

IMPLEMENTASI *FUZZY EVOLUTIONARY ALGORITHMS* UNTUK PENENTUAN POSISI *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS)

Muhammad Fachrie¹, Sri Widowati², Ahmad Tri Hanuranto³

^{1,2}Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Informatika, Institut Teknologi Telkom

³Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Telkom

Jl. Ters. Buah Batu No.1, Dayeuhkolot, Bandung, Jawa Barat

E-mail: fachrie.sukses@gmail.com, swd@ittelkom.ac.id, adh@ittelkom.ac.id

ABSTRAK

Di dalam Teori *Evolutionary Computation* (EC), dikenal adanya *Evolutionary Algorithms* (EAs), yakni sekumpulan algoritma yang mengadopsi prinsip 'evolusi' dan 'genetika' yang ada di alam nyata. Algoritma Genetika (AG) adalah salah satu algoritma optimasi yang ada di dalam *Evolutionary Algorithms* (EAs) yang sering digunakan untuk mencari solusi optimal dari suatu permasalahan. Pada penelitian ini, kemampuan AG dalam mencari solusi optimal dari suatu permasalahan, digunakan untuk menentukan posisi-posisi *Base Transceiver Station* (BTS) pada suatu area agar mampu menghasilkan *coverage area* dan layanan trafik yang maksimal. Untuk meningkatkan performa AG, digunakan Sistem Fuzzy (SF) untuk mengatur nilai probabilitas rekombinasi (P_c) dan probabilitas mutasi (P_m) selama proses evolusi pada AG berlangsung. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya konvergensi prematur pada AG. Gabungan dari Algoritma Genetika dan Sistem Fuzzy ini bisa disebut Algoritma Fuzzy Evolusi atau *Fuzzy Evolutionary Algorithms* (Fuzzy EAs). Algoritma Fuzzy Evolusi ini digunakan untuk menentukan posisi BTS di Kota Yogyakarta, dengan ruang solusi sebesar 5.001×10^{34} dan menghasilkan nilai *coverage area* terbaik sebesar 90,57%.

Kata kunci: Algoritma Genetika, Sistem Fuzzy, *Base Transceiver Station*, Fuzzy Evolusi, *Evolutionary Algorithms*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek penting dalam perencanaan infrastruktur sistem komunikasi seluler adalah penentuan letak *Base Transceiver Station* (BTS), yaitu suatu pemancar sinyal telepon seluler pada suatu area. Performa komunikasi seluler dinilai melalui daya cakup wilayah (*coverage area*) dan tingkat layanan trafik BTS. Untuk memaksimalkan fungsi BTS tersebut, maka setiap BTS harus ditempatkan di posisi yang tepat, sehingga mampu memaksimalkan daya cakup wilayah dan pelayanan trafiknya.

Pada penelitian ini, digunakan sebuah *hybrid system* yang menggabungkan Algoritma Genetika (AG) dan Sistem Fuzzy (SF) untuk menentukan posisi optimum dari sekumpulan BTS agar mampu menghasilkan kinerja yang maksimum.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menentukan posisi optimum BTS secara otomatis menggunakan AG, salah satunya pada (Wibowo, 2009). Namun, pada penelitian tersebut diperlukan beberapa kali observasi awal untuk menentukan parameter AG yang sesuai, agar pada saat *testing*, AG mampu menemukan solusi optimum dengan cepat.

Salah satu aspek yang menjadi kekurangan dari AG, yaitu AG kadang-kadang terjebak dalam kondisi konvergensi prematur. Artinya, terjadi stagnansi pada proses pencarian, sehingga mengakibatkan solusi yang dihasilkan bukanlah solusi yang optimal. Masalah ini diakibatkan karena

AG diinisialisasi dengan nilai-nilai yang *random*, selain itu, parameter-parameter AG yang diset di awal proses tidak dapat berubah menyesuaikan dengan kondisi pada saat tertentu.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan suatu metode tambahan yang mampu menutupi kelemahan-kelemahan pada AG. Pada penelitian ini, diusulkan penggunaan Sistem Fuzzy (SF) untuk mengatur nilai probabilitas rekombinasi (P_c) dan probabilitas mutasi (P_m) selama proses evolusi pada AG. Kombinasi antara SF dan AG ini menghasilkan sebuah algoritma baru yang bisa disebut *Fuzzy Evolutionary Algorithms* (Fuzzy EAs) atau pada (Muzid, 2008) disebut Algoritma Fuzzy Evolusi.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini ada dua, yakni:

- Membangun sebuah *hybrid system* yang mengombinasikan penggunaan SF ke dalam AG untuk menentukan posisi optimum dari sekumpulan BTS.
- Menganalisis performa Fuzzy EAs dalam menemukan solusi yang optimum dan membandingkannya dengan Algoritma Genetika biasa.

2. DASAR TEORI

2.1 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika (AG) merupakan salah satu algoritma optimasi yang ada di dalam *Evolutionary Algorithms* (EAs). EAs sendiri merupakan algoritma-algoritma optimasi yang berbasis evolusi biologi

yang ada di dunia nyata (Suyanto, 2008-1). Sebuah AG sederhana paling tidak melakukan proses-proses berikut: inisialisasi, evaluasi individu, seleksi orang tua, rekombinasi, dan mutasi (Khoiruddin, 2007).

Di dalam AG, dikenal istilah kromosom, yakni sebuah *array* yang berisi nilai-nilai tertentu. Setiap satu buah kromosom (individu) menyatakan satu buah calon solusi. Kualitas kromosom akan ditentukan oleh suatu nilai *fitness* yang diperoleh dari proses evaluasi individu. Kromosom (individu) yang memiliki nilai *fitness* terbaik dianggap sebagai solusi optimal.

2.2 Sistem Fuzzy

Sistem Fuzzy (SF) merupakan teknik inti dari *Soft Computing* (SC). SF dibangun dengan dasar *fuzzy logic*, yakni sebuah konsep berpikir yang dikembangkan untuk menangani permasalahan yang tidak bisa ditangani oleh logika tradisional (*crisp logic*), dimana hanya dikenal nilai kebenaran 0 dan 1 atau 'ya' dan 'tidak' (Khoiruddin, 2007). Sedangkan, pada kenyataannya, ada hal-hal yang tidak dapat dinyatakan dengan *crisp logic* tersebut.

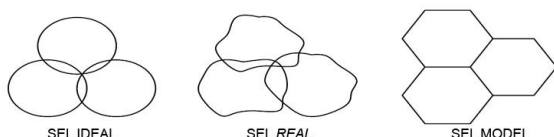
Dengan menggunakan SF, kita dapat merepresentasikan dan menangani masalah ketidakpastian yang dalam hal ini bisa berarti keraguan, ketidaktepatan, kebenaran parsial, dan kekuranglengkapan informasi.

Suatu sistem yang berbasis aturan *fuzzy* terdiri dari tiga komponen utama: *Fuzzification*, *Inference*, dan *Defuzzification* (Suyanto, 2008-2).

2.3 Sistem Komunikasi Seluler

Sistem komunikasi seluler merupakan sistem komunikasi yang digunakan untuk memberikan pelayanan jasa telekomunikasi bagi pelanggan bergerak. Disebut sistem komunikasi seluler karena daerah layanannya dibagi-bagi menjadi daerah-daerah yang kecil yang disebut *cell* (sel).

Sel merupakan suatu area cakupan (*coverage area*) dari suatu *Radio Base Station*. Sel memiliki beberapa jenis berdasarkan luas cakupan areanya: *Macro Cell* (radius > 5 km), *Micro Cell* (3 km ≤ radius ≤ 5 km), dan *Pico Cell* (radius < 1 km). Sedangkan, dari cara pemodelan/ penggambaran, sel dapat dibagi menjadi tiga macam, seperti yang terlihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Ilustrasi pemodelan sel

Dalam penelitian ini, sistem komunikasi seluler yang digunakan adalah jaringan *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS), yang merupakan produk teknologi WCDMA (*Wideband*

Code Division Multiple Access), yang mempunyai kecepatan akses data hingga 2 Mbps.

Gelombang komunikasi seluler terhubung melalui suatu perangkat yang disebut *Base Transceiver Station* (BTS). BTS adalah suatu perangkat yang menyediakan koneksi dari suatu *user equipment* (UE) ke dalam suatu jaringan komunikasi melalui perantara udara (Heine, 1999). UE merupakan perangkat yang dapat berkomunikasi dengan menggunakan jaringan UMTS.

Suatu wilayah bisa memiliki banyak BTS. Lokasi setiap BTS ditentukan dengan memperhitungkan aspek *coverage area* yang bisa dihasilkan. Performansi BTS ditentukan oleh luas *coverage area* yang dihasilkan dan tingkat layanan trafik pada satu wilayah. Untuk membangun suatu jaringan UMTS di suatu wilayah, diperlukan suatu prosedur yang sistematis agar tidak terjadi kesalahan dalam menentukan rancangan infrastruktur jaringannya. Dalam hal ini, ada beberapa prosedur yang harus dikerjakan, yaitu (Wibowo, 2009):

a. Penentuan daerah layanan

Hal pertama yang harus dilakukan adalah mendapatkan informasi mengenai letak geografis, koordinat, luas area, serta pembagian wilayah (*urban* atau *suburban*) yang akan menjadi fokus perancangan. Wilayah *urban* adalah wilayah dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, dengan aktivitas manusia yang tinggi pula, misalnya pasar, area perkantoran, area industri. Wilayah *suburban* adalah wilayah dengan tingkat kepadatan penduduk yang sedang hingga rendah, misalkan perumahan, area pedesaan.

b. Perhitungan *Offered Bit Quantity* (OBQ)

OBQ merupakan estimasi kepadatan trafik total pada jam-jam sibuk. Perhitungan OBQ dirumuskan pada Persamaan (1).

$$\sum OBQ = \frac{\sigma * p * d * BHCA * BW}{3600} \quad (1)$$

c. Perhitungan kapasitas kanal per BTS

Kapasitas yang dimaksud adalah jumlah pelanggan yang dapat dilayani dalam suatu BTS/ sel. Perhitungan kapasitas kanal per BTS didefinisikan pada Persamaan (2).

$$N_{ul} = \frac{LoadFactor}{1+i} \left(1 + \frac{BW}{\left(\frac{Eb}{No} \right) * Rxv} \right) \quad (2)$$

d. Perhitungan jumlah sel (BTS)

Untuk menghitung jumlah BTS yang diperlukan, maka terlebih dahulu dihitung total luas *coverage area* setiap BTS untuk daerah *urban* dan *suburban* dengan cara membagi nilai kapasitas per BTS dengan nilai OBQ-nya. Setelah itu, jumlah BTS yang dibutuhkan dihitung menggunakan Persamaan (3) dan Persamaan (4).

$$Jumlahsel_{urban} = \frac{LuasAreaUrban}{LuasCoveragePerSel} \quad (3)$$

$$Jumlahsel_{suburban} = \frac{LuasAreaSuburban}{LuasCoveragePerSel} \quad (4)$$

- e. Perhitungan *Radio Link Budget*
Perhitungan *Radio Link Budget* dilakukan untuk mendapatkan nilai MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*), yaitu batas maksimum sinyal yang diperbolehkan untuk hilang (redam) selama perambatan.
- f. Perhitungan *path loss*
Perhitungan *path loss* adalah perhitungan rugi-rugi sinyal pada suatu jalur tertentu berdasarkan pemilihan model kanal. Model kanal yang digunakan pada penelitian ini adalah Model Okumura-Hatta dan COST 231. Setelah nilai *path loss* untuk daerah *urban* dan *suburban* didapatkan, maka nilai *path loss* tersebut dibandingkan dengan nilai MAPL yang didapat dari perhitungan *radio link budget*. Jika nilai MAPL < *path loss*, maka perencanaan jaringan UMTS tersebut dapat diimplementasikan.

3. PERANCANGAN

3.1 Perancangan Jaringan UMTS

Perancangan jaringan UMTS pada penelitian ini ditargetkan di Kota Yogyakarta yang memiliki total luas area sebesar 32,5 Km², dengan rincian luas area *urban* sebesar 18,06 Km² dan luas area *suburban* 14,44 Km². Hasil perancangan yang telah dilakukan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil perancangan jaringan UMTS di Kota Yogyakarta

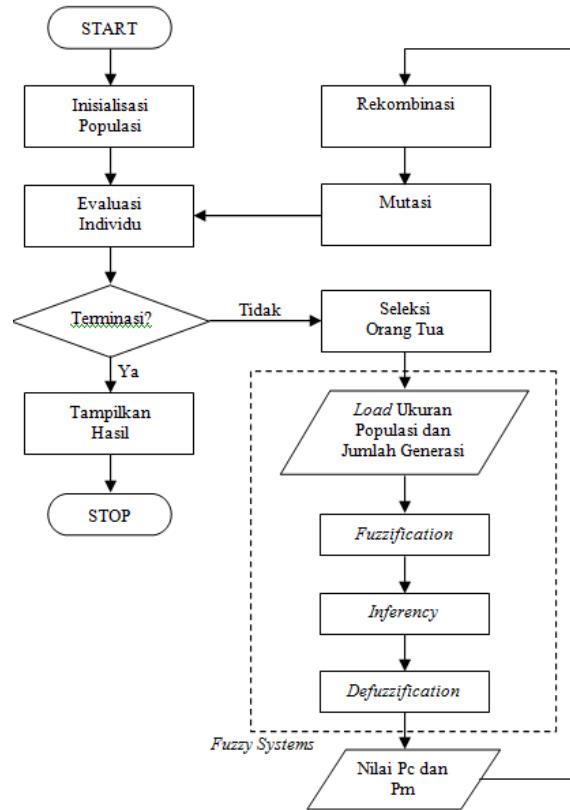
Variabel	Urban	Suburban
Luas daerah	18,06 km ²	14,44 km ²
Total OBQ	511,93 kbps/km ²	277,02 kbps/km ²
Jari-jari sel	1,174813 Km	1,59704 Km
Jumlah sel	5 buah	2 buah
Tinggi antena	30 m	30 m

3.2 Perancangan Algoritma Fuzzy Evolutionary Algorithms

Algoritma *Fuzzy Evolutionary Algorithms (Fuzzy EAs)* adalah penggabungan antara Sistem Fuzzy (SF) dan Algoritma Gentika (AG), dimana SF digunakan untuk menentukan probabilitas rekombinasi (Pc) dan probabilitas mutasi (Pm) pada AG. Diagram alir untuk perancangan algoritma ini disajikan pada Gambar 2.

Nilai Pc dan Pm akan diperbarui melalui SF setiap lima generasi. Dengan kata lain, nilai Pc dan Pm akan selalu disesuaikan dengan pertambahan generasi. Berbeda halnya pada (Muzid, 2008) yang melakukan penghitungan nilai Pc dan Pm hanya di awal saja (sebelum iterasi pada AG dilakukan). Hal ini justru kurang sejalan dengan latar belakang

kenapa SF perlu digabungkan ke dalam AG. Secara konsep, SF dibutuhkan AG untuk selalu memperbarui nilai Pc dan Pm pada AG selama iterasi berlangsung, dengan tujuan agar terjadi dinamisasi pada proses rekombinasi dan mutasi pada AG dengan berubahnya nilai Pc dan Pm setiap kurun waktu/ generasi tertentu.



Gambar 2. Diagram Alir Algoritma Fuzzy EAs

3.2.1 Inisialisasi Populasi

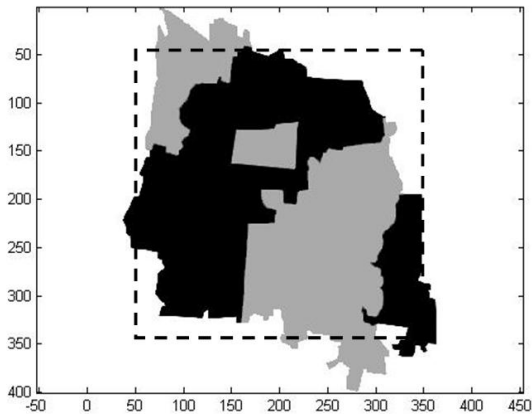
Populasi (kumpulan kromosom) direpresentasikan dalam representasi *biner*. Kromosom untuk optimalisasi posisi koordinat BTS diilustrasikan pada Gambar 3.

X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X6	Y6	X7	Y7
BTS1	BTS2	BTS3	BTS4	BTS5	BTS6	BTS7							

Gambar 3. Kromosom yang merepresentasikan koordinat-koordinat BTS

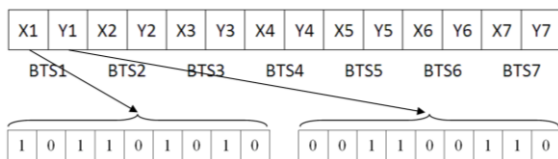
Pada kromosom di Gambar 3 tersebut, X₁, Y₁, ..., X₇, Y₇ menyatakan variabel koordinat untuk satu BTS yang kesemuanya berjumlah 14 variabel. BTS1 s.d BTS5 merupakan BTS daerah *urban*, sedangkan BTS6 dan BTS7 adalah BTS daerah *suburban*. Ruang solusi untuk untuk satu variabel X dan Y pada penelitian ini berada pada rentang [50,350]. Dengan rentang nilai seperti ini, maka besarnya ruang solusi pada masalah penempatan BTS di Kota Yogyakarta ini adalah sebesar 301¹⁴ kemungkinan solusi atau sama dengan 5,011 x 10³⁴. Gambar 4

menggambarkan area rentang solusi pada peta wilayah Kota Yogyakarta.



Gambar 4. Peta Yogyakarta dalam format *grayscale*. Area di dalam garis putus-putus adalah area solusi

Oleh karena itu, untuk memenuhi solusi yang berada pada rentang [50,350] dengan $5,011 \times 10^{34}$ kemungkinan tersebut, maka satu variabel dikodekan dengan 9 gen biner, artinya, satu variabel akan memiliki 2^9 kemungkinan nilai, sehingga untuk 14 variabel akan didapat 2^{126} atau sama dengan $8,5071 \times 10^{37}$ kemungkinan nilai. Ilustrasinya disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi pengkodean biner pada kromosom

3.2.2 Fungsi *Fitness*

Fungsi *fitness* dibangun dengan menjumlahkan dua parameter keoptimalan penempatan BTS, yakni luas *coverage area* dan tingkat layanan trafik BTS terhadap suatu daerah. Fungsi *fitness* pada penelitian ini didefinisikan pada Persamaan (5).

$$F = coverageBTS + trafikBTS \quad (5)$$

Variabel 'coverageBTS' menyatakan luas *coverage area* yang dibentuk oleh sekumpulan BTS hasil perancangan, dan variabel 'trafikBTS' adalah nilai trafik yang mampu dilayani oleh BTS-BTS tersebut, dengan kata lain trafikBTS merepresentasikan nilai luas area target yang mampu di-cover oleh *coverage area* yang dibentuk oleh sekumpulan BTS tadi.

Nilai coverageBTS diperoleh melalui Persamaan (6).

$$coverageBTS = \frac{total\ luas\ coverage\ semua\ sel}{total\ luas\ irisan\ sel} \quad (6)$$

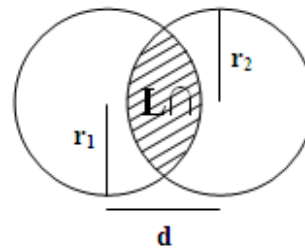
dimana, total luas coverage semua sel (L) dihitung dengan Persamaan (7).

$$L = \pi (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 \dots + r_n^2) \quad (7)$$

Total luas irisan sel ($L \cap$) dihitung dengan Persamaan (8).

$$L \cap = 2r_1 r_2 \cos^{-1}(d/2r) - d(r_2 - (d^2/4)) \quad (8)$$

Gambar 6 di bawah ini mengilustrasikan area irisan antara dua buah *coverage area* dari dua buah BTS.

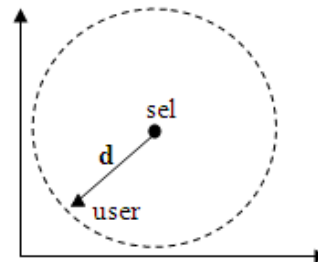


Gambar 6. Ilustrasi dua BTS yang *coverage area*-nya saling beririsan

Nilai trafik BTS diperoleh dengan melakukan pengecekan terhadap titik-titik koordinat peta terhadap titik pusat BTS terdekat yang berada di dalam jangkauan radius BTS. Penghitungan jarak tersebut dilakukan dengan menggunakan Persamaan (9).

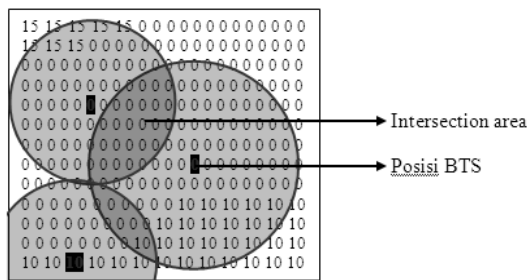
$$d^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \quad (9)$$

Ilustrasi pengukuran jarak BTS terhadap daerah di sekitarnya disajikan pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Ilustrasi penghitungan jarak BTS terhadap titik-titik di sekitarnya

Daerah urban pada peta ditandai dengan nilai 0 (daerah berwarna hitam), daerah suburban pada peta ditandai dengan nilai 10 (daerah berwarna abu-abu), sedangkan daerah di luar kota yang menjadi objek ditandai dengan nilai 15 (daerah berwarna putih). Skala peta berbanding dengan ukuran sebenarnya adalah 1:20 meter.



Gambar 8. Ilustrasi penghitungan nilai fitness

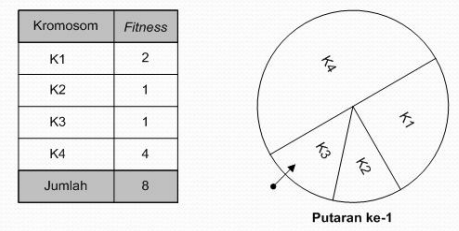
Pada Gambar 8 di atas, dimisalkan ada tiga BTS yang meng-cover potongan peta yang direpresentasikan dalam bentuk matriks. BTS dengan lingkaran yang lebih besar adalah BTS untuk daerah *suburban*, sedangkan BTS dengan lingkaran yang lebih kecil adalah BTS untuk daerah *urban*. Pada matriks peta di atas, angka 15 menyatakan warna putih, yaitu daerah di luar area Kota Yogyakarta. Angka 10 menyatakan warna abu-abu, yaitu daerah *suburban*. Sedangkan angka 0 menyatakan warna hitam, yaitu daerah *urban*.

Selanjutnya, untuk masing-masing titik matriks pada peta, dihitung jaraknya terhadap posisi BTS terdekat. Apabila jarak titik tersebut terhadap posisi BTS lebih kecil atau sama dengan jari-jari/ radius BTS, berarti titik tersebut berada di dalam cakupan BTS itu. Setelah itu, dilakukan pengecekan terhadap nilai titik matriks tersebut, apakah dia bernilai 0, 10, ataukah 15. Misalkan titik matriks tersebut berada di dalam cakupan BTS *urban*, dan ternyata titik matriks tersebut bernilai 0 (menyatakan daerah *urban*), maka nilai tingkat layanan trafik BTS akan bertambah 5. Apabila titik matriks tersebut bernilai 10 (menyatakan daerah *suburban*), maka nilai tingkat layanan trafik BTS akan bertambah 1. Begitu seterusnya hingga semua titik pada matriks dicek satu persatu. Namun, jika ternyata titik matriks tersebut bernilai 15 (menyatakan area berwarna putih), maka nilai tingkat layanan trafik BTS *urban* tersebut tidak akan bertambah.

3.2.3 Seleksi Orang Tua

Proses seleksi orang tua dilakukan dengan metode *Roulette Wheel*, yaitu sebuah algoritma yang menirukan permainan *roulette wheel*, dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* secara proporsional sesuai dengan besar nilai *fitness*-nya (Suyanto, 2008-1). Kromosom yang memiliki nilai *fitness* lebih besar, akan memiliki peluang terpilih yang lebih besar pula.

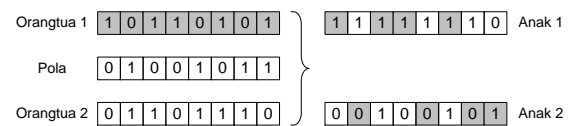
Proses seleksi dilakukan dengan memutar roda *roulette* sebanyak nilai populasi (kromosom) yang ditentukan. Kromosom-kromosom yang telah terpilih sebagai orang tua, akan dipasang-pasangkan agar menghasilkan keturunan baru melalui proses rekombinasi. Gambar 9 menunjukkan ilustrasi dari teknik *roulette wheel*.



Gambar 9. Ilustrasi Algoritma *Roulette Wheel* pada proses seleksi orang tua

3.2.4 Rekombinasi

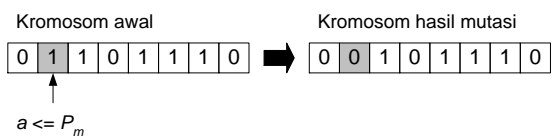
Metode rekombinasi yang digunakan adalah rekombinasi seragam, yaitu dengan membangkitkan suatu pola acak yang berupa *array* biner dengan panjang *array* sesuai dengan jumlah gen dalam kromosom. Jika pola bernilai 1, maka gen pada kedua orang tua ditukar, sedangkan jika pola bernilai 0, maka gen pada kedua orang tua tidak ditukar. Gambar 10 menunjukkan ilustrasi dari proses rekombinasi seragam.



Gambar 10. Ilustrasi rekombinasi seragam pada kromosom biner

3.2.5 Mutasi

Pada penelitian ini, proses mutasi untuk diawali dengan membangkitkan suatu bilangan acak 'a' antara 0 sampai 1 untuk setiap posisi gen. Jika bilangan acak tersebut lebih kecil atau sama dengan nilai P_m , maka gen pada posisi tersebut akan dimutasi. Pada kromosom biner, gen dengan nilai 0 akan dimutasi menjadi 1, begitu juga sebaliknya (Suyanto, 2008-1). Gambar 11 menunjukkan ilustrasi dari proses mutasi pada kromosom biner.



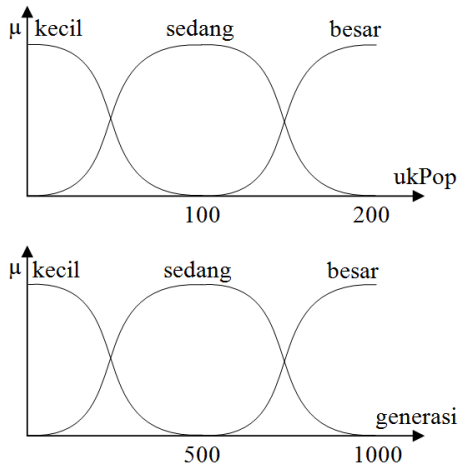
Gambar 11. Ilustrasi mutasi pada kromosom biner

3.3 Perancangan Sistem Fuzzy

3.3.1 Fuzzification

Pada tahap *fuzzification*, sistem menerima *crisp input* berupa ukuran populasi (ukPop) dan generasi untuk menghasilkan *fuzzy input* yang berupa derajat keanggotaan dengan nilai linguistik kecil, sedang, atau besar untuk ukuran populasi, dan nilai linguistik singkat, sedang, dan lama untuk generasi. Grafik fungsi keanggotaan pada proses *fuzzification* untuk

variabel ukuran populasi (ukPop) dan generasi disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik fungsi keanggotaan untuk variabel ukuran Populasi dan generasi

3.3.2 Inference

Berdasarkan (Suyanto, 2008-2), Algoritma *Fuzzy EAs* dapat menggunakan aturan *fuzzy* yang dirancang oleh Xu beserta para koleganya.

Proses *inference* ini terbagi ke dalam dua bagian, yaitu *inference* untuk probabilitas rekombinasi (Pc) dan *inference* untuk probabilitas mutasi (Pm). Metode yang digunakan pada proses ini adalah model inferensi mamdani, dimana keluaran yang dihasilkan nantinya berbentuk himpunan *fuzzy* yang berisi nilai linguistik dan derajat keanggotaannya. Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan basis aturan *fuzzy* untuk variabel Pc dan Pm yang dirancang oleh Xu beserta koleganya.

Tabel 2. Basis aturan *fuzzy* untuk nilai Probabilitas Rekombinasi (Pc) menurut Xu

UKURAN POPULASI			
GENERASI	Kecil	Sedang	Besar
Singkat	Sedang	Kecil	Kecil
Sedang	Besar	Besar	Sedang
Lama	Sangat besar	Sangat besar	Besar

Tabel 3. Basis aturan *fuzzy* untuk nilai Probabilitas Mutasi (Pm) menurut Xu

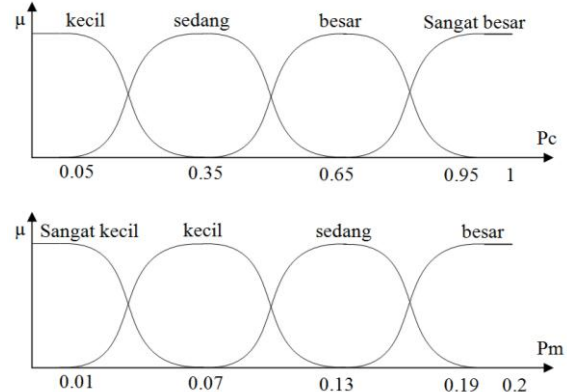
UKURAN POPULASI			
GENERASI	Kecil	Sedang	Besar
Singkat	Besar	Sedang	Kecil
Sedang	Sedang	Kecil	Sangat kecil
Lama	Kecil	Sangat kecil	Sangat kecil

3.3.3 Defuzzification

Setelah proses *inference* menghasilkan *fuzzy output*, selanjutnya *fuzzy output* tersebut akan digunakan pada proses *defuzzification* dengan *Centroid Method* dengan menggunakan Persamaan (10).

$$y^* = \frac{\sum y \mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)} \quad (10)$$

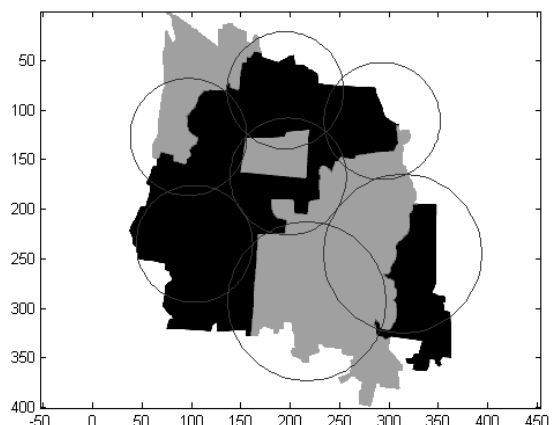
Proses ini pada akhirnya akan menghasilkan *crisp output* berupa nilai untuk masing-masing parameter Pc dan Pm. Grafik fungsi keanggotaan pada proses *defuzzification* untuk variabel Pc dan Pm disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik fungsi keanggotaan untuk variabel Pc dan Pm

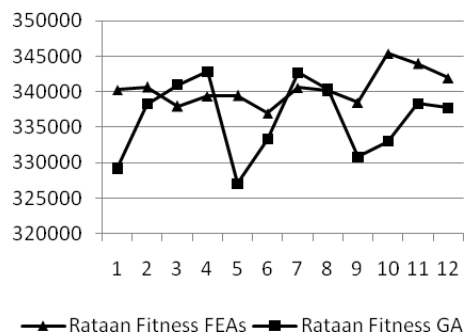
4. PEMBAHASAN

Pengujian sistem menghasilkan solusi penempatan BTS dengan luas area yang berhasil *discover* sebesar 90,57% dan tingkat layanan trafik BTS sebesar 82.84%. Gambar 14 menunjukkan visualisasi hasil penempatan BTS. Lingkaran yang ukurannya lebih kecil merupakan *coverage area* dari BTS daerah *urban*. Sedangkan sisanya adalah *coverage area* dari BTS daerah *suburban*.



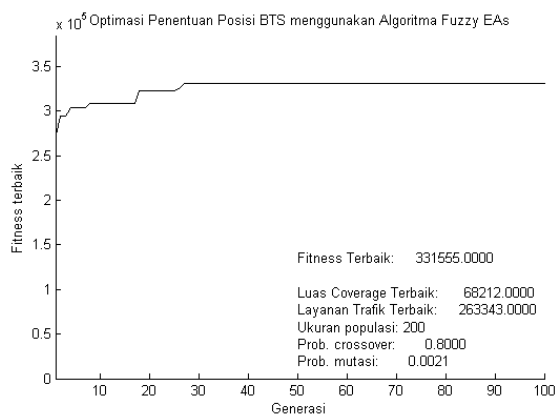
Gambar 14. Gambar peta penempatan BTS hasil pengujian di Kota Yogyakarta

Jika performa *Fuzzy EAs* dibandingkan dengan AG biasa, *Fuzzy EAs* cenderung mengungguli AG dalam perolehan nilai *fitness* tertinggi, sebagaimana yang tervisualisasikan pada grafik pada Gambar 15.

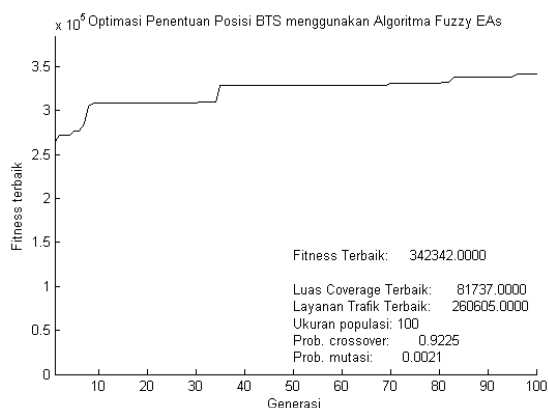


Gambar 15. Grafik perbandingan kinerja Algoritma Fuzzy Evolusi dan Algoritma Genetika biasa

Selain itu, Algoritma Genetika juga terkadang terjebak pada konvergensi prematur, sehingga mengalami stagnansi dan tidak dapat memperoleh nilai *fitness* yang lebih baik lagi. Hal ini dapat dilihat pada grafik peningkatan nilai *fitness* pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 16. AG mengalami stagnansi pada generasi ke-20an dan tidak dapat mencapai nilai *fitness* yang lebih tinggi lagi pada generasi berikutnya



Gambar 17. Fuzzy EAs mampu menghindari stagnansi pada generasi ke-30an dan berhasil mencapai nilai *fitness* yang lebih tinggi pada generasi-generasi setelahnya

Kondisi nilai P_c dan P_m pada AG selalu sama dari awal hingga akhir. Hal ini menyebabkan tidak adanya perubahan pada proses rekombinasi dan mutasi. Jadi, peluang terjadinya rekombinasi dan mutasi dari awal evolusi hingga akhir selalu sama, sehingga tingkat variasi kromosom menjadi kecil. Beda halnya dengan kondisi nilai P_c dan P_m pada Algoritma Fuzzy Evolusi yang menggunakan Sistem Fuzzy untuk mengatur nilai P_c dan P_m pada setiap generasinya, sehingga proses rekombinasi dan mutasi yang merupakan proses utama di dalam Algoritma Genetika, dapat berubah-ubah di tiap generasinya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Penentuan posisi BTS menggunakan Fuzzy EAs mampu menghasilkan solusi dengan persentase wilayah Kota Yogyakarta yang ter-cover sebesar 90.57% dan tingkat layanan trafik BTS sebesar 82.84%.
- Algoritma Fuzzy Evolusi pada studi kasus penentuan posisi BTS menunjukkan performa yang lebih baik daripada Algoritma Genetika biasa yang tidak menggunakan Sistem Fuzzy di dalamnya. Terbukti dengan capaian-capaian nilai *fitness* maksimum yang diperoleh dari hasil pengujian.

5.2 Saran

- Perlu dilakukan penelitian dengan studi kasus dan metode yang serupa, dengan menggunakan model aturan fuzzy yang diusulkan oleh pakar yang lain, seperti Herera dan Lozano.
- Perlu dilakukan pula penelitian yang lebih spesifik yang merancang dan menganalisis satu bentuk fungsi keanggotaan dengan melakukan pengaturan rentang-rentang nilai linguistik.
- Sebaiknya, penelitian bisa diterapkan pula pada wilayah yang jauh lebih besar (misal, tingkat propinsi atau kota yang lebih luas lagi daerahnya).

PUSTAKA

- Heine, G. *GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation*. Boston: Artech House, 1999.
- Khoiruddin, A. A. *Algoritma Genetika untuk Menentukan Jenis Kurva dan Parameter Himpunan Fuzzy*. Yogyakarta: SNATI, 2007.
- Muzid, S. *Pemanfaatan Algoritma Fuzzy Evolusi untuk Penyelesaian Kasus Travelling Salesman Problem*. Yogyakarta: SNATI, 2008.
- Suyanto. *Evolutionary Computation*. Bandung: Informatika, 2008.
- Suyanto. *Soft Computing*. Bandung: Informatika, 2008.
- Wibowo, A. *Tugas Akhir: Penempatan BTS UMTS Menggunakan Algoritma Genetika*. Bandung: IT Telkom, 2009.