

BIAYA PERJALANAN *FUZZY* UNTUK PEMBEBANAN LALULINTAS

Nindy Cahyo Kresnanto

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

Ofyar Z. Tamin

Guru Besar Ilmu Transportasi
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha No. 10 Bandung
Telp: (022) 2502350, Fax: (022) 2502350
ofyar@trans.si.itb.ac.id

Abstract

The main factor in trip assignment models is the perception of trip makers about their travel costs. In real condition, trip makers usually do not obtain accurate information to estimate their travel costs. Travel costs are usually expressed using a linguistic term, such like “*travel time from A to B is about 10 minutes*”, which can not be measured precisely (values with a specific range). Using fuzzy method, the “*about*” condition can be formulated in the term of fuzzy set with a value having lower-bound and upper-bound boundaries. The set is called fuzzy-travel-cost. In this paper, the trip assignment using fuzzy-travel-cost is compared with that using the deterministic travel cost. The result shows that fuzzy-travel-cost model gives a better result than the deterministic travel cost model.

Keywords: *trip assignment model, fuzzy-travel-cost, fuzzy-shortest-path*

PENDAHULUAN

Ketidak-tentuan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam menganalisis sistem transportasi. Perilaku 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 paradigma 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 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 sistem *fuzzy* 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 melakukan perjalanan dikatakan 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). Beberapa peneliti yang telah menggunakan metode sistem *fuzzy*, antara lain Akiyama (1998) dan Inokhuci (2002), melakukan pembebanan jaringan pada jaringan sederhana dengan pengukuran nilai kemungkinan waktu-tempuh-*fuzzy* (*fuzzy travel time*) terhadap fungsi tujuan *fuzzy* (*fuzzy goal*) untuk setiap rute. Benetti (2002) mengembangkan

model bilangan segitiga *fuzzy* (*triangular fuzzy numbers* - TFN) untuk menggambarkan biaya lintasan (*path*) dan segmen (*arc*). Liu (2003) membangun model bilangan segitiga *fuzzy* dari suatu ruas, untuk menggambarkan persepsi pengguna terhadap waktu tempuh pada beberapa kondisi lalu lintas (normal, macet, ada kecelakaan, dan ada konstruksi). Akiyama (1999) menggunakan bilangan segitiga *fuzzy* untuk mendeskripsikan persepsi pengguna dan digunakan sebagai variabel *input* dalam jaringan syaraf tiruan. Tujuan penelitian ini adalah mencoba menggunakan biaya perjalanan *fuzzy* untuk *input* pada metode pembebanan berulang. Biaya perjalanan *fuzzy* yang dimaksud menggunakan *Triangular Fuzzy Number* (Bilangan *Fuzzy* Segitiga).

KAJIAN PUSTAKA

Pemilihan Rute dan Pembebanan Lalu lintas

Pemodelan pemilihan rute bertujuan menentukan jumlah pergerakan yang berasal dari zona asal i ke zona tujuan d dengan menggunakan rute r (T_{idr}) dari jumlah total pergerakan yang terjadi antara setiap zona asal 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, yang mempunyai fungsi dasar, sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi beberapa set rute yang akan diperkirakan menarik bagi pengendara, dan rute ini disimpan dalam struktur data yang disebut pohon. Oleh karena itu, tahapan ini disebut tahap pembentukan pohon.
2. Membebani segmen Matriks Asal Tujuan (MAT) ke jaringan jalan yang menghasilkan volume pergerakan pada setiap ruas jalan.

Teori Metode *Fuzzy* dalam Model Pembebanan *Fuzzy*

Teori himpunan *fuzzy* merupakan pengembangan dari teori himpunan konvensional (himpunan *crisp*). Dalam teori himpunan konvensional, suatu elemen hanya dapat digolongkan sebagai anggota atau bukan anggota suatu himpunan, sehingga jika satu elemen merupakan anggota dari himpunan akan mempunyai tingkat keanggotaan (*membership level*) penuh (1.0) dan jika satu elemen bukan anggota himpunan akan mempunyai tingkat keanggotaan 0.0. Tingkat keanggotaan elemen di dalam himpunan dinyatakan sebagai pemetaan ke 0 dan 1 yang secara matematis dinotasikan sebagai $\mu_A(x) \rightarrow \{0,1\}$. Sebagai contoh, jika set A adalah merupakan suatu himpunan bilangan *real*, maka secara matematis tingkat keanggotaan suatu elemen x di dalam himpunan A dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1.0 & \text{jika } x \in A \\ 0.0 & \text{jika } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

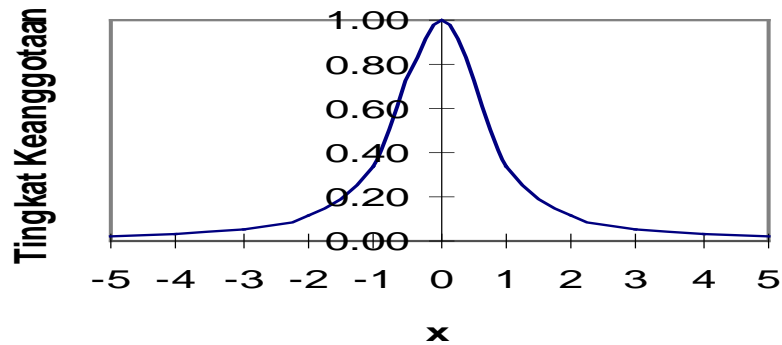
Berbeda dengan himpunan konvensional, dalam teori himpunan *fuzzy* dikenal adanya keanggotaan secara parsial. Tingkat keanggotaan suatu elemen dalam suatu himpunan merupakan fungsi kontinu dari 0,0 sampai 1,0, sehingga pemetaan tingkat keanggotaan pada teori himpunan *fuzzy* dapat dinotasikan sebagai $\mu_A(x) \rightarrow [0,1]$. Sebagai contoh, jika A merupakan set atau himpunan bilangan *real* yang dekat dengan bilangan nol, secara konvensional akan sulit atau paling tidak akan sangat subjektif untuk menentukan bilangan-

bilangan mana yang dekat dengan bilangan nol. Dalam teori *fuzzy*, yang mengenal tingkat keanggotaan secara parsial, bilangan-bilangan yang dapat dikategorikan sebagai anggota-anggota dekat dengan bilangan nol, misalnya dapat dinyatakan dengan fungsi tingkat keanggotaan (*membership function*) sebagai berikut:

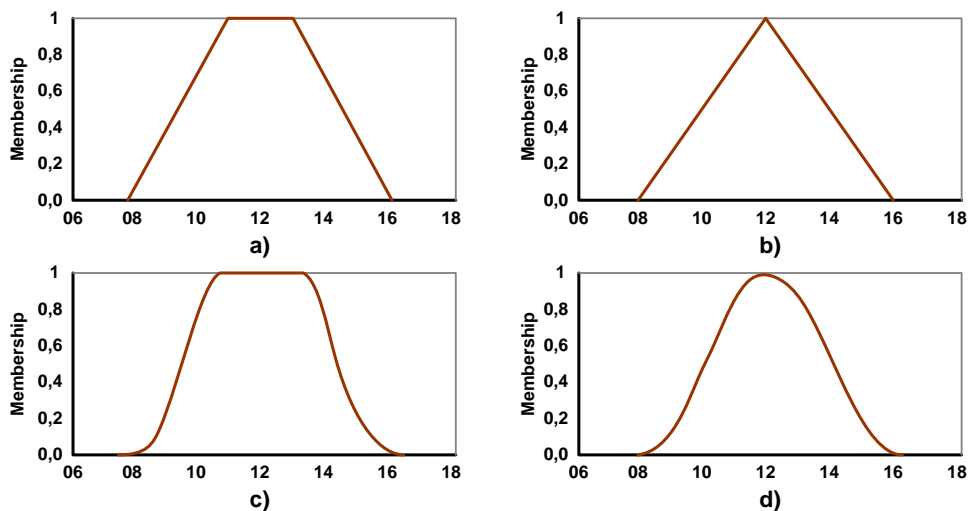
$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + 2x^2} \tag{2}$$

Secara grafis fungsi tingkat keanggotaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Terlihat bahwa tingkat keanggotaan bilangan $x=0,0$, $x=1,0$, $x=2,0$ masing-masing adalah 1,0 (penuh), 0,333, dan 0,111 dalam himpunan bilangan dekat dengan nol. Semakin dekat suatu elemen dengan bilangan nol, maka tingkat keanggotaannya akan semakin tinggi. Secara umum fungsi tingkat keanggotaan bilangan yang dekat dengan bilangan A dapat disajikan dengan persamaan:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + 2(x - a)^2} \tag{3}$$



Gambar 1 Fungsi Tingkat Keanggotaan Bilangan yang Dekat dengan Nol

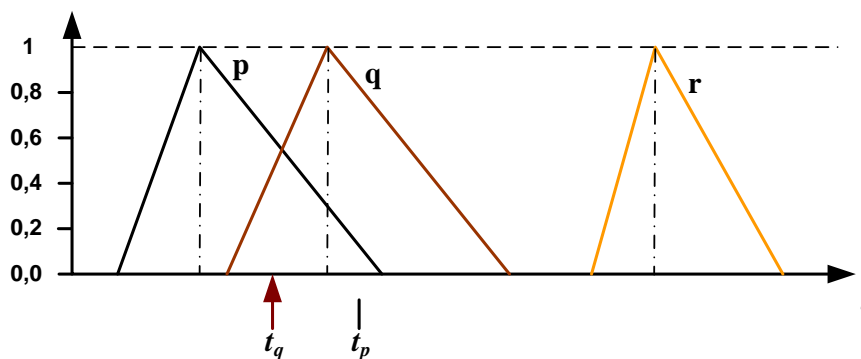


Gambar 2 Empat Kemungkinan Keanggotaan (*membership*): a) *trapezoidal*, b) *triangular*, c) *smooth trapezoid*, dan d) *smooth triangular*.

Jantzen (2006) menyatakan bahwa suatu nilai linguistik dalam *fuzzy* dapat dimodelkan dalam empat buah tipe keanggotaan *fuzzy* (biasa disebut juga dengan bilangan *fuzzy* atau *fuzzy number*), seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Model Pemilihan Rute dan Pembebanan Lalulintas *Fuzzy*

Dalam suatu 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, tidak dapat ditentukan suatu rute tunggal yang dapat dinyatakan sebagai rute terpendek. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3 dengan *p*, *q*, dan *r* adalah tiga buah rute dengan masing-masing biaya rute τ_p , τ_q , dan τ_r dalam biaya-rute-*fuzzy*. Secara intuisi terlihat bahwa rute *p* dan *q* lebih cepat dari rute *r*. Tetapi untuk rute *p* dan *q*, tidak dapat dikatakan 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)

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*.
3. Rute tercepat diurutkan berdasarkan rangking.

Untuk menghitung *fuzzy-shortest-path* (FSP), beberapa teori dasar yang mendukung akan diuraikan pada bagian berikut.

Suatu *graph* *G* terdiri atas satu himpunan *vertices* (*node/vertex/simpul*) *V* dan satu himpunan *edges* (*Arcs/ruas*) *E*:

$$G = (V, E) \tag{4}$$

dengan:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_{ny}\}$$

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_{ng}\}$$

Dalam suatu *graph* terbobot, tiap ruas akan mempunyai sebuah bobot (seringkali berupa *impedance*, jarak, waktu tempuh, kapasitas).

$$w_i = W(e_i) \quad (5)$$

Sesuai dengan fungsi W , nilai bobot dapat berupa nilai *crisp* atau nilai-*fuzzy*. Sebuah rute (*path*) P adalah merupakan rangkaian dari beberapa ruas:

$$P = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in}) \quad (6)$$

Jika *graph* terbobot dengan jarak, maka rute mempunyai total jarak hasil dari penjumlahan bobot tiap ruas dalam rute.

$$l_p = \text{length}(P) = \sum_{e_k \in P} w_k \quad (7)$$

Blue (1997) mengelompokkan tipe *fuzzy graph* dalam 5 (lima) kelompok. Untuk penentuan rute optimum, tipe *graph* yang biasa dipakai adalah *graph* dengan simpul *crisp* dan ruas *fuzzy*. Ruas *fuzzy* didefinisikan sebagai:

$$w_i = w_{i,1} \setminus \mu_{i,1} + w_{i,2} \setminus \mu_{i,2} + \dots \quad (8)$$

Jika Π merupakan himpunan semua rute dari simpul v_a menuju v_b dan panjang-*fuzzy* dari rute:

$$l_p = \text{length}(P) = \sum_{e_k \in P} w_k, \text{ dengan } P \in \Pi \quad (9)$$

Himpunan *fuzzy* dari rute-rute optimum adalah himpunan *fuzzy* S dalam Π dengan keanggotaan π_s sebagai berikut:

$$\pi_s(P) = \min_{Q \in \Pi} \{ \hat{\mu}_{l_p \leq l_Q} \}, \text{ dengan } P \in \Pi \quad (10)$$

Support terdiri dari semua rute yang potensial mempunyai panjang minimum, dan perhitungan ini didasarkan pada sebuah rute yang secara mutlak lebih pendek dari rute yang lain.

$$\text{supp}(S) = \{ P \in \Pi \mid \hat{\mu}_{l_p \leq l_Q} > 0, \forall Q \in \Pi \} \quad (11)$$

Himpunan *fuzzy* dari rute-rute optimum yang didefinisikan pada persamaan (10) dapat didefinisikan sebagai *fuzzy-shortest-path*, dengan ruas/edge e_i mempunyai keanggotaan dalam himpunan fuzzy S' :

$$\mu_{S'}(i) = \max_{e_i \in P, P \in \Pi} \{ \pi_s(P) \} \text{ untuk } i = 1, \dots, n_E \quad (12)$$

Persamaan (10) dan (12) dapat dituliskan kembali sebagai:

$$\mu_{S'}(i) = \max_{e_i \in P, P \in \Pi} \left\{ \min_{Q \in \Pi} \{ \hat{\mu}_{l_p \leq l_Q} \} \right\} \text{ untuk } i = 1, \dots, n_E. \quad (13)$$

Untuk memecahkan masalah algoritma *fuzzy-shortest-path*, pertimbangan utama adalah dengan estimasi sebagai berikut:

$$\{P \in \Pi \mid \inf \{\text{supp}(l_p)\} < \kappa\} \subseteq \text{supp}(S) \subseteq \{P \in \Pi \mid \inf \{\text{supp}(l_p)\} \leq \kappa\} \quad (14)$$

dengan:

$$\kappa = \min_{P \in \Pi} \{\sup \{\text{supp}(l_p)\}\} \quad (15)$$

METODOLOGI

Model *fuzzy* biaya perjalanan yang akan digunakan adalah:

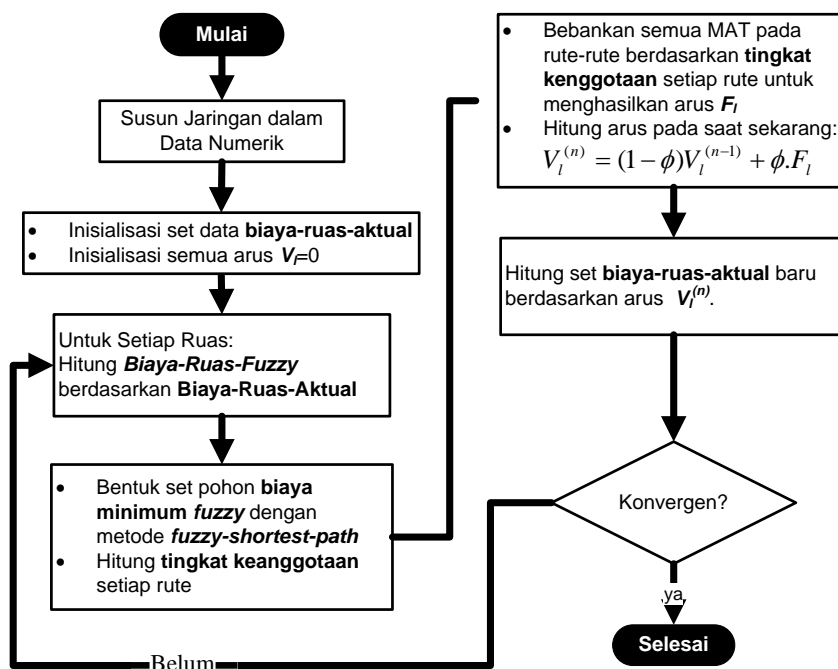
1. Model *Fuzzy* Biaya Perjalanan Ruas:

$$\tilde{t}_a(x_a) = t_a(x_a) + \tilde{\varepsilon}_a[t_a(x_a)]$$

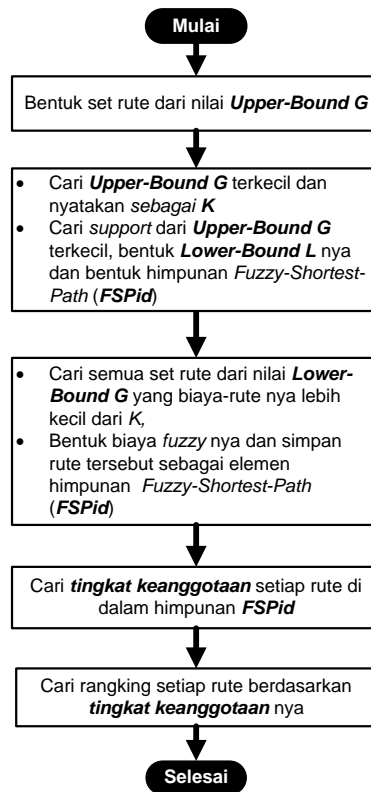
2. Model *Fuzzy* Biaya Perjalanan Rute:

$$\tilde{\tau}_p = \bigoplus_{a \in p} t_a(x_a)$$

Secara garis besar model pembebanan *fuzzy* merupakan pengembangan model pembebanan stokastik dengan (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.



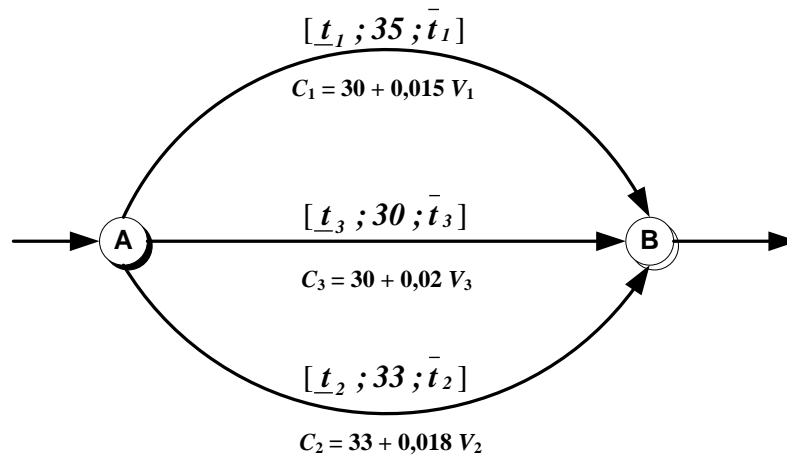
Gambar 4 Model Pembebanan *Fuzzy*



Gambar 5 Algoritma Fuzzy-Shortest-Path

PEMBAHASAN

Pada tahap ini, model pembebanan lalu lintas dengan menggunakan biaya perjalanan fuzzy dicoba diterapkan pada jaringan sederhana. Terdapat sepasang zona asal-tujuan dengan 3 (tiga) buah rute alternatif yang mempunyai hubungan biaya arus yang berbeda-beda seperti terlihat pada Gambar 6. Terdapat pergerakan sebesar 2000 kendaraan yang akan bergerak dari zona asal A ke zona tujuan B, dengan \underline{t}_a (t lower-bound) = $t_a + (t_a \cdot 0, 1)$; \bar{t}_a (t upper-bound) = $t_a + (t_a \cdot 0, 1)$.



Gambar 6 Pasangan Zona Asal-Tujuan dengan Tiga Alternatif Rute

menggunakan biaya perjalanan *fuzzy*, solusi konvergen dapat dicapai lebih cepat, dan kondisi pemilihan rute lebih mendekati kondisi riil, karena pada setiap pengulangan pembebanan, rute yang dianggap sebagai *shortest-path* tidak secara tiba-tiba berubah seperti pada metode pembebanan konvensional dengan *shortest-path* selalu berubah pada setiap pengulangan pembebanan.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Akiyama, T., dkk. 1999. *Description of Route Choice Behaviour by Fuzzy Neural Network*. Research Report of The Faculty of Engineering Gifu University. No. 49.
- Ban, X., et al. 2004. *Traffic Assignment Model With Fuzzy Travel Time Perceptions*. 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, DC.
- Benetti, M and 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. Bari, Italy.
- Blue, M., et al. 1997. *Applications of Fuzzy Logic to Graph Theory*. Los Alamos National Laboratory.
- Inokuchi, H and Shogo K. 2002. *Development of the Fuzzy Traffic Assignment Model*. <http://www.trans.civil.kansai-u.ac.jp/inokuchi/study/SCIS2002/153.pdf>.
- Jantzen, J. 2006. *Tutorial On Fuzzy Logic*. Technical University of Denmark. Oersted-DTU. Automation, Bldg 326, 2800. Kongens Lyngby, Denmark.
- Kusumadewi, S. 2003. *Artificial Intellegence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Kusdian, R. D. 2006. *Model Stokastik Untuk Pembebanan Lalulintas Banyak Rute Dengan Mempertimbangkan Persepsi Biaya Perjalanan*. Disertasi FTSL. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kikuchi, S dan Parta, C. 2005. *Place of Possibility Theory in Transportation Analysis*. Transportation Research Part B 40 (2006). Washington, DC.
- 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*. New Jersey: Prentice Hall – Pearson Education, Inc.
- Suharyanto. 2006. *Penerapan “Fuzzy Relations” Dalam Bidang Keairan*. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Suyoto. 2004. *Intelegensi Buatan: Teori dan Pemrograman*. Yogyakarta: Penerbit Gaya Media.
- Suyanto. 2002. *Intelejensia Buatan*. Jurusan Teknik Informatika. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung.
- Tamin, O. Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi – Edisi Kedua*. Bandung: Penerbit ITB.

