum\limits_m \left(\dfrac{\partial \mu_m(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma} \exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) \right) \right\}^2 \\ -2 \dfrac{\partial \mu_k(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma} \left\{ \sum\limits_m \left(\dfrac{\partial \mu_m(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma} \exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) \right) \right\} - \dfrac{1}{\sum\limits_m \left(\exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) \right)} \\ -2 \dfrac{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{sp})}{(\gamma \boldsymbol{t}_k + \gamma \boldsymbol{t}_{sp})^3} (\boldsymbol{t}_k + \boldsymbol{t}_{sp})^2 + \dfrac{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{sp})^2}{(\gamma \boldsymbol{t}_k + \gamma \boldsymbol{t}_{sp})^4} (\boldsymbol{t}_k + \boldsymbol{t}_{sp})^2 \end{array} \right]$$

$$-\sum_m \left\{ 2 \frac{(\boldsymbol{t}_m - \boldsymbol{t}_{sp})}{(\gamma \boldsymbol{t}_m + \gamma \boldsymbol{t}_{sp})^3} (\boldsymbol{t}_m + \boldsymbol{t}_{sp})^2 \exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) + \frac{(\boldsymbol{t}_m - \boldsymbol{t}_{sp})^2}{(\gamma \boldsymbol{t}_m + \gamma \boldsymbol{t}_{sp})^4} (\boldsymbol{t}_m + \boldsymbol{t}_{sp})^2 \exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) \right\}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{F}_{id}^{k(n)}}{\partial \gamma} = \left\{ \boldsymbol{F}_{id}^{k(n)} \frac{\partial \mu_k(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma} \right\} - \boldsymbol{F}_{id}^{k(n)} \frac{1}{\sum\limits_m \left(\exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) \right)} \left\{ \sum_m \left(\frac{\partial \mu_m(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma} \exp\left(\mu_m(\boldsymbol{SP}) \right) \right) \right\}$$

$$\boldsymbol{F}_{id}^{km(n)} = \boldsymbol{T}_{id} \frac{\exp(\mu_k(\boldsymbol{SP}))}{\sum\limits_m \exp(\mu_m(\boldsymbol{SP}))} \quad \text{(hasil dari proses pembebanan)}$$

$$\frac{\partial^2 \mu_k(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma^2} = -2(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{SP})^2 \frac{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{SP})}{(\gamma.\boldsymbol{t}_{SP} + \gamma.\boldsymbol{t}_k)^3}$$

$$\frac{\partial^2 \mu_m(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma^2} = -2 \sum_m \left((\boldsymbol{t}_m - \boldsymbol{t}_{SP})^2 \frac{(\boldsymbol{t}_m - \boldsymbol{t}_{SP})}{(\gamma.\boldsymbol{t}_{SP} + \gamma.\boldsymbol{t}_m)^3} \right)$$

$$\frac{\partial \mu_k(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma} = (\boldsymbol{t}_k + \boldsymbol{t}_{SP}) \frac{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{SP})}{(\gamma.\boldsymbol{t}_{SP} + \gamma.\boldsymbol{t}_k)^2}$$

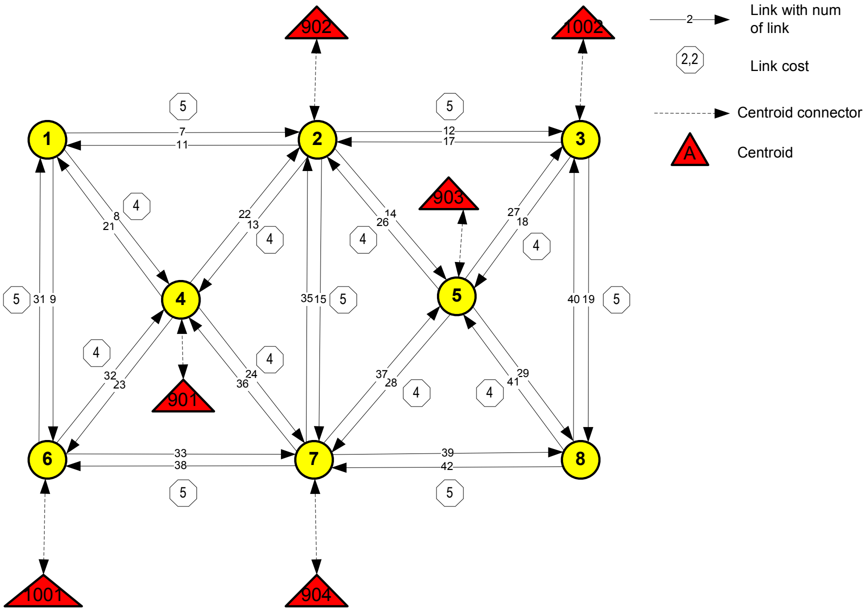
$$\frac{\partial \mu_m(\boldsymbol{SP})}{\partial \gamma} = \sum_m \left\{ (\boldsymbol{t}_m + \boldsymbol{t}_{SP}) \frac{(\boldsymbol{t}_m - \boldsymbol{t}_{SP})}{(\gamma.\boldsymbol{t}_{SP} + \gamma.\boldsymbol{t}_m)^2} \right\}$$

$$\mu_k(\boldsymbol{SP}) = 1 - \frac{(\boldsymbol{t}_k - \boldsymbol{t}_{SP})}{(\gamma.\boldsymbol{t}_{SP} + \gamma.\boldsymbol{t}_k)} \quad \text{(keanggotaan/}\textit{membership}\text{ rute)}$$

6. DATA BUATAN DAN PROSES UJI COBA MODEL

Data Buatan Untuk Uji Model

Untuk uji model menggunakan data sistem zona dan jaringan buatan yang terdiri dari 6 zona dan 15 ruas dua arah seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Sistem zona dan jaringan data buatan

Karakteristik setiap ruas terutama data volume pengamatan ($\hat{V}_l$) dapat dilihat pada **Table 1.** Volume pengataman dibangun berdasarkan data volume hasil model ($\dot{V}_l$) dengan menggunakan $\boldsymbol{\gamma} = 1$ dan diberikan faktor error ±10%.

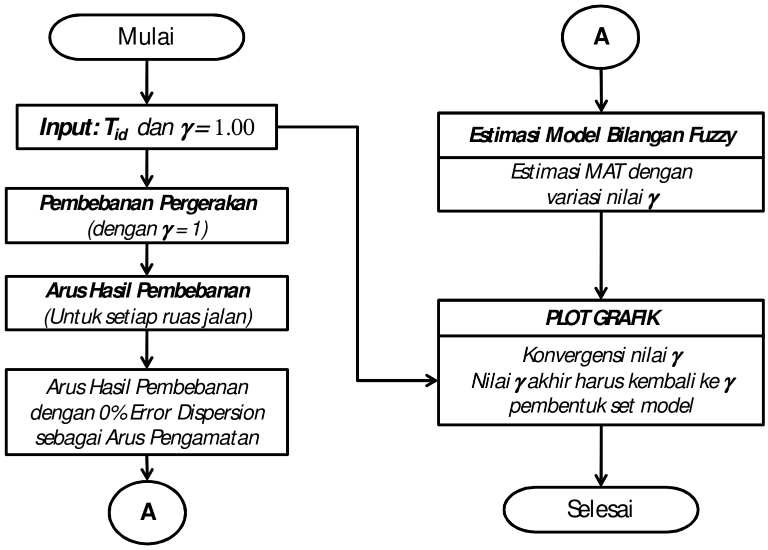
Tabel 1. Karakteristik system jaringan data buatan

Link Num	inode	jnode	cost	V_{model} (γ =1)	$V_{observed}$	Error ±10%
7	1	2	5	65	70.00	7.69
9	1	6	5	32	33.00	3.13
11	2	1	5	48	53.00	10.42
12	2	3	5	200	209.00	4.50
13	2	4	4	461	471.00	2.17
14	2	5	4	290	318.00	9.66
15	2	7	5	196	207.00	5.61
17	3	2	5	350	374.00	6.86
18	3	5	4	394	425.00	7.87
19	3	8	5	134	145.00	8.21
20	4	9	1	719	737	2.50
21	4	1	4	59	54.00	-8.47
22	4	2	4	361	332.00	-8.03
23	4	6	4	233	225.00	-3.43
24	4	7	4	306	303.00	-0.98

Link Num	inode	jnode	cost	V_{model} (γ=1)	$V_{observed}$	Error ±10%
26	5	2	4	386	349.00	-9.59
27	5	3	4	269	243.00	-9.67
28	5	7	4	527	489.00	-7.21
29	5	8	4	109	99.00	-9.17
31	6	1	5	43	40.00	-6.98
32	6	4	4	243	240.00	-1.23
33	6	7	5	221	202.00	-8.60
35	7	2	5	243	239.00	-1.65
36	7	4	4	343	319.00	-7.00
37	7	5	4	455	453.00	-0.44
38	7	6	5	253	247.00	-2.37
39	7	8	5	156	169.00	8.33
40	8	3	5	95	97.00	2.11
41	8	5	4	114	123.00	7.89
42	8	7	5	190	204.00	7.37

Proses Uji Model

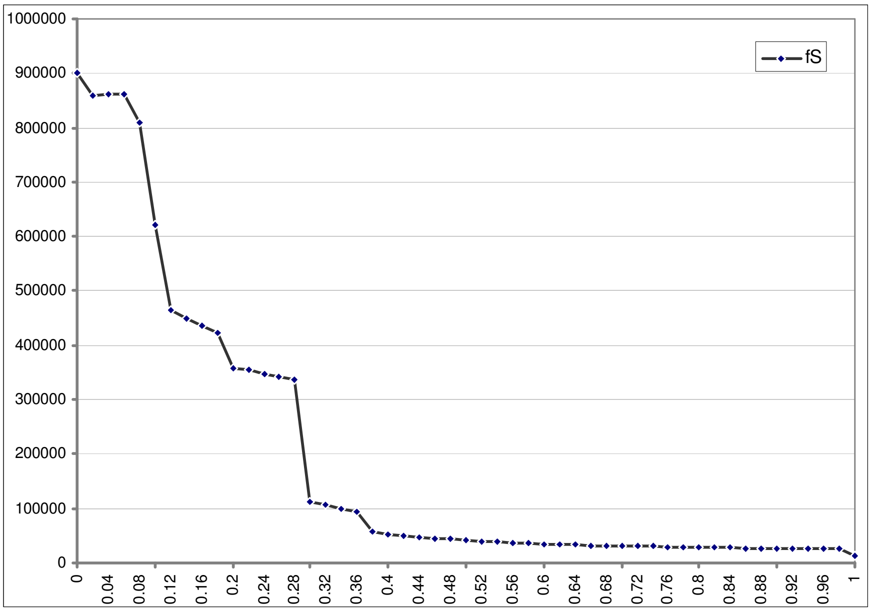
Proses estimasi dimulai dengan membebankan sejumlah kebutuhan transportasi tertentu ($\boldsymbol{T_{id}}$) pada jaringan jalan fuzzy (jaringan jalan dengan biaya ruas *fuzzy*) dengan parameter bilangan *fuzzy* $\boldsymbol{\gamma} = 1$. Selanjutnya arus hasil pembebanan dengan penambahan faktor error 10% dijadikan sebagai arus hasil pengamatan. Model dijalankan dengan variasi beberapa nilai $\boldsymbol{\gamma}$. Iterasi dilakukan sampai nilai γ mendekati nilai $\boldsymbol{\gamma}$ pembentuk model = 1 (**Gambar 7**)



Gambar 7. Proses estimasi model pembebanan lalulintas *fuzzy*

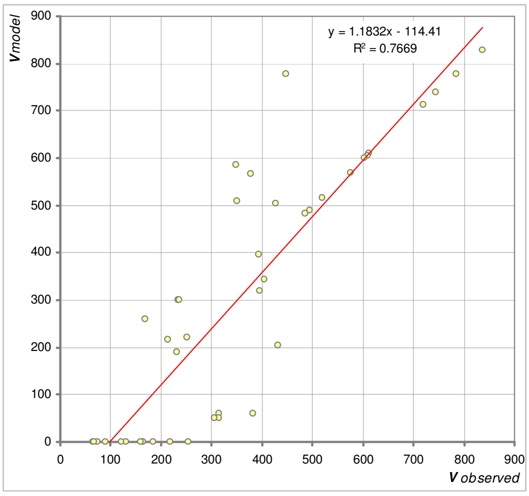
7. HASIL UJI COBA MODEL

Dalam makalah ini, pengembangan model estimasi baru sampai pada tahap validasi dan uji coba model dalam data buatan sederhana. Hasil uji model diperlihatkan dengan nilai konvergensi γ terhadap nilai fungsi tujuan S. Semakin nilai γ mendekati nilai γ yang diharapkan yaitu 1, maka nilai fungsi tujuan S akan mendekati 0 (Gambar 8). Nilai γ sudah mendekati konvergen pada $\gamma = 0{,}4$.

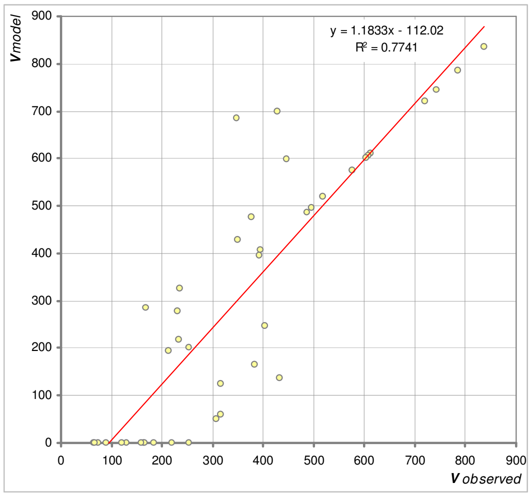


Gambar 8. Grafik hubungan γ dengan S

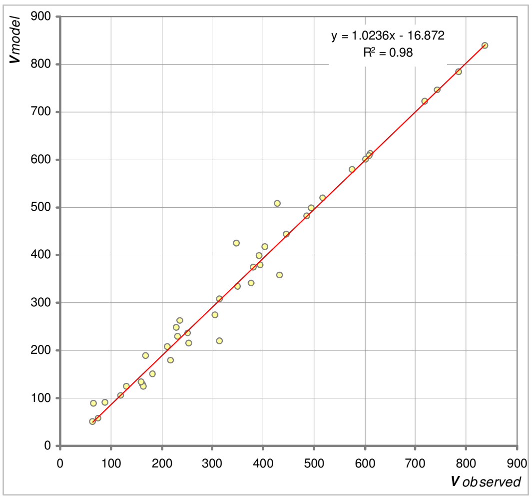
Gambar 9 memperlihatkan hubungan V_{model} dengan $V_{pengamatan}$ pada beberapa nilai γ. Semakin nilai γ mendekati nilai 1 makan nilai R^2 akan semakin mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa model telah dapat menghasilkan nilai parameter fuzzy-travel-cost untuk masukan model pembebanan *fuzzy* yang dapat mengahasilkan volume hasil estimasi yang mendekati volume pengamatan.



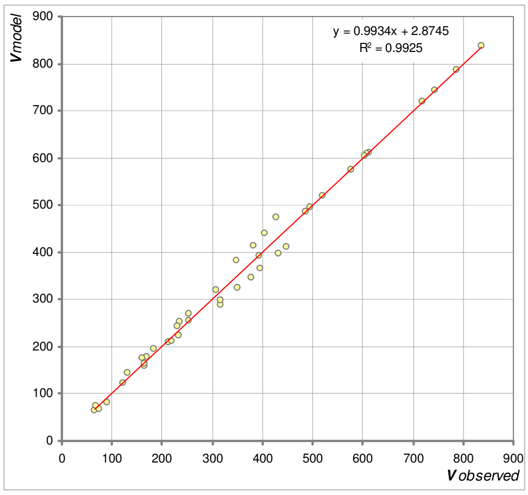
$\gamma = 0$



$\gamma = 0{,}05$



$\gamma = 0{,}5$



$\gamma = 1{,}0$

Gambar 9. Grafik hubungan V_{model} dan V_{observed} pada beberapa nilai γ

8. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uji pada data buatan sederhana dapat diambil beberapa kesimpulan tentang model estimasi parameter bilangan *fuzzy* segitiga untuk model pembebanan lalulintas *fuzzy* sebagai berikut:

1. Model telah dapat menghasilkan nilai γ (parameter bilangan *fuzzy* segitiga) mendekati kondisi konvergen mulai dari 0,4 sampai dengan 1. Diperlihatkan dengan gambar 8, perubahan nilai ***S*** yang mulai landai pada nilai **γ** = 0,4 menuju **γ** = 1. Ada titik optimum nilai **γ**.
2. Uji statistik R^2 pada V_{model} dengan V_{observed} memperlihatkan nilai R2 pada g = 0,5 mempunyai kecenderungan sama dengan R2 pada **γ** = 1. Dapat disimpulkan ada sebuah nilai optimum **γ** tertentu.

Beberapa saran untuk penelitian lanjutan dapat diberikan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan tinjauan terhadap jenis-jenis bilangan *fuzzy* yang lain.
2. Setelah didapatkan nilia parameter bilangan *fuzzy* γ, perlu dikaji atau dibandingkan dengan model pembebanan lain seperti equilibrium atau pembebanan yang mempertimbangkan efek stokastik
3. Perlu diujicobakan pada jaringan yang lebih komplek.

DAFTAR PUSTAKA

Akiyama, T., dan Kawahara, T. (1997), Traffic assignment model with fuzzy travel time information. In *9th mini EURO Conf.: Fuzzy sets in Traffic and Transport Systems,* Budva, Yugoslavia, September 1997.

Akiyama, T., dan Tomoko, N. (1998), The Proposal Of Fuzzy Traffic Assignment Models, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 3, No. 6, pp. 263-277*.

Akiyama, T., dan Tsuboi, H. (1999), Description of Route Choice Behaviour by Fuzzy Neural Network, *Research Report of The Faculty of Engineering Gifu University, No. 49, pp. 27-38*.

Ban, X., Liu, H.X., Hu, B., He, R., dan Ran, B., (2004), Traffic Assignment Model With Fuzzy Travel Time Perceptions, *83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

Benetti, M., dan Marco, D.M. (2002), Traffic Assignment Model With Fuzzy Travel Cost, *13th Mini - EURO Conference and 9th Meeting of the Euro Working Group on Transportation June 10-13*, Bari - Italy.

Blue, M., Bush, B., dan Puckett, J. (1997), *Applications of Fuzzy Logic to Graph Theory*, Los Alamos National Laboratotry.

Burrell, J.E. (1968), Multiple Route Assignment and Its Application to Capacity Restraints, *Proceedings of the 4th International Symposium on the Theory of Traffic* Flow, Karlsruhe, 210−219.

Henn, V. (1997), Fuzzy route choice model for traffic assignment, *9th mini Euro conference: Fuzzy sets in Traffic and Transport Systems,* Budva, Yugoslavia, September 1997. (Also in *Fuzzy Sets and Systems,* 116(1):77-101, 2000).

Henn, V. (2001), *Traffic information and traffic assignment :towards a fuzzy model.* PhD thesis, Saint-Etiene University, France, June 2001 (*Information routiere et affectation du traffic: vers une modelisation floue*).

Henn, V. (2002), What is the meaning of fuzzy costs in fuzzy traffic assignment models?, *Dans 13th mini Euro conference "Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems",* Bari, Italy, Juni 2002.

Kresnanto, N.C. (2009), Model Pembebanan Lalulintas Banyak Rute Dengan Pendekatan Sistem Fuzzy, *Disertasi*, Institut Teknologi Bandung.

Kresnanto, N.C., Tamin, O.Z., dan Frazila, R.B. (2008), Path Finding Algorithm on Fuzzy Travel Cost Condition, *International Journal of Logistic and Transport*, Volume 2 - Number 2, October 2008, The Chartered Institute of Logistics & Transport, Thailand.

Kresnanto, N. C., Tamin, O.Z., dan Frazila, R.B. (2008), Fuzzy Travel Cost in Trip Assignment, *Asia Pacific Conference on Art Science Engineering Technology* (ASPAC on ASET), Juni, Solo, Indonesia.

Kresnanto, N.C. Tamin, O.Z., dan Frazila, R.B. (2008), Pengembangan Algoritma Pencarian Rute dan Pembebanan Lalu Lintas Fuzzy, *Prosiding Simposium FSTPT XI*, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia.

Kresnanto, N.C., dan Tamin, O.Z. (2007), Biaya Perjalanan Fuzzy Untuk Pembebanan Lalu Lintas, *Jurnal FSTPT X*, Universitas Tarumanegara, Jakarta, Indonesia.

Kresnanto, N.C., dan Tamin, O.Z. (2006), Kajian Model Pembebanan Jaringan Dengan Fuzzy Sistem, *Jurnal FSTPT IX*, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

Kikuchi, S., dan Parta, C. (2005), Place of Possibility Theory in Transportation Analysis, *Transportation Research* Part B 40 (2006) 595–615.

Lawler, E.L. (1976), *Combinatorial Optimization: Networks and Matroids*, Holt, Rinehart and Winston, United States of America.

Sakarovitch, M. (1968), The k^{th} Shortest Chains in a Graph, *Transportation Research*, 2(1), 1−11.

Tamin, O.Z. (2008), *Perencanaan, Pemodelan, dan Pemodelan Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi*, Penerbit ITB, Bandung, Indonesia.

Tamin, O.Z. (2000), *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi – Edisi Kedua*, Penerbit ITB, Bandung, Indonesia.

Zadeh, L.A. (1965), Fuzzy Sets, *Information and Control,* 8, 338-353.

Pustaka dari Situs Internet:

Inokuchi, H., dan Kawakami, S. (2002), Development of the Fuzzy Traffic Assignment Model, http://www.trans.civil.kansai-u.ac.jp/inokuchi/study/SCIS2002/153.pdf, *Download* (diturunkan /diunduh) pada 26 Maret 2006.

Liu, H.X., Ban, X., Ran, B., dan Mirchandani, P. (2003), A Formulation and Solution Algorithm for Fuzzy Dynamic Traffic Assignment Model, http://ITSReviewonline/spring2003 /trb2003/liu-algorithm.pdf. *Download* (diturunkan/diunduh) pada 25 Oktober 2005.

Zadeh, L.A. (2005), Toward a Generalized Theory of Uncertainty (GTU)-An Outline, to appear in Information Science, BISC Program of UC Berkeley http://www.cs.berkeley.edu/~zadeh/. *Download* (diturunkan/diunduh) pada Desember 2005.