

KAJIAN MODEL PEMBEBANAN JARINGAN DENGAN *FUZZY SYSTEM*

Nindyo Cahyo Kresnanto

Mahasiswa Program S3
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa No.10 Bandung
Telp: (022)2502350., Fax: (022) 2502350
nindyoc@students.itb.ac.id

Ofyar Z. Tamin

Staf Pengajar Sekolah Pascasarjana
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesa No.10 Bandung
Telp: (022) 2502350, Fax: (022) 2502350
ofyar@trans.si.itb.ac.id

Abstrak

Faktor utama dalam model pembebanan jaringan transportasi jalan adalah persepsi pengguna jalan terhadap biaya perjalanan. Persepsi ini sebenarnya kurang realistis jika diasumsikan dengan sebuah nilai yang bersifat tetap atau acak (*random*), seperti pada *User Equilibrium (UE) Trip Assignment Model* yang memformulasikan persepsi biaya perjalanan bersifat tetap, dan *random number* yang digunakan pada *Stochastic User Equilibrium (SUE)* untuk menggambarkan distribusi persepsi pengguna individu terhadap biaya perjalanan. Pada kondisi riil pembuat perjalanan tidak akan pernah mendapatkan informasi yang tepat tentang biaya perjalanan ini, tetapi seringkali mengatakan bahwa waktu perjalanan dari A ke B “sekitar 10 menit”, atau mengatakan bahwa “Jalan C macet”, terlihat bahwa “sekitar” atau “macet” merupakan persepsi yang bersifat linguistik dan tidak dapat diukur dengan tepat (tak tertentu).

Pendekatan baru dengan *Fuzzy System* yang memiliki kemampuan untuk memecahkan permasalahan yang bersifat *uncertainty* mulai diterapkan untuk model pembebanan jaringan. *Fuzzy System* merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk penalaran dalam kondisi yang tak tertentu. Rangkaian penalaran ini dimulai dari sebuah masukan (*input*) tak tertentu yang dipetakan kedalam sebuah himpunan fuzzy (*fuzzy set*) dengan menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy (*fuzzy membership function*), kemudian dengan rangkaian logika fuzzy (*fuzzy logic*) *input* tersebut dipetakan ke dalam ruang keluaran (*output*) tertentu. Pada kasus model pembebanan jaringan, *input* yang bersifat tak tertentu adalah berupa persepsi pengguna terhadap biaya perjalanan dan ruang *output*-nya adalah rute-rute yang akan dipakai dalam melakukan perjalanan.

Pada makalah ini akan dikaji tentang penelitian-penelitian penggunaan *Fuzzy System* untuk model pembebanan jaringan yang pernah dilakukan, terutama untuk merepresentasikan ruang *input*-nya yang berupa persepsi pembuat perjalanan terhadap biaya perjalanan. Hasil kajian diharapkan dapat memberikan masukan bagi pengembangan pemodelan transportasi pada umumnya dan khususnya pada pengembangan model pembebanan jaringan transportasi.

Kata-kata kunci: model pembebanan jaringan, *fuzzy system*

PENDAHULUAN

Hasil dari Model Pembebanan Jaringan yang merupakan model terakhir pada rangkaian Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (MPTEP) adalah berupa: (1). satu set rute yang dilalui oleh pengguna dalam melakukan perjalanannya dari suatu titik asal (*origin*) ke suatu titik tujuan (*destination*), dan (2). jumlah volume lalu lintas yang dibebankan pada setiap rute terpilih. Hasil ini dapat digunakan untuk menggambarkan/melihat seberapa baik kinerja sebuah jaringan jalan. Faktor utama yang berpengaruh dalam model ini adalah persepsi pengguna terhadap biaya perjalanan (dapat berupa: jarak, waktu tempuh, atau gabungan keduanya). Metode-metode yang telah banyak dikembangkan pada dasarnya terbagi atas dua asumsi untuk persepsi pengguna terhadap biaya perjalanan. *User Equilibrium (UE) Trip Assignment Model* diformulasikan dengan persepsi biaya perjalanan bersifat pasti (deterministik). Selain UE, bilangan acak juga telah

diperkenalkan untuk menggambarkan distribusi persepsi pengguna individu terhadap biaya perjalanan, model ini dapat dideskripsikan dengan keseimbangan-pengguna-stokastik.

Para peneliti berusaha mengembangkan metode-metode baru (terutama berbasis *Artificial Intelligence - AI*) untuk pemecahan masalah model pembebanan jaringan, hal ini dikarenakan bahwa prinsip-prinsip UE maupun SUE sudah tidak dapat lagi dikatakan realistis jika jumlah pengguna jalan semakin meningkat. Seperti diungkapkan oleh Inokuchi (2002) bahwa jika model pembebanan jaringan menggunakan prinsip Keseimbangan Wardrop I yang harus memenuhi syarat: (1). semua pengguna jalan dalam melakukan perjalanannya akan selalu meminimasi biaya perjalanan, (2). semua pengguna telah memperoleh informasi yang tepat tentang kondisi lalu lintas, akan sulit terpenuhi jika jumlah pengguna jalan telah begitu banyak (terutama di daerah urban), karena tidak dapat dipastikan bahwa setiap pengguna jalan akan meminimasi biaya perjalanan atau mengetahui secara pasti informasi pada jalan yang ada, atau dikatakan bahwa UE merupakan model yang harus memiliki prasyarat yang sangat kuat. Pendekatan dengan SUE juga dinyatakan kurang realistis 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-metode AI dikatakan lebih realistis. 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”. Atau kita mengatakan bahwa “jalan C macet”. Terlihat bahwa “sekitar” atau “macet” merupakan faktor yang bersifat tidak dapat diukur dengan tepat.

Metode AI yang sering digunakan untuk penyelesaian masalah pembebanan jaringan adalah metode AI adaptif atau sering disebut dengan *Computational Intelligence* (CI) seperti *Artificial Neural Network* (Jaringan Syaraf Tiruan - JST) dan *Fuzzy System* (Sistem Fuzzy - SF). Dalam makalah ini akan dikaji secara khusus tentang metode SF serta gabungan metode SF dan JST yang biasa disebut dengan Jaringan Syaraf Fuzzy (JSF). Beberapa peneliti yang telah menggunakan metode-metode ini antara lain: Inokhuci (2002) melakukan pembebanan jaringan dengan mencari nilai kemungkinan antara tujuan *fuzzy* (*fuzzy goal*) dan waktu tempuh *fuzzy* (*fuzzy travel time*) untuk setiap rute, Benetti (2002) mengusulkan model bilangan segitiga *fuzzy* (*triangular fuzzy numbers - TFN*) untuk menggambarkan biaya lintasan (*path*) dan segmen (*arc*), Liu (2003) membangun himpunan *fuzzy* dari *perceived link travel time* untuk menggambarkan persepsi pengguna terhadap waktu tempuh berdasarkan kondisi lalu-lintas tertentu, dan Akiyama (1999) menggunakan bilangan-*fuzzy* (*fuzzy number*) untuk mendeskripsikan persepsi pengguna dan digunakan sebagai variabel *input* dalam *neural network*.

MODEL PEMBEBANAN JARINGAN

Pembebanan jaringan dilakukan untuk mengetahui keseimbangan antara kebutuhan dan penyediaan transportasi. Sisi kebutuhan transportasi terdiri dari sejumlah pergerakan yang terjadi dari asal (*origin*) ke tujuan (*destination*), sering dinyatakan dalam Matrik Asal Tujuan (MAT). Sisi penyediaan yaitu berupa sistem jaringan transportasi yang dinyatakan dengan ruas jalan serta biaya transportasi.

Proses pembebanan jaringan transportasi jalan dilakukan dengan 3 (tiga) tahapan yaitu (Tamin, 2000): (1). Pembentukan pohon, adalah tahap mengidentifikasi beberapa set rute yang akan diperkirakan menarik bagi pembuat perjalanan; (2). Membebaskan MAT ke

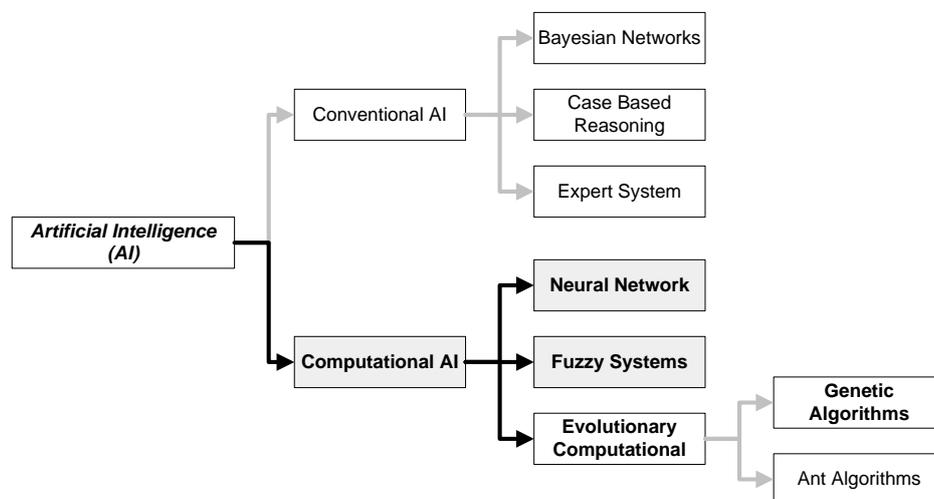
jaringan jalan dengan proporsi yang sesuai yang menghasilkan volume pergerakan pada setiap ruas di jaringan jalan; (3). Mencari konvergensi.

Dengan mengasumsikan bahwa setiap pengendara memilih rute yang meminimumkan biaya perjalanannya, maka adanya penggunaan ruas yang lain mungkin disebabkan oleh perbedaan persepsi pribadi tentang biaya atau mungkin juga disebabkan oleh keinginan menghindari kemacetan. Perbedaan persepsi tentang biaya dapat dinyatakan dengan berbagai pendekatan. Selain dengan model-model konvensional, pendekatan baru dengan menggunakan metoda **SF** dan **JSF**, dapat menggambarkan persepsi tentang biaya yang dinyatakan secara linguistik (contoh: "waktu tempuh **sekitar** 6 menit"). Tabel 1 memperlihatkan klasifikasi model pemilihan rute.

Tabel 1 Klasifikasi Model Pemilihan Rute

| | Deterministik | Stokastik |
|--------------------------|-------------------------|---|
| Tanpa Batasan Kapasitas | <i>All-Or-Nothing</i> | Metode Konvensional Burrel (1968) Sakarovitch (1968) Dial (1971) |
| | | Metode CI Fuzzy Neuro, Akiyama (1999) Fuzzy Model, Akiyama (1998) Fuzzy Model, Benetti (2002) |
| Dengan Batasan Kapasitas | <i>User Equilibrium</i> | Metode Konvensional Florian (1974) Metode CI Fuzzy User Equilibrium, Akiyama (1998) Fuzzy User Equilibrium, Inokhuci (2002) |

SISTEM FUZZY (SF) DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST)



Gambar 1 Metode-metode AI

SF dan JST tergolong dalam metode AI adaptif (*Computational Intelligence - CI*). CI merupakan bagian metode dari AI yang melibatkan pembelajaran secara interatif dari parameter sistem yang saling terhubung yang berbasis pada data empiris. Metode-metode yang termasuk dalam CI adalah:

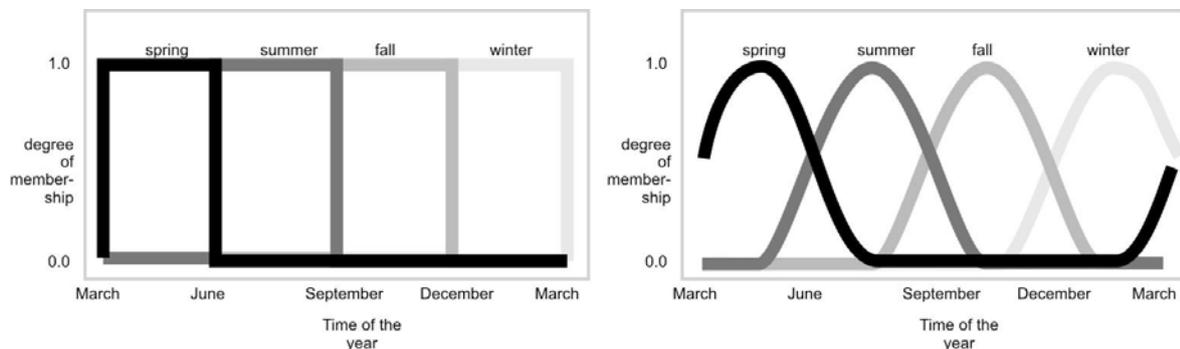
- Jaringan Syaraf (*Neural network*): sistem dengan kemampuan untuk pengenalan pola.
- Logika Fuzzy (*Fuzzy logic*) & Sistem Fuzzy (*Fuzzy System*): teknik untuk penalaran dalam kondisi yang tak tertentu.

- *Evolutionary computation*: sistem yang menggunakan konsep-konsep biologi untuk pencarian solusi suatu masalah, seperti *genetic algorithm* and *ant algorithm*.
 Sedangkan secara garis besar AI dibagi dalam dua metode utama yaitu: *Conventional Artificial Intelligence (CAI)* dan *CI* (Gambar 1).

Sistem Fuzzy

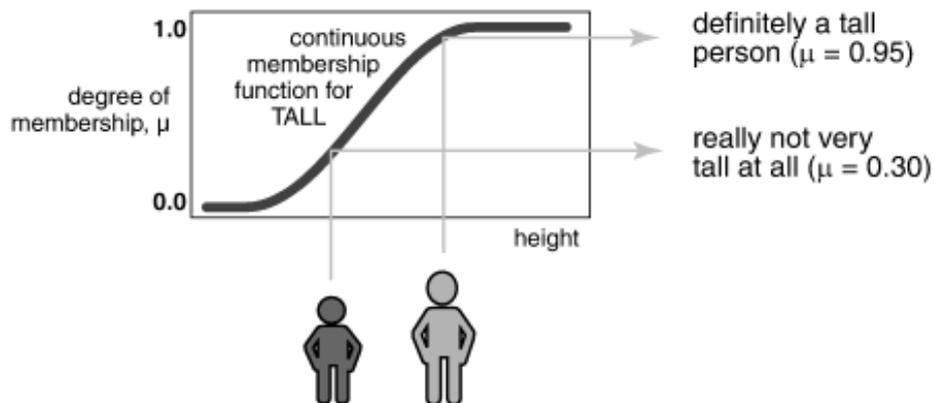
Logika Fuzzy (Fuzzy Logic), Logika *fuzzy* adalah suatu cara untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam sebuah ruang *output*, dan mekanisme utama untuk melakukannya adalah menggunakan rangkaian pernyataan *if-then* yang disebut dengan aturan (*rule*) (Paplinski, 2004).

Himpunan Fuzzy (Fuzzy Set), merupakan lawan dari himpunan konvensional, dimana setiap anggota himpunan pada himpunan konvensional memiliki nilai keanggotaan yang tegas yaitu 0 atau 1, sedangkan pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1.



Gambar 2 Contoh Nilai Keanggotaan Pada Himpunan Konvensional dan Himpunan Fuzzy (Paplinski, 2004)

Fungsi Keanggotaan (Membership Function), sebuah fungsi keanggotaan (MF, atau μ) adalah kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering disebut dengan derajat keanggotaan/*degree of membership*) yang memiliki nilai antara 0 dan 1 (Kusumadewi, 2003).



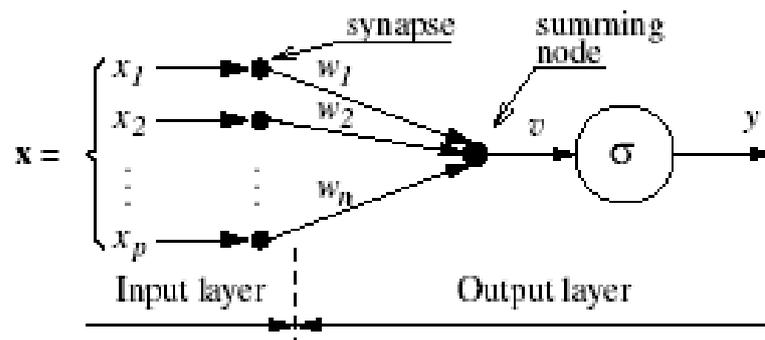
Gambar 3 Contoh Fungsi Keanggotaan (Paplinski, 2004)

Dalam himpunan konvensional nilai keanggotaan didefinisikan secara tegas (0 atau 1), sebagai contoh: $A = \{x | x > 6\}$. Sebuah himpunan *fuzzy* merupakan pengembangan dari himpunan konvensional dimana fungsi keanggotaan menggambarkan derajat keanggotaannya. Jika X adalah semesta pembicaraan dan anggota-anggota himpunannya dinyatakan dengan x , maka himpunan *fuzzy* A dalam X dinyatakan sebagai: $A = \{x, \mu_A(x) | x \in X\}$; $\mu_A(x)$ disebut fungsi keanggotaan dari x dalam A . Fungsi keanggotaan memetakan tiap elemen dari X kedalam sebuah nilai keanggotaan antara 0 dan 1.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

JST adalah prosesor tersebar paralel yang sangat besar yang memiliki kecenderungan untuk menyimpan pengetahuan yang bersifat pengalaman dan membuatnya siap untuk digunakan (Aleksander & Morton 1990 dalam Suyanto 2002). Pembahasan tentang JST akan terkait dengan bagian-bagian utama dari JST berupa sel syaraf tiruan (*artificial neuron* – biasa disebut dengan *neuron*) dan sistem penalaran dalam jaringan (*network structure*) antar *neuron*.

Artificial Neuron/Node/Unit, Paplinski (2005) mendefinisikan Sel Syaraf Tiruan sebagai “a p -input single-output signal processing element which can be thought of as a simple model of a non-branching biological neuron” seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Contoh Sebuah Neuron Sederhana (Paplinski, 2005)

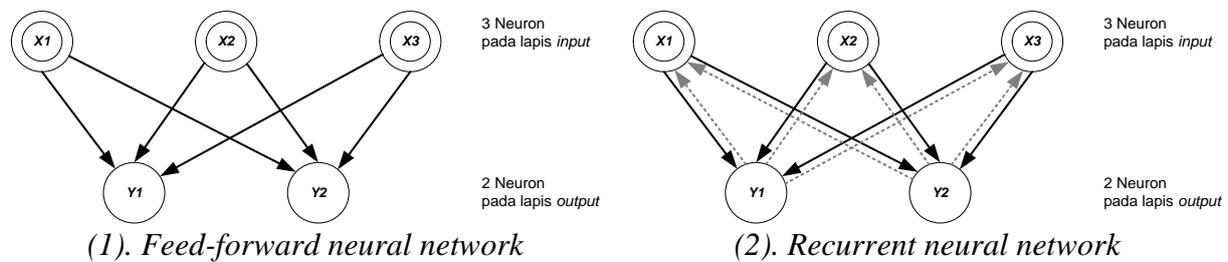
Pola *input* adalah berupa matrik kolom dengan dimensi p , yang dinyatakan sebagai: $\mathbf{x} = [x_1 \dots x_p]^T$. *Synapses* merupakan pengkarakteran dengan parameter-parameter yang dapat diatur (biasa disebut dengan *weight* atau *synaptic strength parameter*). *Weight* disusun kedalam matrik baris berdimensi p ($\mathbf{w} = [w_1 \dots w_p]$). Melalui *synapses* sinyal-sinyal *input* dikombinasikan untuk menghasilkan *activation potential* (v), atau sering disebut dengan *inner product* dari *weight* dan vektor *input*. Selanjutnya *activation potential* akan melewati fungsi aktivasi (*activation function* - $\sigma(\cdot)$) untuk menghasilkan sinyal *output*.

$$v = \sum_{i=1}^p w_i x_i = \mathbf{w} \cdot \mathbf{x} = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_p] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$y = \sigma(v) \quad (2)$$

Network Structure (Struktur Jaringan), menurut **Russell (2003)** struktur jaringan suatu jaringan syaraf dibagi ke dalam dua katagori utama (**Gambar 5**) yaitu:

- Feed-forward neural network*, dalam jaringan ini, informasi bergerak hanya dalam satu arah maju, dari node-node *input* melalui node *hidden* (jika ada) menuju ke node *output*, tidak ada *loop* dalam jaringan.
- Recurrent network*, kebalikan dari *feed-forward network*, *recurrent neural network* (RNs) adalah merupakan model jaringan dengan aliran data dua arah (*bi-directional data flow*).



Gambar 5 Struktur Jaringan pada JST (Kusumadewi, 2003)

SISTEM FUZZY DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK MODEL PEMBEBANAN JARINGAN

Jaringan Syaraf Fuzzy

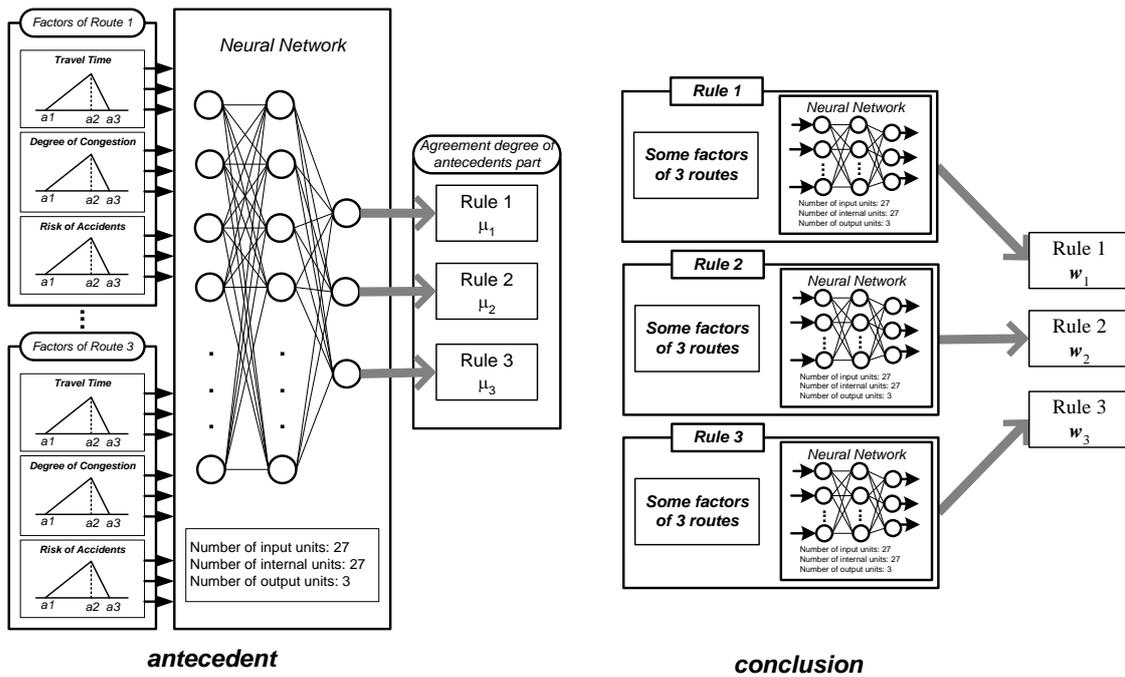
Akiyama (1999) menggunakan bilangan-fuzzy (*fuzzy number*) untuk mendeskripsikan persepsi pengguna dan digunakan sebagai variabel *input* dalam JST, model ini kemudian disebut dengan model jaringan syaraf fuzzy. Dalam model jaringan syaraf fuzzy ini Akiyama mendeskripsikan bagian *antecedent* dan *conclusion* dari penalaran fuzzy dengan jaringan syaraf. Pendeskripsian ini dibagi menjadi dua struktur model yaitu: (1). struktur model untuk bagian *antecedent* dan (2). struktur model untuk bagian *conclusion*. Pada bagian (1) data masukan berupa bilangan-fuzzy dari persepsi pengguna terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan rute seperti: waktu tempuh, derajat kemacetan (*degree of congestion*), dan resiko kecelakaan (*risk of accident*). Selanjutnya JST digunakan untuk pengelompokan data masukkan menjadi aturan yang lebih sederhana. Pada bagian (2) *output* dari bagian (1) dicari konvergensinya dengan JST (Gambar 6).

Sistem Fuzzy

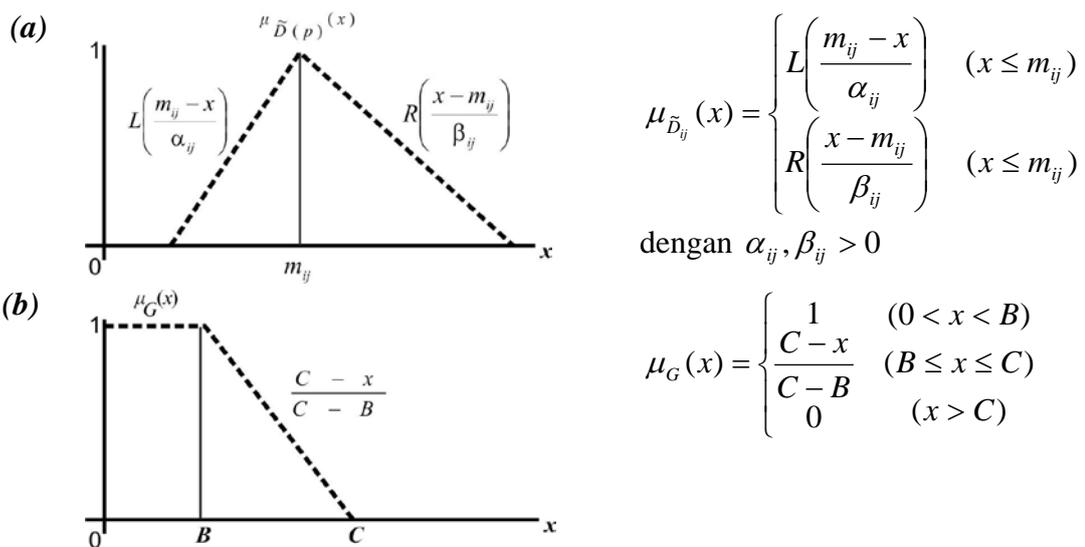
Pembebanan Jaringan Statis

Inokuchi (2002) menyarankan pendekatan model pembebanan jaringan dengan mencari nilai kemungkinan antara *fuzzy goal* dan waktu tempuh fuzzy (*fuzzy travel time*) untuk setiap rute. Waktu tempuh didekati dengan menggunakan *L-R fuzzy number*, dan fungsi keanggotaan dari waktu tempuh ($\mu_{\tilde{D}_y}(x)$) tersebut didefinisikan seperti pada Gambar 7.

- Himpunan *fuzzy goal* G dinyatakan sebagai waktu tempuh dari rute yang selalu lebih kecil dari B, B dihitung berdasarkan waktu tempuh dari rute terpendek antara O-D. Fungsi keanggotaan dari G didefinisikan seperti pada Gambar 7 (b).



Gambar 6 Struktur Model Jaringan Syaraf Fuzzy (Akiyama, 1999)



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan (a). Waktu Tempuh; (b) Fuzzy Goal (Inokuchi, 2002)

Dari penelitian yang dilakukan **Inokuchi (2002)** menyatakan bahwa hasil model sistem *fuzzy* untuk pembebanan jaringan lebih akurat jika dibandingkan dengan menggunakan metode utilitas acak tetapi masih lebih kurang akurat jika dibandingkan dengan model pembebanan jaringan *User Equilibrium* (Tabel 2). Untuk mencapai hasil model yang baik **Inokuchi (2002)** menyarankan untuk mempertimbangkan kondisi rentang minimum dan maksimum pada fungsi keanggotaan dari waktu tempuh.

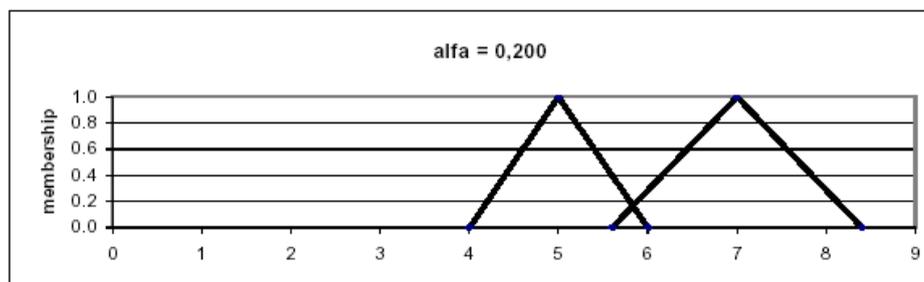
Tabel 2 Perbandingan Hasil Model Pembebanan Jaringan Inokuchi, 2002

| Road Class | Index | The Model for Maximization of Degree of Utility | The User Equilibrium Model | The Stochastic User Equilibrium Model |
|-----------------------------|----------------|---|----------------------------|---------------------------------------|
| All (1303) | <i>e</i> | 1.178 | 1.042 | 1.210 |
| | <i>Abs.RMS</i> | 1.780 | 1.484 | 1.769 |
| | <i>%RMS</i> | 0,99 | 0,83 | 8,98 |
| | <i>MAPE</i> | 91,7 | 85,9 | 94,4 |
| | <i>r</i> | 0,59 | 0,57 | 0,23 |
| Inter-Urban Expressway (13) | <i>e</i> | 3.454 | 3.074 | 4.512 |
| | <i>Abs.RMS</i> | 4.208 | 3.811 | 4.751 |
| | <i>%RMS</i> | 0,81 | 0,73 | 0,91 |
| | <i>MAPE</i> | 72,4 | 63,7 | 85,0 |
| | <i>r</i> | -0,41 | -0,41 | -0,24 |
| Urban Expressway (49) | <i>e</i> | 4.062 | 1.976 | 4.816 |
| | <i>Abs.RMS</i> | 5.134 | 2.407 | 5.067 |
| | <i>%RMS</i> | 1,05 | 0,49 | 1,04 |
| | <i>MAPE</i> | 112 | 46,4 | 97,8 |
| | <i>r</i> | 0,38 | 0,47 | 0,41 |

| Road Class | Index | The Model for Maximization of Degree of Utility | The User Equilibrium Model | The Stochastic User Equilibrium Model |
|---------------------------|----------------|---|----------------------------|---------------------------------------|
| Multi-lane Arterial (778) | <i>e</i> | 1.177 | 1.101 | 1.162 |
| | <i>Abs.RMS</i> | 1.626 | 1.511 | 1.574 |
| | <i>%RMS</i> | 0,85 | 0,80 | 0,82 |
| | <i>MAPE</i> | 79,6 | 75,8 | 82,7 |
| | <i>r</i> | 0,38 | 0,47 | 0,41 |
| Two-lane Arterial (470) | <i>e</i> | 815 | 790 | 822 |
| | <i>Abs.RMS</i> | 1.105 | 1.089 | 1.148 |
| | <i>%RMS</i> | 0,94 | 0,92 | 0,97 |
| | <i>MAPE</i> | 110 | 107 | 113 |
| | <i>r</i> | 0,38 | 0,50 | 0,49 |

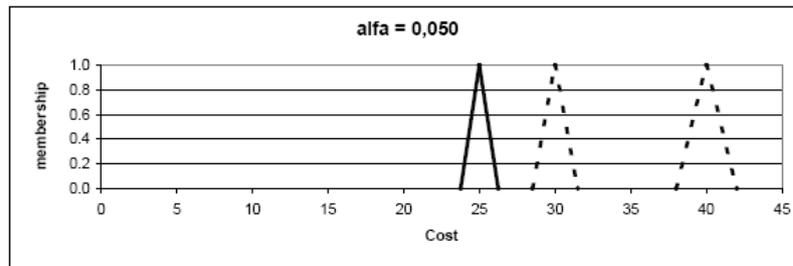
Benetti (2002) mengusulkan model bilangan *fuzzy* segitiga (*triangular fuzzy number* - TFN) untuk menggambarkan biaya lintasan (*path*) dan segmen (*arc*). Pada setiap biaya *arc* dipertimbangkan juga nilai biaya rata-rata yang merupakan hasil perhitungan biaya *arc*. Kenggotaan pada TFN dinyatakan sebagai fungsi keanggotaan seperti berikut:

$$\text{Nilai rata-rata: } x; \text{ batas atas: } xR = x \cdot (1 + \alpha); \text{ batas bawah: } xL = x \cdot (1 - \alpha) \quad (3)$$

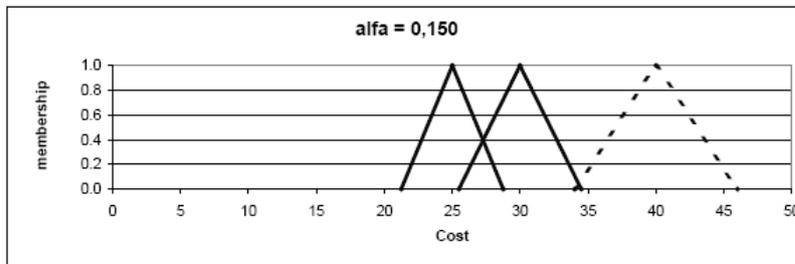


Gambar 8 Bilangan Fuzzy Segitiga (Benetti, 2002)

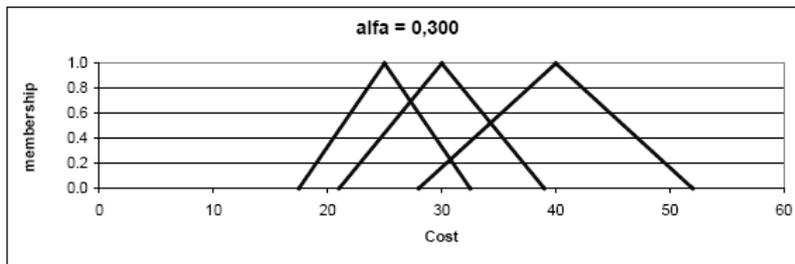
Nilai α yang digunakan adalah sama untuk semua *path*. Nilai α ini mempunyai peran yang sangat penting dalam penentuan beberapa set rute yang mungkin dipilih dari pasangan O/D. Dalam menentukan beberapa set rute untuk pasangan O/D Benetti (2002) mengasumsikan bahwa tidak ada dominasi dalam pemilihan rute sehingga dikatakan jika sebuah rute tidak didominasi hanya oleh yang memiliki biaya minimum maka batas bawah dari TFN-nya harus lebih kecil dari batas atas dari TFN pada rute dengan biaya minimum, seperti dapat dilihat pada Gambar 9.



Rute A mendominasi pemilihan pada set rute.



Rute A dan B mendominasi pemilihan pada set rute.



Semua rute tidak terdominasi.

Gambar 9 Perbandingan nilai α pada Triangular Fuzzy Number (Benetti, 2002)

Pada kondisi yang lain Benetti (2002) menyarankan bahwa nilai α harus dikalibrasi tergantung pada kondisi jaringan, kelompok pengguna, dan periode waktu.

Pembebanan Jaringan Dinamis

Liu (2003) membangun himpunan-*fuzzy* dari *perceived link travel time* untuk menggambarkan persepsi pengguna terhadap waktu tempuh berdasarkan dengan kondisi lalu-lintas dengan mendeskripsikannya dalam 4 kondisi yaitu kondisi normal, kondisi macet, kondisi terjadi kecelakaan, dan kondisi pembangunan jalan. Fungsi keanggotaan dari keempat kelompok persepsi tersebut dinyatakan dalam Tabel 3. Untuk kondisi dinamis, Liu (2003) mengkaitkan variabel-variabel *fuzzy* dengan fungsi waktu, sehingga dalam rentang waktu tertentu dapat terbagi atas beberapa 4 kondisi yang didefinisikan.

DISKUSI DAN KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dipaparkan dapat dikatakan bahwa metode SF dan JSF sebagian besar digunakan untuk mendeskripsikan persepsi pengguna jalan terhadap kondisi jaringan jalan seperti: waktu tempuh, kondisi macet, atau kondisi yang lain. Dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan menyarankan bahwa untuk mencapai hasil model yang baik perlu untuk mempertimbangkan kondisi rentang minimum dan maksimum pada persepsi pengguna terhadap karakteristik jaringan yang ada. Walaupun sebagian besar peneliti masih menggunakan metode SF dan JSF pada kondisi statis tetapi sebagian peneliti juga telah menerapkan metode ini untuk model pembebanan jaringan pada kondisi dinamis

dalam arti untuk perencanaan jangka pendek atau pengambilan keputusan bagi pengguna jalan. Tabel 5. memperlihatkan beberapa penelitian dalam CI untuk model pembebanan jaringan dan kemungkinan penelitian lanjutan yang dapat dilakukan.

Tabel 3 Fungsi Keanggotaan dari *Perceived Link Travel Time* (Liu, 2003)

| Kondisi Model | Kondisi Lalu lintas dan Fungsi Keanggotaan | |
|---------------|--|---|
| Statis | <p>Normal</p> <p>$\tilde{\tau}_a = (Lh, \tau_a, \tau_a, Rh)$</p> | <p>Terjadi kecelakaan</p> <p>$\tilde{\tau}_a = ((sii - 1) * \tau_a, sii * \tau_a, sii * \tau_a, Rh)$</p> |
| | <p>Macet</p> <p>$\tilde{\tau}_a = ((sic - 1) * \tau_a, sic * \tau_a, sic * \tau_a, Rh)$</p> | <p>Ada pembangunan</p> <p>$\tilde{\tau}_a = ((sico - 1) * \tau_a, sico * \tau_a, sico * \tau_a, Rh)$</p> |
| Dinamis | <p>Berdasarkan Periode Waktu</p> <p>$\tilde{\tau}_a(t) = (Lh_a(t), \underline{m}_a(t), \overline{m}_a(t), Rh_a(t))$</p> | |

Tabel 4. Penelitian dalam CI untuk Model Pembebanan Jaringan

| | | Akiyama, 1999 | Inokuchi, 2002 | Benetti, 2002 | Liu, 2003 | Future Study |
|----------------------------------|------------|--|---------------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------|
| persepsi pengguna | | <i>travel time, degree of congestion, degree of safety</i> | <i>fuzzy goal, waktu tempuh fuzzy</i> | waktu tempuh <i>fuzzy</i> | <i>travel time dalam kondisi normal, macet, kecelakaan, dan konstruksi</i> | Biaya Perjalanan |
| Model Pembebanan Jaringan | rute | <i>given</i> | <i>given</i> | <i>given</i> | <i>given</i> | Metode CI |
| | pembebanan | jaringan syaraf <i>fuzzy</i> | bilangan <i>fuzzy</i> segitiga | bilangan <i>fuzzy</i> segitiga | bilangan <i>fuzzy</i> segitiga | |
| dinamis/statis | | statis | statis | statis | statis dan dinamis | dinamis |
| Tipe Jaringan | | <i>jaringan sederhana</i> | <i>jaringan sederhana</i> | <i>jaringan sederhana</i> | <i>jaringan sederhana</i> | <i>jaringan kompleks</i> |

DAFTAR PUSTAKA

- Akiyama, T., dkk, 1999, *Description of Route Choice Behaviour by Fuzzy Neural Network*, Research Report of The Faculty of Engineering Gifu University, No. 49, pp. 27-38.
- 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.
- Inokuchi, H., dan Shogo Kawakami, 2002, *Development of the Fuzzy Traffic Assignment Model*, <http://www.trans.civil.kansai-u.ac.jp/inokuchi/study/SCIS2002/153.pdf>.
- Kusumadewi, S., 2003, *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.
- Liu, H.X., dkk, 2003, *A Formulation and Solution Algorithm for Fuzzy Dynamic Traffic Assignment Model*, <http://ITSReviewonline/spring2003/trb2003/liu-algorithm.pdf>
- Rusell, S., dan P. Novig, 2003, *Artificial Intelligence: A Modern Approach - Second Edition*, Prentice Hall – Pearson Education, Inc., New Jersey, USA
- Suyoto, 2004, *Intelegensi Buatan: Teori dan Pemrograman*, Penerbit Gaya Media, Yogyakarta, Indonesia.
- Suyanto, 2002, *Intelejensia Buatan*, Jurusan Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung, Indonesia.
- Tamin, O.Z., 2000, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Edisi Kedua, Penerbit ITB, Bandung, Indonesia.

