

PEMANFAATAN ALGORITMA FUZZY EVOLUSI UNTUK PENYELESAIAN KASUS *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*

Syafiul Muzid

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
E-mail: aakzid@yahoo.com

ABSTRAKSI

Algoritma fuzzy evolusi adalah salah satu metode *soft computing* yang merupakan perpaduan antara algoritma genetika (*evolutionary algorithm*) dengan sistem fuzzy. Tahapan-tahapan yang ada dalam algoritma fuzzy evolusi adalah sama dengan tahapan dalam algoritma genetika. Namun untuk penentuan parameter-parameter genetika seperti halnya nilai probabilitas rekombinasi dan nilai probabilitas mutasi dihasilkan melalui sistem fuzzy. *Travelling salesman problem (TSP)* atau pencarian jalur terpendek sering digunakan dalam penyelesaian berbagai macam masalah seperti jalur terpendek untuk pengiriman barang atau jasa kurir, penentuan jalur kabel telepon, pembuatan PCB dalam bidang elektronika, jalur routing pada bidang jaringan komputer, penjadwalan produksi, dan juga masalah penugasan.

Penelitian dilakukan dengan menerapkan algoritma fuzzy evolusi sebagai metode optimasi untuk penyelesaian masalah TSP. Dalam penelitian dikembangkan suatu aplikasi sederhana untuk masalah TSP dengan algoritma fuzzy evolusi. Dengan jumlah titik kota atau rute yang harus dilewati sebanyak dua puluh (20) kota yang dipetakan dalam koordinat dua dimensi.

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa algoritma fuzzy evolusi dapat digunakan sebagai salah satu metode optimasi dimana mampu memberikan data parameter-parameter yang dibutuhkan dalam proses algoritma genetiknya dengan mudah melalui sistem fuzzy mamdani. Sehingga aplikasi bisa lebih fleksibel dalam penentuan parameternya dan algoritma fuzzy evolusi diharapkan mampu menyelesaikan masalah dengan hasil yang lebih optimal.

Kata kunci: Algoritma fuzzy evolusi, genetika, fuzzy, probabilitas rekombinasi, probabilitas mutasi, *travelling salesman problem*.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Soft Computing adalah suatu model pendekatan untuk melakukan komputasi dengan meniru akal manusia dan memiliki kemampuan untuk menalar dan belajar pada lingkungan yang penuh dengan ketidakpastian [JAN97]. *Soft Computing* dimanfaatkan untuk memecahkan masalah dengan menggunakan pendekatan dalam melakukan penalaran.

Beberapa komponen pembentuk *soft computing* adalah sistem fuzzy, jaringan syaraf tiruan, komputasi evolusioner atau algoritma genetika, dan penalaran dengan probabilitas. Setiap komponen dapat berdiri sendiri dalam implementasinya. Penerapan suatu komponen dalam suatu masalah akan menghasilkan suatu hasil yang dapat diterima, akan tetapi belum tentu maksimal.

Dalam perkembangannya, penerapan suatu komponen *soft computing* dalam penyelesaian masalah dapat menghasilkan hasil yang dapat diterima, akan tetapi belum tentu maksimal. Akhirnya bermunculan ide-ide yang menggabungkan antara model yang ada, diantaranya adalah:

- *Fuzzy Neural Network*, merupakan gabungan antara sistem fuzzy dengan jaringan syaraf tiruan. Dimana input untuk jaringan syaraf tiruan didapatkan dari sistem fuzzy.
- *Neuro Fuzzy System*, merupakan gabungan antara jaringan syaraf tiruan dengan sistem fuzzy. Pada

metode ini jaringan syaraf tiruan digunakan untuk membentuk suatu tahapan dalam sistem fuzzy.

- *Fuzzy Evolutionary Algorithm* (Algoritma fuzzy evolusi), merupakan gabungan antara algoritma genetika dengan sistem fuzzy. Dimana penentuan parameter yang digunakan dalam algoritma genetika dihasilkan dari sistem fuzzy.

Metode yang digunakan dalam bahasan ini adalah algoritma fuzzy evolusi. Dengan penggunaan gabungan dua metode *soft computing* ini diharapkan mampu menyelesaikan masalah dengan hasil yang lebih optimal.

Algoritma genetika sering digunakan dalam optimasi suatu masalah. Diantaranya pada penyelesaian masalah pencarian jalur terpendek atau dikenal dengan *Travelling salesman problem (TSP)*. Dimana metode ini diharapkan mampu menghasilkan jalur terpendek yang paling optimal.

Dalam TSP, seseorang harus mampu menentukan suatu bentuk perjalanan, dimana dengan ketentuan orang tersebut harus berangkat dari suatu kota kemudian mengunjungi kota-kota yang lain tanpa kembali ke kota sebelumnya dan akhirnya kembali lagi ke kota awal dengan jalur yang paling cepat atau terpendek.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki beberapa tujuan, antara lain:

- Memanfaatkan metode algoritma fuzzy evolusi dalam penyelesaian masalah *Travelling Salesman Problem*.

1.3. Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahannya, yaitu: Bagaimana menyelesaikan memanfaatkan metode algoritma fuzzy evolusi untuk penyelesaian masalah *Travelling salesman problem*?

2. LANDASAN TEORI

2.1. Algoritma Fuzzy Evolusi

Algoritma fuzzy evolusi adalah sebuah teknik komputasi gabungan antara algoritma genetika dan sistem fuzzy. Metode ini hampir sama dengan metode algoritma genetika, namun parameter-parameter yang dipakai dihasilkan dari sebuah sistem fuzzy.

Beberapa tahap yang digunakan dalam algoritma fuzzy evolusi sama seperti dengan tahapan pada algoritma genetika, yaitu:

1. Representasi kromosom.
2. Inisialisasi Populasi.
3. Fungsi evaluasi.
4. Seleksi.
5. Operator genetika, meliputi operator rekombinasi (*crossover*) dan mutasi.
6. Penentuan parameter, yaitu parameter kontrol algoritma genetika, yaitu: ukuran populasi (*popsiz*), peluang *crossover* (*pc*), dan peluang mutasi (*pm*). Dalam penentuan parameter ini dilakukan proses sistem fuzzy untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan sebagai parameter.

2.1.1. Algoritma fuzzy evolusi model Xu

Pada algoritma fuzzy evolusi terdapat berbagai model yang digunakan dalam perpaduan antara algoritma genetika dan sistem fuzzy. Dalam buku *Soft Computing* dikenalkan beberapa model, antara lain model Xu dan model Herrera and Lozano.

Model yang dikemukakan oleh Xu, yaitu algoritma fuzzy evolusi yang menggunakan sistem fuzzy dalam penentuan parameternya adalah menggunakan sistem inferensi fuzzy metode mamdani. Metode mamdani ini juga dikenal dengan metode Max-Min. Metode ini dikenalkan oleh Ebrahim Mamdani (1975). Metode mamdani yang digunakan oleh Xu untuk algoritma fuzzy evolusi adalah menggunakan dua (2) buah masukan dan dua (2) buah keluaran. Dua buah masukan yang digunakan adalah:

1. Jumlah Populasi yang digunakan.
2. Jumlah generasi yang akan diproses.

Sedangkan dua buah keluaran yang akan dihasilkan adalah:

1. Nilai probabilitas rekombinasi (*crossover*).

2. Nilai probabilitas mutasi.

Dalam menentukan nilai yang dihasilkan melalui sistem fuzzy perlu dibuat aturan-aturan fuzzy yang digunakan untuk penentuan hasil. Dalam model Xu aturan fuzzy yang digunakan didasarkan dari masukan jumlah populasi yang diinginkan serta jumlah maksimum generasi. Dari dua masukan tersebut akan menghasilkan nilai untuk probabilitas rekombinasi dan probabilitas mutasi. Aturan yang ditentukan oleh Xu dapat dilihat dalam tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tabel 2.1. Aturan untuk nilai probabilitas rekombinasi (*crossover*)

<i>Pc</i>	Population Size		
Generation	Small	medium	large
short	Medium	small	small
medium	Large	large	medium
long	very large	very large	large

Tabel 2.2. Aturan untuk nilai probabilitas mutasi.

<i>Pm</i>	Population Size		
Generation	Small	medium	large
short	large	medium	small
medium	medium	small	very small
long	small	very small	very small

Dengan aturan diatas, jumlah populasi dan maksimum generasi yang dimasukkan akan dianalisa dengan metode Mamdani, sehingga didapatkan nilai probabilitas *crossover* dan probabilitas mutasi yang mana akan dipakai dalam iterasi.

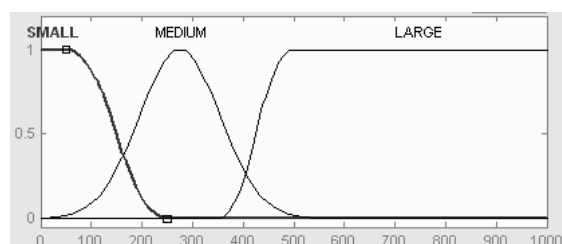
Dalam algoritma fuzzy evolusi, aturan-aturan fuzzy yang telah dibuat harus sudah diimplementasikan terlebih dahulu sebelum proses iterasi dilakukan. Dari model Xu yang digunakan sesuai tabel 2.1 dan tabel 2.2 didapatkan sebanyak sembilan (9) aturan, yaitu:

- **IF** (Populasi is SMALL) AND (Generasi is SHORT)
THEN (ProbCrossover is MEDIUM) AND (ProbMutasi is LARGE).
- **IF** (Populasi is MEDIUM) AND (Generasi is SHORT)
THEN (ProbCrossover is SMALL) AND (ProbMutasi is MEDIUM).
- **IF** (Populasi is LARGE) AND (Generasi is SHORT)
THEN (ProbCrossover is SMALL) AND (ProbMutasi is SMALL).
- **IF** (Populasi is SMALL) AND (Generasi is MEDIUM)
THEN (ProbCrossover is LARGE) AND (ProbMutasi is MEDIUM).
- **IF** (Populasi is MEDIUM) AND (Generasi is MEDIUM)

- THEN** (ProbCrossover is LARGE) AND (ProbMutasi is SMALL).
- **IF** (Populasi is LARGE) AND (Generasi is MEDIUM)
THEN (ProbCrossover is MEDIUM) AND (ProbMutasi is VERYSMALL).
 - **IF** (Populasi is SMALL) AND (Generasi is LONG)
THEN (ProbCrossover is VERYLARGE) AND (ProbMutasi is SMALL).
 - **IF** (Populasi is MEDIUM) AND (Generasi is LONG)
THEN (ProbCrossover is VERYLARGE) AND (ProbMutasi is VERYSMALL).
 - **IF** (Populasi is LARGE) AND (Generasi is LONG)
THEN (ProbCrossover is LARGE) AND (ProbMutasi is VERYSMALL).

Aturan-aturan yang dikembangkan oleh Xu diimplementasikan dalam sistem fuzzy mamdani, tetapi perlu diperhatikan supaya sistem fuzzy mamdani dapat menghasilkan hasil tentunya diperlukan semesta pembicaraan dan domain yang memberikan nilai batas untuk setiap himpunan yang ada pada tiap variabel. Misal nilai untuk semesta pembicaraan pada variabel populasi adalah [0 1000], yang berarti dalam variabel populasi memiliki batas semesta pembicaraan mulai batas nilai nol (0) sampai nilai seribu (1000). Sedangkan misal domain untuk himpunan SMALL pada variabel populasi adalah [50 250], yang berarti batas populasi dikatakan SMALL jika bernilai antara lima puluh (50) dan dua ratus lima puluh (250).

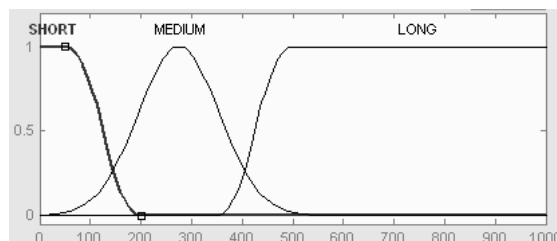
Adapun semesta pembicaraan dan domain yang digunakan dalam model Xu, ditentukan oleh peneliti karena hal ini belum ditemukan studi literatur yang menjelaskan tentang hal ini. Gambar 1 sampai gambar 4 adalah gambar yang menjelaskan tentang semesta pembicaraan dan domain yang digunakan peneliti:



Gambar 1. Semesta pembicaraan dan domain untuk variabel populasi.

Pada semesta pembicaraan dan domain untuk populasi, peneliti membuat aturan nilai sebagai berikut:

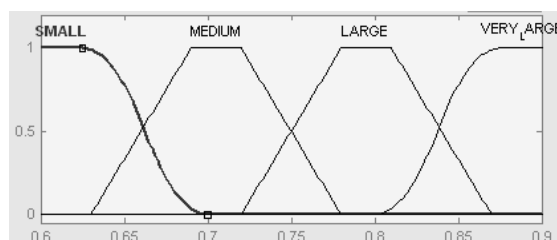
- Semesta pembicaraan: [0 1000]
- Domain SMALL: [50 250]
- Domain MEDIUM: [80 275]
- Domain LARGE: [350 500]



Gambar 2. Semesta pembicaraan dan domain untuk variabel generasi.

Sedangkan pada semesta pembicaraan dan domain untuk variabel generasi, aturan nilai yang digunakan adalah sebagai berikut:

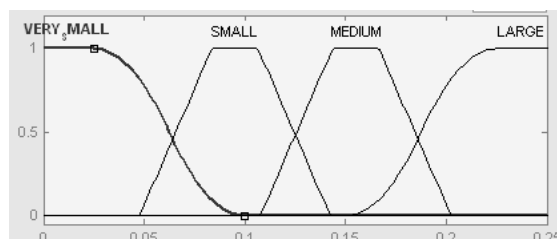
- Semesta pembicaraan: [0 1000]
- Domain SHORT: [50 200]
- Domain MEDIUM: [80 275]
- Domain LONG: [350 500]



Gambar 3. Semesta pembicaraan dan domain untuk variabel probabilitas *crossover*.

Pada umumnya probabilitas untuk rekombinasi adalah antara 0.6 sampai 0.9. Sehingga pada semesta pembicaraan dan domain untuk hasil output yaitu nilai probabilitas rekombinasi (*crossover*), aturan nilai yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Semesta pembicaraan: [0.6 0.9]
- Domain SMALL: [0.625 0.7]
- Domain MEDIUM: [0.63 0.7 0.72 0.78]
- Domain LARGE: [0.72 0.78 0.8 0.87]
- Domain VERY LARGE: [0.8 0.875]

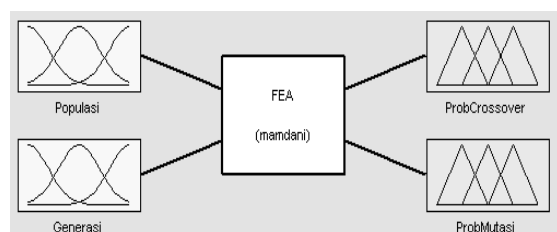


Gambar 4. Semesta pembicaraan dan domain untuk variabel probabilitas mutasi.

Sedangkan pada probabilitas mutasi pada umumnya sangat kecil, sekitar 1 dibagi dengan jumlah gen yang digunakan. Artinya peluang mutasi hanya terjadi pada sekitar satu gen saja pada tiap individu. Atau dapat dikatakan probabilitas mutasi mendekati nilai nol (0). Sehingga pada semesta pembicaraan dan domain untuk nilai probabilitas mutasi, aturan nilai yang digunakan oleh peneliti adalah sebagai berikut:

- Semesta pembicaraan: [0 0.25]
- Domain VERY SMALL: [0.025 0.1]
- Domain SMALL: [0.47 0.83 0.1 0.14]
- Domain MEDIUM: [0.1 0.14 0.167 0.2]
- Domain LARGE: [0.15 0.225]

Dibawah ini ini adalah gambar proses sistem fuzzy mamdani yang digunakan pada penentuan nilai fuzzy untuk parameter probabilitas rekombinasi dan mutasi pada algoritma fuzzy evolusi diatas.

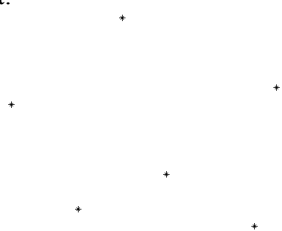


Gambar 5. Alur proses sistem fuzzy mamdani.

Travelling Salesman Problem

TSP banyak sekali digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya adalah jasa kurir, transportasi, penentuan jalur kabel telepon, pembuatan PCB dalam bidang elektronika, jalur routing pada bidang jaringan komputer, penjadwalan produksi, dan juga masalah penugasan.

Gambaran sederhana dari pengertian TSP adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Kota-kota yang harus dilewati.

Pada TSP, jumlah jalur yang digunakan biasanya menggunakan rumus permutasi seperti dibawah ini.

$${}_n P_k = \frac{n!}{(n - k)!}$$

Persamaan 1. Rumus permutasi

Dimana n adalah jumlah seluruh kota, dan k adalah jumlah kota yang diseleksi. Terdapat dua jenis TSP, yaitu TSP asimetris dan simetris. Pada TSP asimetris biaya atau jarak dari kota A menuju kota B tidak sama dengan biaya atau jarak dari kota B menuju kota A. Sedangkan pada TSP simetris biaya atau jarak

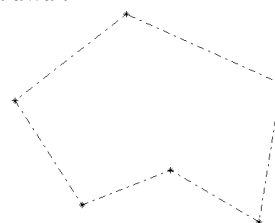
yang digunakan sama antara dua kota secara bolak-balik.

Pada TSP simetris, biasanya TSP digambarkan dalam koordinat dua dimensi seperti pada gambar 7. Dengan penggunaan koordinat dua dimensi maka jarak antar kota dapat dihitung dengan rumus dibawah ini.

$$Jarak_{AB} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}$$

Persamaan 2. Rumus jarak antar kota

Setelah jarak antar kota diketahui, maka dicari jalur terpendek yang dilewati dari kota awal dan melewati semua kota kemudian kembali lagi ke kota awal.



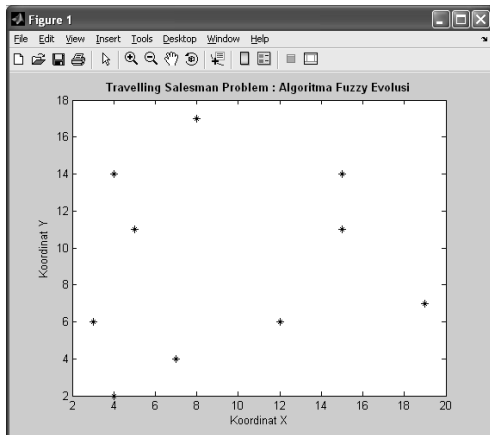
Gambar 7. Jalur terpendek yang ditemukan.

3. PEMBAHASAN

Penelitian diimplementasikan dengan aplikasi sederhana yang dikembangkan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Aplikasi ini digunakan untuk penyelesaian kasus TSP dengan titik kota yang digunakan sebanyak sepuluh (10) kota. Adapun titik-titik koordinat setiap kota adalah sebagai berikut:

Kota	Titik X	Titik Y
1	4	2
2	3	6
3	8	17
4	19	7
5	15	11
6	4	14
7	12	6
8	15	14
9	5	11
10	7	4

Dari data diatas, maka dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti dibawah ini:



Gambar 8. Kota-kota yang harus dilewati.

Sedangkan parameter-parameter yang digunakan dalam penentuan nilai probabilitas rekombinasi dan mutasi adalah jumlah populasi dan maksimum generasi adalah sebagai berikut:

- Jumlah populasi sebanyak 500 populasi.
- Maksimum generasi yang digunakan sebanyak 100 generasi.

Kedua parameter masukan akan diproses menggunakan sistem fuzzy mamdani untuk mendapatkan nilai probabilitas rekombinasi dan probabilitas mutasi yang akan digunakan dalam proses algoritma fuzzy evolusi.

3.1. Hasil Pengujian

Aplikasi TSP dengan algoritma fuzzy evolusi digunakan untuk menguji apakah algoritma fuzzy evolusi dapat memecahkan masalah penentuan jalur terpendek untuk 10 kota.

Dari pengujian yang dilakukan, maka dihasilkan hasil akhir berupa jalur terpendek yang melewati ke sepuluh (10) kota. Berdasar parameter ukuran populasi dan maksimum generasi yang digunakan, sistem fuzzy mamdani yang ter-integrate dalam algoritma fuzzy evolusi menghasilkan nilai parameter probabilitas rekombinasi dan mutasi yaitu sebesar:

- Probabilitas rekombinasi sebesar 0.091.
- Probabilitas mutasi sebesar 0.652.

Kemudian kedua nilai probabilitas ini digunakan dalam proses algoritma genetika yang ter-integrate dalam algoritma fuzzy evolusi untuk menghasilkan jalur terpendek dari ke sepuluh (10) kota yang dianalisa.

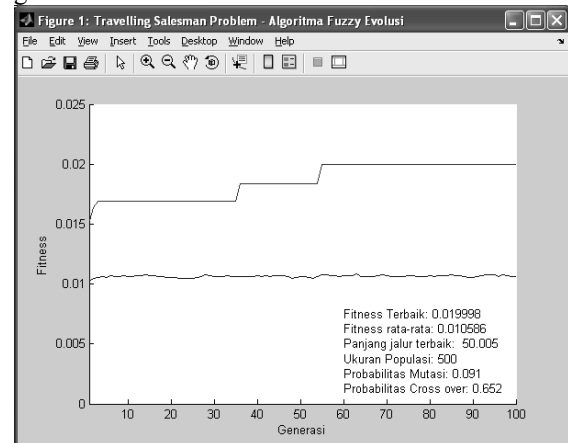
Dari hasil algoritma fuzzy evolusi akhirnya didapatkan jalur terpendek dengan urutan rute sebagai berikut:

Urutan jalur terpendek (10 Kota):

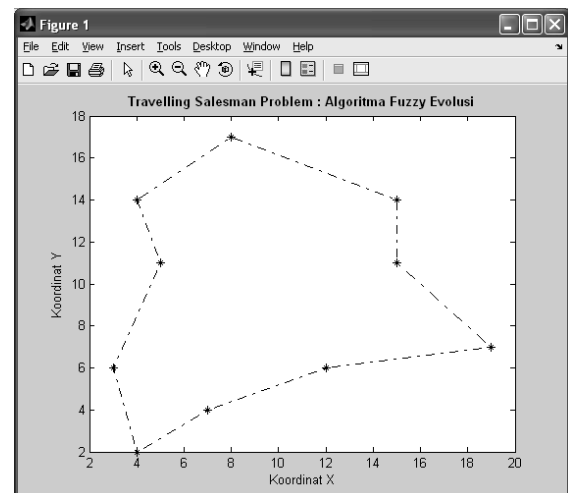
9 - 2 - 1 - 10 - 7 - 4 - 5 - 8 - 3 - 6

Penjelasan urutan diatas adalah kota awal yang digunakan untuk memulai rute perjalanan adalah kota ke-9 yang berlokasi pada titik koordinat X = 5 dan Y = 11. Kemudian menuju kota ke-2 dan seterusnya, hingga

berakhir pada kota ke-6 dan akhirnya kembali lagi ke kota ke-9. Dan jalur terpendek yang digunakan adalah berjarak 50.005 seperti pada gambar 9 dan 10 dibawah ini:



Gambar 9. Grafik hasil *running* algoritma fuzzy evolusi untuk kasus TSP dengan 10 kota.



Gambar 10. Jalur terpendek untuk melewati 10 kota setelah melalui proses algoritma fuzzy evolusi.

4. PENUTUP

4.1. Simpulan

Setelah pengujian aplikasi algoritma fuzzy evolusi untuk penyelesaian masalah TSP, dapat diambil beberapa kesimpulan tentang pemanfaatan algoritma fuzzy evolusi antara lain:

- Algoritma fuzzy evolusi dapat memberikan nilai probabilitas rekombinasi dan mutasi yang digunakan dapat algoritma genetika, karena hal belum ditemukannya aturan penentuan batasan untuk nilai kedua parameter tersebut.
- Metode ini dapat memberikan hasil yang lebih optimum dalam suatu permasalahan yang diselesaikan.

4.2. Saran

Saran untuk penerapan dan pengembangan algoritma fuzzy evolusi adalah:

- a. Diharapkan adanya penelitian yang lebih komprehensif tentang algoritma fuzzy evolusi, khususnya untuk model Xu diharapkan adanya aturan untuk batasan nilai untuk model mamdani yang digunakan.
- b. Diharapkan adanya penelitian yang menggunakan model lain dari algoritma fuzzy evolusi selain model Xu.
- c. Diharapkan adanya studi komparatif antara algoritma fuzzy evolusi dengan algoritma genetika biasa..

PUSTAKA

- [CHA98] Chanas, S., dan Kuchta, D. *Fuzzy Integer Transportation Problem*. Journal in *Fuzzy Set & System* 98 hlm. 291 – 298, 1998.
- [EIB03] Eiben, A.E., Smith, J.E., *Introduction to Evolutionary Computing*, New York, Springer, 2003.
- [GEN97] Gen, M., dan Cheng, R., *Genetic Algorithms and Engineering Design*, New York, John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [JAN97] Jang, J.S.R., Sun, C.T., dan Mizutani, E., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. London, Prentice Hall, 1997.
- [KUS05] Kusumadewi, S, dan Purnomo, H., *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristik*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2005.
- [MIC92] Michalewicz, Z., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, New York, Springer, 1992.
- [SUY05] Suyanto, *Algoritma Genetika dalam MATLAB*, Yogyakarta, ANDI Offset, 2005.
- [TET01] Tettamanzi, A., dan Tomassini, M., *Soft Computing*, New York, Springer, 2001.