

Optimasi Penentuan Posisi *Evolved Node B Long Term Evolution* pada BTS GSM yang Terpasang Menggunakan *Fuzzy Evolutionary Algorithm*

Optimization of Determination of Evolved Node B Long Term Evolution Position at Existing GSM BTS Using Fuzzy Evolutionary Algorithm

Anisari Mei Prihatini*, Sholeh Hadi P., dan Rahmadwati

Jurusan Elektro Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan M.T Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Abstrak

LTE (*Long Term Evolution*) atau yang disebut dengan teknologi 4G merupakan suatu teknologi telekomunikasi bergerak yang dikeluarkan oleh 3GPP Release 8 dan merupakan pengembangan dari HSDPA. Untuk membangun sebuah jaringan LTE di suatu daerah, penyelenggara jasa jaringan telekomunikasi harus membangun infrastruktur sistem komunikasi seluler baru. Salah satu aspek yang sangat berperan dalam pembangunan infrastruktur adalah pembangunan *Evolved NodeB (ENodeB)*. Meningkatnya pembangunan menara ENodeB baru memberikan dampak pada faktor keamanan lingkungan, kesehatan masyarakat dan estetika lingkungan. Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi untuk menempatkan ENodeB pada BTS yang telah terpasang menggunakan metode *Fuzzy Evolutionary Algorithm (FEA)*. Hasil yang didapatkan adalah penempatan 58 ENodeB pada BTS yang telah terpasang. Performansi penempatan ENodeB menggunakan *Fuzzy Evolutionary Algorithm* sebesar 84%. *Fuzzy Evolutionary Algorithm* mencapai kestabilan pada nilai 84 dengan nilai optimalitas sebesar 100 dan trafik sebesar 68.

Kata kunci: ENodeB, LTE, Fuzzy Evolutionary Algorithm.

Abstract

LTE (*Long Term Evolution*) or so-called 4G technology is a mobile telecommunication technology issued by 3GPP Release 8 and it is a development of HSDPA. To build an LTE network, the telecommunications network service provider must build a new mobile communication system infrastructure. One aspect that was important to build infrastructure is Evolved NodeB (ENodeB). The increasing number of ENodeB will impact on the safety factor of the environment, public health and environmental aesthetics. This research will be optimized ENodeB position on existing base stations using Fuzzy Evolutionary Algorithm (FEA) method. The obtained results are the placement of 58 ENodeB on existing base stations. The performance ENodeB positioning using FEA is 84%. The stable condition is reach on 84, that value consist of two factors, the optimality factor is 100 and traffic factor is 68.

Keywords: ENodeB, LTE, Fuzzy Evolutionary Algorithm.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan pelanggan jaringan telekomunikasi untuk penggunaan *mobile data* dan aplikasi multimedia meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2013-2018 diprediksi penggunaan trafik data global per bulan akan melebihi 15 *Exabyte* yang mana mengindikasikan pertumbuhan sebesar 1000% dalam kurun waktu 5 tahun [1]. Di Indonesia diperkirakan jumlah pelanggan data mencapai 270 juta pengguna dalam kurun waktu 3-4 tahun mendatang [2]. Oleh sebab itu, dibutuhkan peningkatan kecepatan penambahan kapasitas jaringan. *Third Generation Partnership Project (3GPP)*

mengembangkan teknologi yang dapat meningkatkan performa jaringan *mobile*, salah satunya adalah *Long Term Evolution (LTE)*. LTE merupakan kelanjutan dari teknologi jaringan GSM/EDGE and UMTS/HSPA tetapi memiliki kemampuan untuk mendukung *bandwidth* yang lebih lebar dari 5MHz. LTE dirancang untuk meningkatkan *throughput* dan kapasitas *base station*, mengurangi latensi, dan *full mobility* [3].

Munculnya teknologi baru dan peningkatan jumlah pelanggan seluler akan membuat penyelenggara jasa jaringan telekomunikasi membangun infrastruktur sistem komunikasi seluler. Salah satu aspek yang sangat berperan dalam pembangunan infrastruktur adalah penempatan posisi *Evolved Node B (ENodeB)*. ENodeB memiliki fungsi seperti perangkat *Base Transmitter Station (BTS)* yaitu sebagai pengirim dan penerima sinyal. Jika suatu daerah yang memiliki kluster pelanggan dengan kepadatan dan tingkat layanan trafik yang cukup, maka di tempat tersebut akan ada

* Corresponding Author.

Email: anisarimei@gmail.com

Received: November 20, 2015; Revised: November 27, 2015

Accepted: December 20, 2015

Published: December 30, 2015

© 2015 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v15.39-44

pembangunan menara telekomunikasi. Selanjutnya bila dalam kurun waktu tertentu terdapat perkembangan atau peningkatan pelanggan yang signifikan, akan ada penambahan pembangunan menara baru, begitu seterusnya. Meningkatnya pembangunan menara baru akan memberikan dampak pada faktor keamanan lingkungan, kesehatan masyarakat dan estetika lingkungan [4]. Salah satu solusi yang dapat mengurangi hal tersebut adalah menempatkan ENodeB pada BTS yang telah terpasang.

Penelitian ini menggunakan *Fuzzy Evolutionary Algorithm* (FEA) yang merupakan konsep gabungan dua buah model *soft computing* yaitu algoritma genetika dan logika *fuzzy* [5]. Dalam algoritma genetika, pengguna harus mendefinisikan beberapa parameter pada awal *running* agar proses dapat berjalan dengan baik. Terdapat tiga parameter penting dalam algoritma genetika yaitu ukuran populasi, probabilitas *crossover* (Pc), dan probabilitas mutasi (Pm) [6]. Ketiga parameter ini harus didefinisikan secara hati-hati agar tidak terjadi konvergensi dini sehingga mengakibatkan solusi yang dihasilkan bukanlah solusi yang optimum. Hal tersebut dapat terjadi diakibatkan karena nilai Pc dan Pm bernilai *random* (acak). Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan metode tambahan yang mampu mengatasi kelemahan pada algoritma genetika yaitu dengan menambahkan konsep *Fuzzy* untuk mengatur nilai Pc dan Pm selama proses evolusi [7].

Terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan posisi penentuan *base station* antara lain penelitian yang dilakukan oleh Pancawati Dessy yang menggunakan algoritma genetika untuk optimasi penempatan *Node B* UMTS900 pada BTS yang ada (*existing*). Hasil penelitian menyebutkan performansi penempatan *Node B* ditentukan oleh daya cakup wilayah (*coverage area*) yang dihasilkan yaitu sebesar 35% dan tingkat layanan trafiknya sebesar 61%. Tingkat optimasi masih dapat dikatakan rendah [8].

Muhammad Fachrie dkk, menggunakan *Fuzzy Evolutionary Algorithm* untuk memperhitungkan penempatan *Base Transceiver Station*, dari hasil penelitian didapatkan luas area yang berhasil ter-cover sebesar 90,57% dengan tingkat layanan trafik sebesar 82,84%. Hasil perhitungan menggunakan FEA dianggap lebih baik dibandingkan dengan penempatan BTS menggunakan algoritma lainnya [7].

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini dimaksudkan untuk memperoleh posisi optimum dalam penempatan ENodeB LTE pada BTS *Global System for Mobile* (GSM) yang terpasang menggunakan metode *Fuzzy Evolutionary Algorithm*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution LTE adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah proyek *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memperbaiki standar *mobile phone* generasi ketiga (3G). LTE memberikan kemampuan kecepatan transfer data mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *Uplink*. LTE juga mampu mendukung semua aplikasi

multimedia contohnya *voice*, data, video maupun IPTV. Selain itu, LTE juga memberikan *coverage area* dan kapasitas layanan yang lebih besar, mendukung penggunaan *multiple-antenna*, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* dan dapat terhubung dan terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada [9].

Langkah yang dilakukan untuk perencanaan jaringan LTE antara lain penentuan daerah layanan, estimasi jumlah pelanggan LTE, perhitungan OBQ (*Offered Bit Quantity*) pelanggan, kapasitas kanal, jumlah sel, dan *radio link budget*.

1) Identifikasi Daerah Layanan

Berdasarkan kepadatan dan tingkat aktivitas penduduk, wilayah dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu wilayah *rural*, urban dan *suburban*. Wilayah urban adalah wilayah yang memiliki tingkat kepadatan dan aktivitas manusia yang lebih tinggi daripada daerah sekitarnya, misalnya wilayah perkotaan, pusat pemerintahan, pusat perbelanjaan dan perkantoran. Wilayah *suburban* adalah wilayah yang tingkat kepadatan penduduknya lebih rendah daripada daerah *urban*. Sedangkan wilayah *rural* adalah wilayah dengan tingkat kepadatan penduduk paling rendah.

2) Perhitungan Jumlah Pelanggan

Estimasi jumlah pelanggan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [8],

$$U_n = U_o(1 + f_p)^n \quad (1)$$

di mana,

- U_n : Jumlah pelanggan pada tahun ke-n,
- U_o : Jumlah pelanggan pada tahun perencanaan,
- f_p : faktor pertumbuhan,
- n : Jumlah tahun prediksi.

3) Perhitungan Offered Bit Quantity (OBQ)

OBQ adalah total *bit throughput* per km² pada jam sibuk. Untuk menghitung OBQ (kbps/km²) digunakan persamaan berikut [8],

$$OBQ = \sigma \times p \times d \times BHCA \times BW \quad (2)$$

di mana,

- OBQ : Offered Bit Quantity (kbps/km²),
- σ : kepadatan pelanggan suatu daerah (user/km²),
- p : penetrasi pengguna tiap layanan (%),
- d : durasi panggilan efektif (sec),
- BHCA : Busy Hour Call Attempt (call/hour),
- BW : Net User Bit Rate (kbps).

4) Perhitungan Kapasitas Kanal

Kapasitas suatu kanal diukur dari jumlah bit sistem yang dapat dikirim per Hertz dari *bandwidth* tiap detik (bps/Hz). Untuk menghitung kapasitas suatu kanal dapat menggunakan persamaan berikut:

$$N_{sel} = \frac{w/p}{[Eb/No]} \frac{\beta}{\alpha[1+f]} \quad (3)$$

di mana:

- R : Data rate (Kbps),

E_b/N_0 : Energi bit per noise (dB),
 W : *Bandwidth*(Mbps),
 α : *Activity factor*,
 β : *Gain* sektorisasi antenna,
 f : Faktor interferensi.

5) *Perhitungan Jumlah Sel*

Jumlah sel dapat diperoleh dari hasil bagi antara luas daerah perencanaan dengan luas cakupan suatu sel, sehingga diperoleh persamaan rumus sebagai berikut [8],

$$\text{Jumlah Sel} = \frac{\text{Luas Area Perencanaan}}{\text{Luas Cakupan Sel}} \quad (4)$$

6) *Perhitungan Radio Link Budget*

Perhitungan *radio link budget* digunakan untuk memperkirakan nilai maksimum pelemahan sinyal atau *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) antara antenna *mobile* dan antenna *base station*.

$$L_b = \text{DL Tx power} + \text{DL Tx antenna gain} + \text{Rx antenna gain} - (\text{thermal noise} + \text{Rx SNR} + \text{DL Rx noise figure} + \text{Implementation loss} + \text{Interference margin} + \text{fade margin}) \quad (5)$$

B. Evolutionary Algorithm (EAs)

EAs merupakan algoritma-algoritma optimasi yang berbasis evolusi biologi yang ada di dunia nyata. Dalam teori evolusi, suatu populasi terdiri atas sejumlah individu hidup di suatu daerah yang memiliki sumber daya terbatas. Dengan demikian, kompetisi antar-individu untuk memperebutkan sumber daya terbatas tersebut menyebabkan individu-individu dengan tingkat adaptasi yang lebih tinggi akan bertahan hidup dan yang lain akan musnah. Proses alamiah inilah yang diadopsi oleh EAs untuk menyelesaikan masalah-masalah komputasi [6].

C. Logika Fuzzy

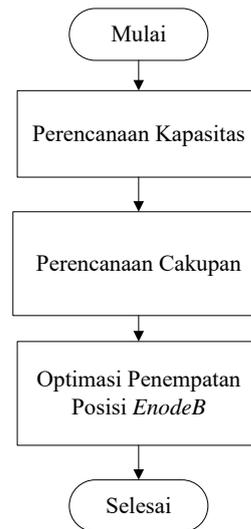
Logika *fuzzy* adalah sistem berbasis aturan yang di dalamnya terdapat himpunan aturan *fuzzy* yang mempresentasikan mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel *input* ke variabel *output* dengan pernyataan *If-Then*. Proses ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) kemudian mengubahnya menjadi bentuk fungsi keanggotaan melalui proses *fuzzifikasi*. Lalu dengan aturan *fuzzy*, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran *fuzzy*. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numerik melalui proses *defuzzifikasi* [10].

III. METODE PENELITIAN

Tahapan ini berisi kerangka solusi masalah yang dilakukan untuk mendapatkan posisi ENodeB yang optimal, antara lain perencanaan kapasitas, perencanaan cakupan dan optimasi penempatan posisi ENodeB.

A. Perencanaan Kapasitas

Perencanaan berdasarkan kapasitas yang terdiri dari beberapa aspek di antaranya identifikasi daerah layanan, estimasi jumlah pelanggan, perhitungan kebutuhan trafik pelanggan dan perhitungan kapasitas sel.



Gambar 1. Tahapan Optimasi Penempatan ENodeB LTE.

B. Perencanaan Cakupan

Perencanaan berdasarkan cakupan, yang meliputi beberapa aspek antara lain perhitungan *radio link budget*, perhitungan radius sel dan jumlah sel yang dibutuhkan.

C. Optimasi Penempatan Posisi ENodeB

Penempatan posisi ENodeB pada BTS yang telah terpasang dipengaruhi oleh faktor optimalitas dan trafik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Daerah Layanan

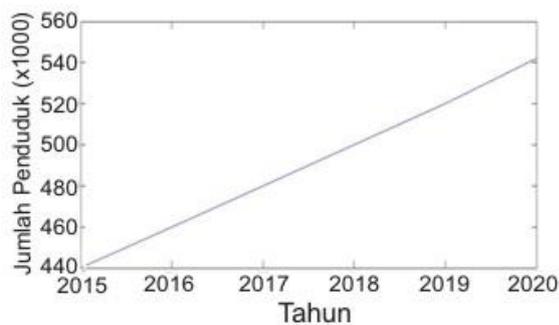
Objek perencanaan penelitian ini berada di Kota Surabaya. Kota Surabaya terletak pada posisi 7,9°-7,21° Lintang Selatan, 112,36°-112,54° Bujur Timur. Luas Wilayah Kota Surabaya sebesar 316,36 km² yang terbagi dalam 31 kecamatan. Klasifikasi pembagian daerah Kota Surabaya termasuk dalam kategori daerah urban karena Surabaya termasuk kota besar yang mana terdapat pusat pemerintahan Provinsi Jawa Timur, daerah bisnis dan perkantoran dengan banyak gedung pencakar langit (minimal 20 meter) dan kepadatan penduduk lebih dari 19.200/Km².

B. Estimasi Jumlah Pelanggan LTE

Estimasi jumlah pelanggan LTE akan dilakukan dalam kurun waktu 5 tahun kedepan dihitung dari tahun 2015-2020. Data yang digunakan dalam perhitungan estimasi jumlah penduduk yaitu data penduduk Kota Surabaya tahun 2010 yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Surabaya [11]. Dengan tingkat penetrasi seluler sebesar 85% dari jumlah penduduk dan tingkat penetrasi provider X sebesar 21,7%, maka didapatkan hasil estimasi jumlah pelanggan seperti yang terlihat pada Gambar 2.

C. Perhitungan Offered Bit Quantity (OBQ)

Tingkat kepadatan pelanggan LTE wilayah urban sebesar 2250 *user/km*² dengan distribusi pelanggan diasumsikan 50% *building*, 30% *pedestrian* dan 20% *vehicular* [8], sehingga didapatkan hasil perhitungan OBQ seperti yang tertera pada Tabel 1.



Gambar 2. Estimasi Jumlah Pelanggan LTE.

TABEL 1
PERHITUNGAN OFFERED BIT QUANTITY (OBQ)

| No. | Tingkat Pergerakan User | OBQ (kbps/km ²) |
|-------|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | Building | 831 |
| 2 | Pedestrian | 218,88 |
| 3 | Vehicular | 46,152 |
| TOTAL | | 1096,032 |

D. Perhitungan Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal dapat dihitung menggunakan Persamaan 3, dengan besarnya:

$$\begin{aligned} \text{Bit rate (R)} &: 1000 \text{ Kbps,} \\ \text{Eb/No} &: 1 \text{ dB,} \\ \text{Bandwidth} &: 5 \text{ MHz,} \\ \alpha &: 1, \\ \beta &: 2,4, \\ f &: 0,6. \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh kapasitas kanal adalah 5,95758 kanal/sel atau 5957,58 Kbps/sel.

E. Perhitungan Jumlah ENodeB

Luas area sebuah ENodeB dengan asumsi masing-masing sektor pada BTS sebanyak 3 sektor didapatkan 5,4355 km². Setelah ditemukan luas tiap sel maka dengan menggunakan persamaan 4 didapatkan jumlah ENodeB sebanyak 58 sel.

F. Simulasi Fuzzy Evolutionary Algorithm

Langkah-langkah yang dilakukan untuk simulasi FEA antara lain:

1) Menghitung Trafik BTS

Suatu ENodeB dalam perencanaan ini memiliki radius sel 1,0719 km dan untuk mengetahui besarnya trafik tiap ENodeB caranya adalah dengan menghitung berapa banyak penduduk yang berhasil tercover oleh suatu ENodeB. Setelah dihitung, nilai trafik dari BTS-1 hingga BTS-85 adalah sebagai berikut:

354,332,375,321,302,372,421,386,341,338,416,451,583,469,479,486,537,318,326,315,379,422,547,532,476,87,6,763,532,412,634,498,525,534,503,421,365,752,47447,6,589,465,532,456,496,542,587,385,583,492,582,427,4,93,693,496,572,372,594,573,629,535,592,751,484,641,304,496,385,659,523,417,739,673,538,486,355,470,507,459

2) Perancangan FEA

Perancangan FEA menggunakan ketentuan sebagai berikut:

- Jumlah generasi sebanyak 50,
- Populasi terdiri dari 10 individu,

- Individu memiliki 85 gen yang merupakan jumlah BTS yang telah terpasang,
- Nilai *fitness* ditentukan oleh 2 faktor yaitu optimalitas dan trafik. Nilai *fitness* memiliki rentang nilai 0-100.

3) Membangkitkan Individu

Suatu individu memiliki 85 gen dan dibangkitkan secara acak. Setiap gen direpresentasikan dengan bilangan biner (1 atau 0). Apabila gen bernilai 1, artinya gen tersebut merupakan kandidat yang akan dipasang ENodeB dan sebaliknya. Contoh individu:
01001001000101110111110010000001011011010111
010111110000110100111101011011110110101

4) Inisialisasi Populasi

Inisialisasi populasi dilakukan untuk membangkitkan individu sebanyak ukuran populasi. Populasi terbentuk dari 10 individu. Berikut ini merupakan salah satu contoh individu pada generasi ke-0.

(0) 0100100100010111011111001000000101101101
0111010111110000110100111101011011110110
101 ($\sigma = 81, t = 52, f = 66$)

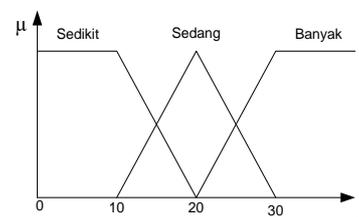
Individu tersebut memiliki nilai optimalitas sebesar 81, trafik sebesar 52 dan nilai *fitness* sebesar 66.

5) Seleksi Orang Tua

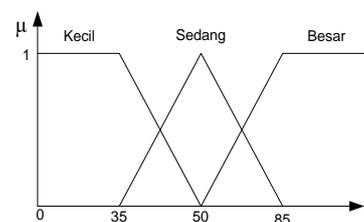
Proses ini akan memilih individu terbaik berdasarkan perhitungan jumlah nilai fungsi *fitness*. Individu dengan nilai *fitness* tertinggi akan tetap dipertahankan untuk dijadikan orang tua. Individu tersebut dipilih menggunakan metode seleksi busur roda roulette. Pasangan orang tua yang terbentuk pada proses roulette antara lain individu 5-individu 7, individu 8-individu 1, individu 5-individu 5, individu 7-individu 4, individu 0-individu 3.

6) Perancangan Fuzzy

Perancangan logika Fuzzy digunakan sebagai perhitungan nilai probabilitas *crossover* (Pc) dan probabilitas mutasi (Pm). Terdapat dua masukan untuk logika Fuzzy yaitu jumlah generasi (g) dan nilai *fitness* (f). Jumlah generasi (g) dan nilai *fitness* masing-masing dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

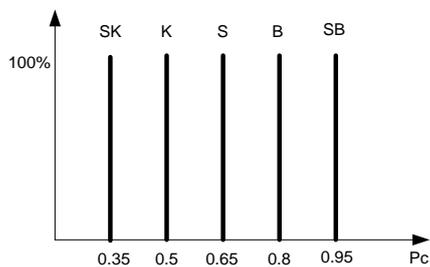


Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Jumlah Generasi (g).

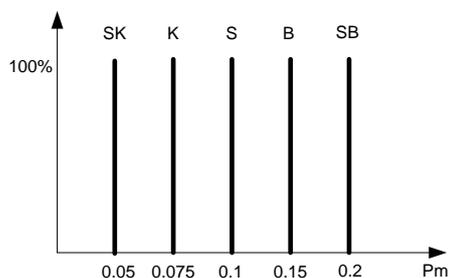


Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Nilai Fitness (f).

Fungsi persentase keanggotaan P_c dan P_m (seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan 6) berbentuk *singleton*. Fungsi output P_c dan P_m masing-masing terdiri dari lima label yaitu SK (Sangat Kecil), K (Kecil), S (Sedang), B (Beser), dan SB (Sangat Besar).



Gambar 5. Fungsi Persentase Keanggotaan P_c .



Gambar 6. Fungsi Persentase Keanggotaan P_m .

Setelah masukan diubah ke dalam variabel *linguistic*, selanjutnya diolah sesuai dengan kaidah aturannya (*rule*).

TABEL 2
KAIDAH ATURAN LOGIKA FUZZY PC

| Generasi | Fitness | | |
|----------|-------------------|------------|-------------------|
| | Kecil | Sedang | Besar |
| Sedikit | Sedang (S) | Kecil (K) | Sangat Kecil (SK) |
| Sedang | Besar (B) | Sedang (S) | Kecil (K) |
| Banyak | Sangat Besar (SB) | Besar (B) | Sedang (S) |

TABEL 3
KAIDAH ATURAN LOGIKA FUZZY PM

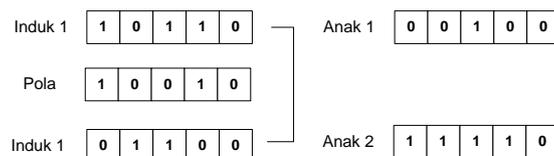
| Generasi | Fitness | | |
|----------|-------------------|------------|-------------------|
| | Kecil | Sedang | Besar |
| Sedikit | Sangat Besar (SB) | Besar (B) | Sedang (S) |
| Sedang | Besar (B) | Sedang (S) | Kecil (K) |
| Banyak | Sedang (SB) | Kecil (K) | Sangat Kecil (SK) |

Setelah didapatkan aturan yang berlaku selanjutnya dilakukan defuzzifikasi. Defuzzifikasi adalah proses mengubah keluaran *Fuzzy* menjadi keluaran *crisp*. Hasil defuzzifikasi berupa nilai P_c dan P_m . Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Center of Area* (COA).

7) Kawin Silang (*Crossover*)

Proses kawin silang merupakan langkah yang dilakukan untuk menghasilkan individu-individu keturunan berdasarkan pasangan individu induk. Proses ini terlebih dahulu memilih sejumlah pasangan individu berdasarkan nilai probabilitas *crossover* (P_c) yang telah dihitung menggunakan *fuzzy*, kemudian pasangan individu tersebut disilangkan untuk menghasilkan pasangan individu keturunan. Dalam pengujian, metode kawin silang yang digunakan adalah metode *uniform crossover*. Jika pola bernilai 1, maka gen kedua induk

ditukar, dan sebaliknya, jika pola bernilai 0 maka gen kedua induk tidak ditukar. Gambar 7 merupakan ilustrasi *uniform crossover*.



Gambar 7. Ilustrasi Individu yang Mengalami *Crossover*.

8) Mutasi

Setelah penerapan proses *crossover*, semua individu hasil *crossover* akan mengalami mutasi. Proses ini menggunakan metode *uniform mutation*, yang mana peluang pengacakan sebesar 50%. Apabila individu masuk peluang maka individu tersebut melanjutkan proses mutasi, apabila tidak maka individu keluar tanpa proses mutasi. Individu yang masuk peluang mutasi melanjutkan proses mutasi dengan nilai P_m yang dihitung menggunakan logika *Fuzzy*.

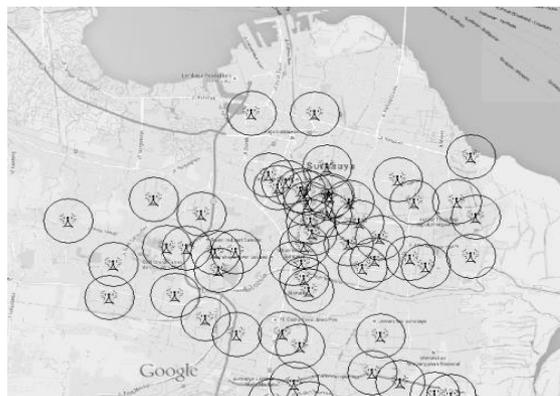
9) Elitisme

Elitisme adalah proses mengganti individu terjelek setelah proses mutasi dan diganti dengan individu terbaik sebelum proses perkawinan. Pada proses ini, apabila terdapat 2 individu hasil yang nilai *fitness*-nya paling rendah akan diganti dengan 2 individu yang *fitness*-nya paling tinggi pada proses *roulette*.

G. Eksekusi *Fuzzy Evolutionary Algorithm*

Setelah dieksekusi, didapatkan nilai *fitness* dari generasi ke-0 sampai generasi ke-16 masih belum stabil. Nilai *fitness* telah stabil selama 10 generasi yaitu generasi ke-17 hingga generasi ke-26 sehingga algoritma bisa dihentikan. *Fitness* mencapai kestabilan di angka 84 dengan nilai optimalitas sebesar 100 dan trafik sebesar 68. Nilai optimalitas 100 artinya jumlah ENodeB yang akan dipasang sesuai dengan perencanaan yaitu berjumlah 58 ENodeB. Nilai trafik 68 artinya pelanggan yang dapat dilayani adalah 68% dari total pelanggan LTE di Surabaya. Nilai trafik belum mencapai nilai maksimal karena ENodeB yang lebih banyak terpasang di daerah tengah kota. Hal tersebut dapat terjadi karena trafik tengah kota lebih tinggi daripada daerah pinggir Kota Surabaya.

Pada Gambar 8 terlihat bahwa persebaran ENodeB hampir merata dan terdapat beberapa ENodeB yang



Gambar 8. Hasil Tampilan ENodeB LTE di Surabaya.

ditempatkan di tengah kota. Hal ini disebabkan oleh trafik di wilayah tengah kota yang cenderung lebih tinggi daripada daerah lainnya, sehingga perlu dipasang beberapa ENodeB untuk memenuhi kebutuhan trafik di wilayah tersebut. Tingginya trafik di wilayah tengah kota disebabkan oleh padatnya pemukiman penduduk serta terdapat pusat pemerintahan, perkantoran, dan banyaknya tempat hiburan di wilayah tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jumlah ENodeB yang dibutuhkan sesuai dengan perencanaan LTE di Kota Surabaya sebanyak 58 ENodeB. Dan dari hasil eksekusi FEA, didapatkan nilai *fitness* mulai stabil pada saat generasi ke 17. Performansi penempatan ENodeB menggunakan *Fuzzy Evolutionary Algorithm* sebesar 84%. *Fitness* mencapai kestabilan pada nilai 84 dengan nilai optimalitas 100 dan trafik 68.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cisco, *Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast (2013–2018)*; Cisco, 2014.
- [2] C. Anestia. (2014). Pelanggan data tiga operator besar naik jadi 123,3 juta pengguna. *Indonesia Finance Today*. [Online]. Available: http://assets.ift.co.id/pdf/epaper/file/336/Telko_17_3_14.pdf
- [3] M. Ergen, *Mobile Broadband Including WiMAX and LTE*, Berkeley, CA-USA: Springer, 2009.
- [4] *Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Bersama Menara Telekomunikasi*, Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika No. 19/Per/M.Kominfo/03/2009, Jakarta. 2009.
- [5] S. Muzid, “Pemanfaatan algoritma *fuzzy* evolusi untuk menyelesaikan kasus travelling salesman problem”, dalam *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2008 (SNATI’08)*, Juni 2008, hal. C33-C38.
- [6] Suyanto, *Evolutionary Computation Komputasi Berbasis Evolusi dan Genetika*, Bandung, Indonesia: Informatika, 2008.
- [7] M. Fachrie, S. Widowati, dan A. T. Hanuranto, “Implementasi *fuzzy evolutionary algorithms* untuk penentuan posisi BTS”, dalam *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2012 (SNATI’12)*, Juni 2012.
- [8] P. D. Aryanti, S. H. Pramono, dan O. Setyowati “Optimasi penempatan node B UMTS900 pada BTS existing menggunakan algoritma genetika”, *Jurnal EECCIS*, vol. 7, no. 2, hal. 111-118, Desember 2013.
- [9] U. K. Usman, G. Prihatmoko, D. K. Hendraningrat, dan S. D. Purwanto, *Fundamental Teknologi Seluler LTE*, Bandung, Indonesia: Rekayasa Sains, 2012.
- [10] J. Yan, *Using Fuzzy Logic: Towards Intelligent Systems*, New York, USA: Practice Hall, 1994.
- [11] Badan Pusat Statistik Kota Surabaya. (2010). [On line]. Available: www.surabaya.go.id.