

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 14 NOMOR 3

Desember 2018

Implementasi Bat Algorithm dalam Optimasi Penempatan Femtocell

214-220

Nifty Fath, Eka Purwa Laksana, dan Rummi Sirait

JRE	Vol. 14	No. 3	Hal 145–220	Banda Aceh, Desember 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	-------------	------------------------------	--------------------------------------

Implementasi Bat Algorithm dalam Optimasi Penempatan Femtocell

Nifty Fath, Eka Purwa Laksana, dan Rummi Sirait
Universitas Budi Luhur
Jl. Ciledug Raya, RT.10/RW.2, Petukangan Utara, Pesanggrahan,
Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12260
e-mail: nifty.fath@budiluhur.ac.id

Abstrak—*Femtocell* dinilai menjadi kunci utama dalam teknologi telekomunikasi untuk meningkatkan kapasitas sistem selular dengan cara memperkecil dimensi sel. Pada umumnya, jaringan *femtocell* dirancang untuk diletakkan di dalam ruangan tertutup. Peletakan *femtocell* dinilai menjadi isu penting untuk menyelesaikan permasalahan perancangan jaringan nirkabel oleh karena perancangan manual dinilai sangat tidak efisien. Dalam penelitian ini, dilakukan sebuah pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan penempatan *femtocell* yang terletak di dalam ruangan menggunakan *bat algorithm*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan letak *femtocell* yang optimal sehingga dapat memaksimalkan nilai SNR. Dalam 100 kali percobaan, optimasi yang digunakan mampu meningkatkan rerata SNR sebesar 34,89 dB. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan yang dilakukan adalah sangat efektif dan efisien.

Kata kunci: *bat algorithm, femtocell, optimasi*

Abstract—*Femtocell* has been considered as an important technology to increase the cellular system capacity by bringing the base station closer to the user and shrinking the cell dimension. Basically, femtocell networks are deployed in indoor environment such as an office. Thus, femtocell placement problems are one of the important issues in planning the wireless networks, since the manual planning processes are not efficient. In this paper, the solution of femtocell placement problem in an indoor environment is solved by bat algorithm. Selecting the best position of the femtocell is the main objective so the capacity can be maximized. In a 100 trial study, the SNR can be optimized up to 34.89 dB. In conclusion, the bat algorithm is able to improve the SNR efficiently and effectively.

Keywords: *bat algorithm, femtopcell, optimization*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektroika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi telah berkembang sangat cepat, terutama pada sistem komunikasi bergerak karena fleksibilitas dan mobilitasnya yang tinggi. Evolusi teknologi tersebut menjadikan naiknya penggunaan data. Sebuah penelitian melaporkan bahwa 50% panggilan suara dan lebih dari 70% trafik data terselenggara di dalam ruangan atau bangunan [1].

Jaringan data membutuhkan kualitas sinyal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jaringan suara akibat semakin meningkatnya kebutuhan penggunaan data. Untuk trafik data yang terselenggara di dalam ruangan, susutan akibat serapan tembok dapat membuat atenuasi sinyal semakin besar. Hal tersebut menjadi kelemahan dari jaringan komunikasi bergerak, terutama jaringan selular [2]. Sebuah teknologi terbaru yakni *femtocell* dibuat untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan langkah memperkecil ukuran sel sehingga diperoleh jarak yang lebih dekat antara base station (BS) dengan pengguna. Oleh karena itu, kapasitas jaringan dapat ditingkatkan [3].

Femtocell memiliki beberapa kelebihan bagi pengguna yakni kekuatan sinyal yang diperoleh dapat lebih tinggi dan dapat menghemat daya baterai karena jaraknya yang dekat dengan BS. Selain itu, operator seluler dapat mengurangi kepadatan trafik dari sel makro (macrocell) dan mampu meningkatkan kapasitas jaringan [4]. Dalam teknologi 3GPP, femto BS dikenal dengan istilah home eNB (HeNB). Dengan menggunakan femto BS, pengguna di dalam ruangan mampu memperoleh koneksi data nirkabel dengan kualitas tinggi. *Femtocell* telah digunakan secara luas pada beberapa standar komunikasi nirkabel yakni LTE dan LTE-A yang menggunakan teknologi OFDMA [5].

Akses mode yang terdapat dalam *femtocell* dibagi menjadi dua yakni akses mode terbuka dan akses mode tertutup. Dalam mode akses terbuka, pengguna yang bukan merupakan pelanggan dapat terkoneksi dengan HeNB. Di sisi lain, dalam mode akses tertutup, pengguna yang bukan merupakan pelanggan tidak dapat terkoneksi dengan HeNB. Mode akses tertutup lebih banyak digunakan karena pelanggan sebenarnya dapat memperoleh akses

yang maksimal [6].

Salah satu tempat yang membutuhkan *femtocell* untuk meningkatkan kualitas jaringan adalah kampus. Tingkat pengguna mobile station (MS) di lingkungan kampus cukup tinggi karena kampus menjadi tempat berkumpulnya mahasiswa untuk menggunakan layanan komunikasi data, seperti browsing, gaming, video call, dan social media. Namun, hal itu tidak diikuti dengan berkembangnya teknologi jaringan telekomunikasi seluler di gedung kampus.

Penelitian [7] mengamati grafik penggunaan data di Universitas Budi Luhur yakni mencapai 55 Mbps dengan trafik rata-rata ± 35 Mbps, sedangkan rata-rata lantasan dari penggunaan data setiap mobile user equipment (MUE) adalah ± 400 Kbps. Grafik penerimaan mahasiswa di kampus Universitas Budi Luhur pun menunjukkan penambahan dari tahun ke tahun dan penggunaan layanan berbasis data juga semakin meningkat setiap tahunnya. Untuk melayani kebutuhan jumlah mahasiswa yang semakin meningkat, tidak cukup hanya tergantung kepada sel makro (eNodeB) yang telah tersedia di luar saja, hal ini dikarenakan keterbatasan jangkauan dan kapasitas dari eNodeB tersebut.

Dari hasil penelitian sebelumnya [8], terlihat bahwa kualitas sinyal pada gedung unit 3, 4, 5, dan 6 dalam kategori buruk, terlihat dari nilai hasil pengukuran E_c/N_0 yang bernilai -29 dBi sampai -17 dBi di Unit 3, -25 dBi sampai -18 dBi di Unit 4, -20 dBi sampai -8 dBi di Unit 5, dan -20 dBi sampai -15 dBi di Unit 6. Hal ini diakibatkan struktur bangunan dari kampus Universitas Budi Luhur yang bertingkat dan terbuat dari dinding beton sehingga sinyal akan teratenuasi, terserap, dan terpantul oleh obyek-obyek (tembok, pepohonan, dan lain-lain) di sekitar lintasan sinyal. Oleh karena itu, penerimaan sinyal di dalam ruangan menjadi buruk.

Penelitian [9] mengoptimasi jumlah *femtocell* yang dibutuhkan serta penempatan *femtocell* di dalam sebuah bangunan dengan mempertimbangkan nilai SINR. Metode yang dilakukan adalah dengan menghitung secara manual batas minimum kapasitas pada pengguna. Dengan penempatan *femtocell* yang optimal, maka akan meningkatkan nilai lantasan pada setiap MUE. Penelitian sejenis yang terkait dengan penggunaan *femtocell* LTE pada jaringan indoor adalah simulasi link budget pada teknologi *femtocell* telekomunikasi LTE [10]. Penelitian ini mengkaji fenomena interferensi antara sel makro dan sel femto, juga interferens antar sel femto. Kualitas sinyal (SINR) pada pengguna (downlink) baik dari sel femto atau sel makro dikaji berdasarkan perhitungan link budget dengan memperhitungkan fenomena interferensi yang mungkin terjadi.

Penelitian perencanaan jaringan indoor untuk teknologi LTE di gedung Fakultas Ilmu Terapan Universitas Telkom pada [11] menganalisis perancangan untuk mengidentifikasi parameter yang menentukan luas pancaran dari suatu *femtocell* LTE di dalam gedung. Perencanaan jaringan LTE Time Division Duplex (TDD) 2300 MHz menghasilkan jumlah eNodeB yang dibutuhkan

untuk melayani area penelitian, tanpa memperhitungkan jenis penghalang dinding dari gedung pada area penelitian.

Berdasarkan hal tersebut, untuk meningkatkan kualitas sinyal daerah cakupan, khususnya daerah cakupan yang berada di dalam ruangan, perlu dilakukan optimisasi jaringan dalam ruangan dengan menambahkan *femtocell*. Penggunaan algoritme optimasi yang tepat akan dapat meningkatkan nilai lantasan serta memenuhi nilai QoS yang lebih baik untuk setiap user. Penelitian untuk optimasi penempatan WLAN Base Station telah diteliti pada [12] dengan membandingkan dua algoritme optimasi yaitu PSO dan ACO untuk menentukan lokasi BS. Optimisasi penempatan *femtocell* pada penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan algoritme metaheuristik yaitu bat algorithm (BA). Algoritme metaheuristik adalah suatu teknik pendekatan yang dirancang untuk memecahkan masalah secara umum dengan mengutamakan waktu komputasi tetapi tidak dijamin kebaikan solusinya, akan tetapi biasanya dapat menghasilkan solusi yang optimal atau mendekati optimal dengan jumlah iterasi tertentu. Solusi yang optimal adalah solusi terbaik dari sekumpulan alternatif solusi tanpa harus secara eksplisit menghitung dan mengevaluasi semua alternatif yang mungkin [13].

BA merupakan algoritme metaheuristik yang terinspirasi oleh proses ekolokasi yang dilakukan oleh kelelawar dalam mencari mangsa. Setiap kelelawar memancarkan gelombang sonar dengan sangat keras sehingga gelombang tersebut mengenai mangsa atau halangan di sekitarnya, kemudian dipantulkan kembali menuju kelelawar tersebut. Kunci utama dari algoritme ini adalah dalam mengendalikan kekuatan suara dan pesat emisi suara ketika kelelawar mencari mangsanya.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan proses optimasi peletakan *femtocell* agar dapat mencapai nilai SNR yang optimal dengan menggunakan BA. Peletakan *femtocell* pada penelitian ini mengambil lokasi ruang dosen Fakultas Teknik Universitas Budi Luhur.

II. STUDI PUSTAKA

Inti dari proses optimasi adalah mampu mencapai suatu tujuan tertentu hingga mencapai nilai optimal dengan batasan-batasan tertentu. Salah satu metode optimasi yang umum digunakan adalah algoritme metaheuristik. Perkembangan algoritme heuristik dan metaheuristik sangatlah pesat. Hal ini dikarenakan unjuk kerjanya yang telah teruji mampu menyelesaikan permasalahan di bidang optimisasi. Banyak algoritme heuristik dan metaheuristik yang sedang berkembang terinspirasi dari perilaku sistem biologis atau sistem fisik dari alam. Misal, algoritme PSO dibuat berdasarkan perilaku burung dan ikan, sedangkan algoritme simulated annealing dibuat berdasarkan proses annealing dari logam [14].

Bat Algorithm (BA) merupakan salah satu metode optimasi berbasis perilaku makhluk hidup yang ditemukan oleh Xin-She Yang [14], [15], [16], [17]. Ide dasar dari bat algorithm adalah proses ekolokasi yang dilakukan oleh kelelawar, terutama kelelawar berukuran kecil.

Setiap kelelawar memancarkan pulsa suara yang sangat keras. Ketika pulsa suara tersebut mengenai sebuah objek, maka pulsa suara terpantulkan dan terdengar kembali atau terdeteksi oleh kelelawar sehingga terdapat rentang waktu antara pulsa suara mulai dipancarkan hingga terdeteksi oleh kelelawar. Dari rentang waktu tersebut, kelelawar dapat mendeteksi jarak dan orientasi dari yang berada di sekitarnya. Kelelawar kecil menggunakan gelombang sonar untuk mendeteksi musuh/mangsa/target, menghindari rintangan dan halangan yang ada di sekitarnya, dan mencari arah pulang kembali ke tempat tinggalnya.

Setiap kandidat solusi pada BA dinamakan kelelawar (bat). Setiap kelelawar terbang secara acak pada kecepatan v_i dan posisi x_i . Gelombang suara yang dipancarkan memiliki frekuensi minimal f_{min} dengan panjang gelombang λ dan tingkat keras suara A_0 serta kecepatan emisi pulsa $r \in [0,1]$. Dalam kenyataannya, tingkat keras suara akan bervariasi, yakni paling keras saat proses pencarian target dan akan mengecil saat telah mendekati target.

Dari karakteristik tersebut, maka persamaan matematis dari BA dapat diformulasikan. Pembaruan posisi x_i^t dan kecepatan v_i^t dari kelelawar ke- i pada waktu t adalah sebagai berikut.

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min}) \cdot \beta \tag{1}$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_{gbest}) \cdot f_i \tag{2}$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \tag{3}$$

dengan f_i merupakan frekuensi pada kelelawar ke- i , f_{min} dan f_{max} adalah frekuensi minimal dan maksimal, β adalah nilai acak dengan distribusi normal, v_i^t merupakan kecepatan kelelawar ke- i pada waktu t sedangkan x_{gbest} adalah posisi kelelawar ke- i pada waktu t dan x_i^t adalah solusi global optimal paling baru yang pernah dicapai oleh keseluruhan kelelawar

Setelah nilai x_{gbest} terpilih, maka posisi baru dari setiap kelelawar, yang menandakan solusi baru, dibangkitkan dengan pencarian lokal menggunakan *random walk* menggunakan persamaan berikut.

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A^t \tag{4}$$

dengan $\epsilon \in [-1,1]$ merupakan nilai acak dan A^t adalah rata-rata tingkat keras suara dari seluruh kelelawar pada step waktu ke- t . Semakin dekat posisi kelelawar dengan target, maka pada umumnya tingkat keras suara akan semakin berkurang. Dengan kata lain, nilai A_0 bervariasi dari nilai yang besar hingga berkurang menjadi A_{min} saat telah mencapai target. Namun, pesat emisi pulsa (r) akan meningkat. Oleh karena itu, parameter tingkat keras suara dan pesat emisi pulsa perlu diperbaharui pada saat setiap solusi baru didapatkan, dengan persamaan

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \tag{5}$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - e^{-\gamma t}] \tag{6}$$

Notasi α dan γ merupakan nilai yang konstan yakni

$\alpha = \gamma = 0,9$ [15]. Pada kenyataannya, notasi α adalah hampir sama dengan faktor pendinginan pada algoritme *simulated annealing*. Untuk segala nilai $0 < \alpha < 1$ dan $\gamma > 0$, nilai A dan r akan konvergen menuju suatu nilai yakni

$$A_i^t \rightarrow 0 \tag{7}$$

$$r_i^t \rightarrow r_i^0; \quad t \rightarrow \infty \tag{8}$$

Mengubah nilai $r_i = 1$ dan $A_i = 0$ akan membuat persamaan BA menjadi algoritme PSO [17]. Pemilihan nilai-nilai dari setiap parameter membutuhkan keahlian dan pengalaman.

Untuk nilai inisialisasi, setiap kelelawar harus memiliki nilai tingkat keras suara dan pesat emisi pulsa yang berbeda. Hal ini dapat dicapai dengan proses pemilihan nilai secara acak. Misal, nilai awal dari A_0 dapat bernilai [1,2], dengan r_0 bernilai [0,1]. Tingkat keras suara dan pesat emisi diperbaharui hanya jika solusi baru telah ditemukan, dengan kata lain seluruh kelelawar-kelelawar bergerak ke arah solusi optimal.

Melalui proses benchmarking, Xin-She Yang melakukan perbandingan antara BA dengan algoritme GA dan PSO. Hasil perbandingan menunjukkan BA memiliki akurasi dan efisiensi yang lebih baik daripada algoritme GA dan PSO dalam menyelesaikan permasalahan global optimisasi.

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, penempatan *femtocell* dioptimasi menggunakan BA agar tercapai nilai SNR yang maksimal. Berikut adalah langkah-langkah optimasi menggunakan BA.

Algoritme 1. Algoritme Bat	
1 :	Untuk setiap kelelawar $i \in \{1,2,\dots,n\}$ lakukan
2 :	Jika $t=0$, maka:
3 :	Inisialisasi posisi kelelawar ke- i (X_i^0) secara acak yang memenuhi syarat batasan solusi
4 :	Inisialisasi frekuensi pulsa f_i^0 pada kelelawar ke- i secara acak
5 :	lainnya
6 :	Ganti nilai posisi awal X_i^0 dengan nilai posisi kelelawar ke- i pada waktu $(t-1)$ dan hitung nilai objektifnya $f(x_i^k)$
7 :	Ganti nilai f_i^0 dengan nilai posisi kelelawar ke- i pada $(t-1)$ -th time step
8 :	Selesai
9 :	Hitung kecepatan v_i^0 dengan persamaan (2)
10 :	Inisialisasi nilai r_i^0 dan A_i^0 secara acak
11 :	Selesai
12 :	Hitung nilai objektif dan perbaharui nilai x_{gbest}
13 :	Saat ($k <$ nilai iterasi maksimal) lakukan
14 :	Untuk setiap kelelawar $i \in \{1,2,\dots,n\}$ lakukan

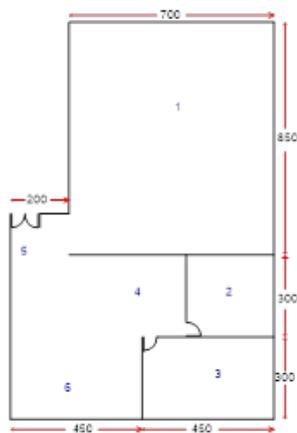
Tabel 1. Parameter bat algorithm

Parameter	Nilai
Jumlah kelelawar	30
f_min, f_max	0, 1
α	0.9
γ	0.9
Kriteria terminasi	Iterasi = 150

15 :	Bangkitkan nilai $f(x_i^k)$ dengan persamaan (1)
16 :	Perbaharui nilai v_i^k dengan persamaan (2)
17 :	Jika ($\text{rand} < r_i^k$) maka
18 :	Pilih satu solusi terbaik dari seluruh solusi yang ada
19 :	Lakukan pencarian lokal dengan persamaan
20 :	Selesai
21 :	Bangkitkan solusi pada kelelawar ke- i secara acak
22 :	Jika ($\text{rand} < A_i^k$ dan solusi terbaru memiliki nilai lebih baik daripada x_{gbest}) maka
23 :	Simpan solusi yang baru
24 :	Perkecil nilai A_i^k menggunakan persamaan (5) and perbesar nilai r_i^k menggunakan persamaan (6)
25 :	Selesai
26 :	Selesai
27 :	Jika solusi baru memiliki nilai objektif yang lebih baik, maka perbaharui solusi
28 :	Dari keseluruhan solusi yang telah ditemukan, carilah solusi terbaik x_{gbest} dan simpan $f(x_{gbest})$
29 :	Selesai

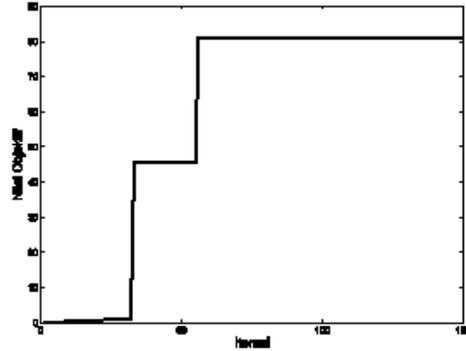
Penjabaran selengkapnya adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi jumlah kelelawar



- 1. Ruang Dosen
- 2. Ruang Dekan
- 3. Ruang Ka. Prodi
- 4. Ruang Sekretariat
- 5. Ruang Tamu
- 6. Pantry

Gambar 1. Denah ruang dosen Fakultas Teknik UBL

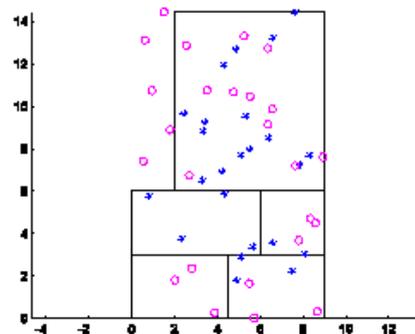


Gambar 2. Grafik nilai objektif dengan jumlah iterasi dalam satu percobaan

Asumsikan ukuran kawan kelelawar adalah n . Sekawan kelelawar tersebut merupakan analogi dari solusi-solusi femtocell yang akan dipilih yang paling optimal posisinya. Untuk mengurangi jumlah evaluasi fungsi yang diperlukan untuk menentukan solusi, sebaiknya ukuran n tidak terlalu besar, tetapi juga tidak terlalu kecil, agar ada banyak kemungkinan posisi menuju solusi terbaik atau optimal. Biasanya digunakan ukuran kawan adalah 20 sampai 30 kelelawar.

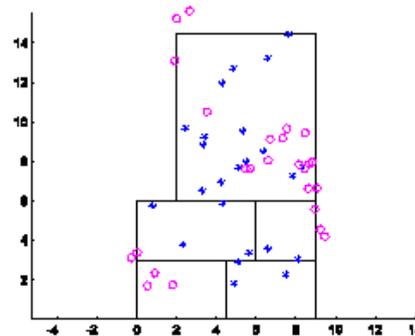
2. Posisi kelelawar

Bangkitkan posisi awal x dari setiap kelelawar secara random sehingga didapat X_1, X_2, \dots, X_n . Solusi yang diperlukan dalam permasalahan adalah berupa posisi femtocell dalam koordinat kartesius x dan y , sehingga terdapat dua variabel yang perlu dioptimasi yakni nilai x

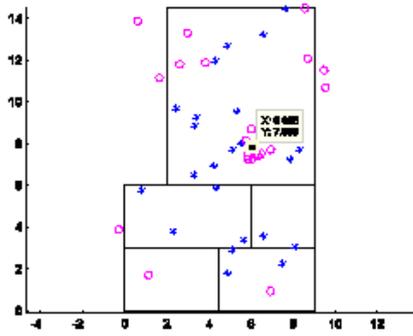


o = femto BS, * = femto UE

Gambar 3. Perpindahan kelelawar saat t = 0



Gambar 4. Perpindahan kelelawar saat t = 50



Gambar 5. Perpindahan kekelawar saat t = 100

dan y dari setiap kekelawar. Posisi kekelawar i dinotasikan sebagai X_i^t , dengan

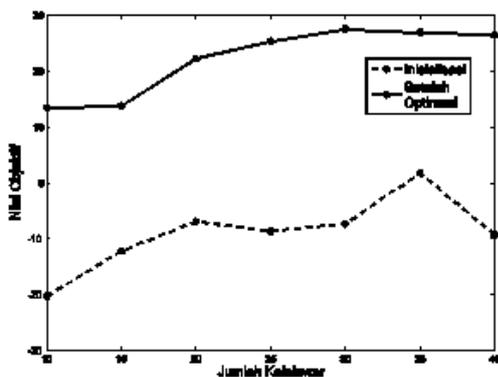
$$X_i^t = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$X_i^t = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} & y_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} & y_2^{(0)} \\ \vdots & \vdots \\ x_n^{(0)} & y_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

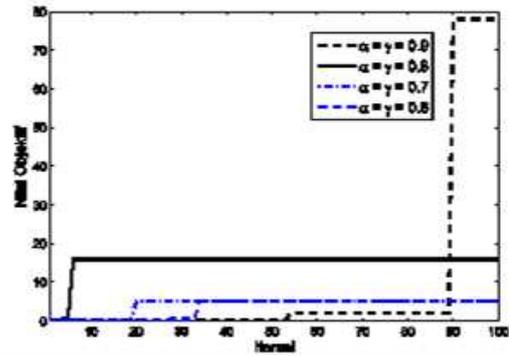
3. Kecepatan kekelawar

Kecepatan pergerakan dari setiap kekelawar dinotasikan sebagai V_i^t .

$$V_i^t = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$



Gambar 6. Grafik variasi jumlah kekelawar dengan rata-rata SNR



Gambar 7. Hasil pengujian variasi nilai α dan γ

$$V_i^t = \begin{bmatrix} v_{x_1}^{(0)} & v_{y_1}^{(0)} \\ v_{x_2}^{(0)} & v_{y_2}^{(0)} \\ \vdots & \vdots \\ v_{x_n}^{(0)} & v_{y_n}^{(0)} \end{bmatrix}$$

4. Memperbaharui posisi kekelawar (solusi)

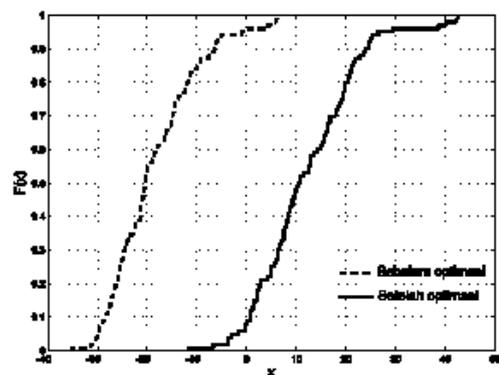
Seluruh kekelawar bergerak menuju titik optimal dari suatu posisi awal dengan suatu kecepatan tertentu. Untuk mengevaluasi posisi dan pergerakan dari seekor kekelawar, dilakukan evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap kekelawar dengan fungsi evaluasi SNR yakni

$$SNR_u^k = \frac{P_u^k}{PL_u^k \cdot N_0} \tag{9}$$

$$PL_{ruang\ sama} = 127 + 30 \log_{10}(d_m [km]) + X_{\sigma_F} \tag{10}$$

$$PL_{ruang\ beda} = 127 + 30 \log_{10}(d_m [km]) + L_w + X_{\sigma_F} \tag{11}$$

dengan nilai SNR_u^k merupakan SNR dari MUE u yang terhubung dengan femtocell k sejauh d_m , P_u^k adalah daya yang dikirim dari femtocell k untuk MUE u , PL_u^k merupakan path-loss dari femtocell k ke MUE u , $PL_{ruang\ sama}$ adalah path-loss jika femtocell dan MUE berada pada ruang yang sama sedangkan $PL_{ruang\ beda}$ merupakan path-loss jika femtocell dan MUE berada pada ruang yang berbeda. Jika femtocell dan MUE berada dalam ruang yang berbeda,



Gambar 8. Grafik cumulative distributive function pada sebelum dan sesudah optimasi

maka terdapat susutan terhadap dinding sebesar 20 dB yang dinotasikan dengan α . Terdapat pula faktor *shadowing* bernilai 8 dB yang dinotasikan dengan X_{of} .

Pada proses ini posisi keelawar dievaluasi dengan tujuan untuk mengetahui apakah posisi yang baru dapat menghasilkan nilai objektif yang lebih baik atau tidak. Melalui fungsi objektif yang ditetapkan maka akan diperoleh posisi yang baru.

Setelah dilakukan evaluasi pada posisi keelawar yang baru, maka nilai objektif antara masing-masing keelawar yang baru dan lalu dibandingkan satu sama lain. Apabila nilai objektif dari posisi yang baru lebih tinggi (optimum) dibandingkan dengan nilai objektif dari posisi yang sebelumnya, maka posisi keelawar yang ditetapkan adalah posisi yang baru. Namun apabila nilai objektif terakhir merupakan nilai yang lebih rendah (tidak optimum) dibandingkan dengan nilai objektif pada posisi yang lama, maka posisi yang ditetapkan adalah yang lama.

Jika posisi semua keelawar menuju ke satu nilai yang sama, maka hal ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka proses optimasi akan diulang dengan memperbaharui iterasi $t = t + 1$. Proses iterasi ini dilanjutkan sampai semua keelawar menuju ke satu titik solusi yang sama. Kriteria penghentian (*stopping criteria*) dapat berupa jumlah selisih solusi sekarang dengan sebelumnya sudah sangat kecil, atau jumlah iterasi. Dalam penelitian ini, *stopping criteria* adalah jumlah iterasi.

IV. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian ini area/lokasi penelitian yang dipilih adalah ruang Fakultas Teknik yang berada di gedung unit 5 lantai 3 kampus Universitas Budi Luhur. Denah ruang Fakultas Teknik ditunjukkan pada Gambar 1.

A. Inisialisasi Populasi Awal

Masalah yang akan dipecahkan pada penelitian ini adalah menentukan letak terbaik dari suatu *femtocell*. Masalah dipresentasikan dengan menentukan sejumlah *femtocell* (keelawar) dengan sejumlah MUE pada area penelitian. Pada posisi inisialisasi, masing-masing keelawar dan MUE ditentukan acak. Untuk setiap keelawar mempunyai kecepatan awal, dimana pada penelitian ini kecepatan awal dari masing-masing keelawar bernilai 0.

B. Hasil Pengujian Nilai Objektif dalam Satu Percobaan

Jumlah iterasi yang digunakan pada percobaan adalah 100 iterasi dengan nilai parameter seperti pada Tabel 1. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat dalam satu percobaan, nilai objektif yang merupakan nilai SNR (dalam dB) meningkat hingga mencapai konvergen seiring dengan bertambahnya nilai iterasi.

Pada iterasi yang ke-65, nilai objektif stabil dan mencapai nilai konvergen. Konvergen yang dimaksud dalam hal ini adalah seluruh individu keelawar telah

mengarah dan semakin mengumpul. Gambar 3 – Gambar 5 memperlihatkan proses Bergeraknya sekawan keelawar (pada $t=0$, $t=50$, dan $t=100$) menuju suatu target. Dalam permasalahan di penelitian ini, target yang ingin dicapai adalah posisi *femtocell* yang terbaik, sehingga setiap MUE mendapatkan nilai SNR yang paling tinggi. Sekawan keelawar tersebut merupakan analogi dari solusi-solusi *femtocell* yang akan dipilih karena posisinya yang paling optimal dan memiliki nilai SNR yang paling tinggi. Dari Gambar 3 – Gambar 5, terlihat bahwa sekawan keelawar tersebut bergerak menuju suatu titik yang merupakan letak *femtocell* optimal yakni pada koordinat $x = 6,053$ dan $y = 7,839$.

C. Hasil Pengujian Variasi Jumlah Keelawar

Tujuan pengujian variasi jumlah keelawar terhadap nilai objektif yang dihasilkan adalah untuk mengetahui jumlah keelawar yang paling optimal. Pada pengujian ini digunakan variasi jumlah keelawar sebanyak 10, 15, 20, 25, 30 dan 35, dan 40 yang dilakukan masing-masing sebanyak 100 kali percobaan. Grafik pengujian variasi jumlah keelawar dengan nilai objektif ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa kenaikan nilai SNR pada jumlah keelawar:

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| a) 10 keelawar = 33.73 dB | e) 30 keelawar = 34.89 dB |
| b) 15 keelawar = 26.01 dB | f) 35 keelawar = 25.19 dB |
| c) 20 keelawar = 29.13 dB | g) 40 keelawar = 35.77 dB |
| d) 25 keelawar = 34.07 dB | |

Kenaikan nilai SNR paling tinggi adalah pada saat jumlah populasi 40 keelawar. Pada dasarnya, semakin banyak keelawar yang terlibat dalam proses pencarian akan semakin membuka peluang untuk ditemukannya solusi-solusi yang optimal, akan tetapi komputasi akan menjadi semakin lama. Di sisi lain, semakin sedikit keelawar justru akan mempersempit pencarian karena ‘agen’ yang tersebar untuk mencari solusi optimal akan semakin sedikit. Oleh karena itu, berdasarkan hasil simulasi, maka jumlah keelawar yang optimal digunakan adalah 30 keelawar.

D. Hasil Pengujian Variasi Nilai dan

Dalam BA, nilai α dan γ berperan penting dalam menentukan kecepatan konvergensi. Variasi nilai α dan γ yang dilakukan adalah sebagai berikut $\alpha=\gamma=0,9$, $\alpha=\gamma=0,8$, $\alpha=\gamma=0,7$, $\alpha=\gamma=0,6$. Berdasarkan hasil simulasi, seperti yang terlihat pada Gambar 7, nilai objektif maksimal diperoleh pada saat $\alpha=\gamma=0,9$. Pada saat $(\alpha=\gamma)<0,8$, konvergensi yang dicapai terlalu prematur sehingga tidak tercapai proses eksplorasi yang maksimal. Oleh karena itu, nilai α dan γ yang optimal digunakan adalah $\alpha=\gamma=0,9$.

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian dari 100 percobaan yang kemudian ditampilkan dalam bentuk *cumulative distribution function* (CDF). Terlihat bahwa terdapat peningkatan yang signifikan (kurva CDF setelah optimasi berada di sebelah kanan kurva CDF sebelum

optimasi) yakni dengan nilai rata-rata peningkatan sebesar 34,89 dB dari sebelum optimasi hingga setelah optimasi dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan optimasi penempatan *femtocell*, maka akan diperoleh nilai SNR yang maksimal.

V. KESIMPULAN

Dalam 100 kali percobaan, nilai SNR rerata menunjukkan peningkatan sebesar 34,89 dB. Hal ini menunjukkan bahwa bat algorithm mampu meningkatkan nilai SNR dengan melakukan optimasi terhadap penempatan *femtocell*. Pada satu topologi, peletakan *femtocell* paling optimal adalah pada $x=6,053$ dan $y=7,839$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

REFERENSI

- [1] V. Giannini, J. Craninckx, and A. Baschiroto, "Baseband Analog Circuits for Software Defined Radio". USA: Springer, 2008.
- [2] "Presentations by ABI Research, Picochip, Arivana, IP access, Telefonica Espana," 2nd International Conference Home Access Points and *Femtocells*. [Online]. Available: <http://www.avrenevents.com/dallas-femto2007/purchase-presentations.html>.
- [3] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, "*Femtocell* networks: a survey," IEEE Commun. Mag., vol. 46, no.9, pp. 59–67.
- [4] 3GPP TS 36.300, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (EUTRAN)," 2009.
- [5] J. Zhang and G. de la Roche, "*Femtocells: Technologies and Deployment*," John Wiley Sons Ltd, 2010.
- [6] I. W. Mustika, K. Yamamoto, H. Murata, and S. Yoshida, "Potential game approach for self-organized interference management in closed access *femtocell* networks," 2011.
- [7] S. Zunaierlan, "Perencanaan Jaringan 4G Long Term Evolution Pada Area Universitas Budi Luhur," 2015.
- [8] Rummi Sirait, "Kajian Kualitas Sinyal Dan Optimasi Jaringan 3G Dalam Memenuhi Kebutuhan Komunikasi Di Lingkungan Universitas Budi Luhur", Seminar Nasional Inovasi dan Teknologi Informasi 2014.
- [9] M. Tahalani and R. V. Sathya, "Optimal Femto Placement in Enterprise *Femtocell* Networks," IEEE Int. Conf. Adv. Networks Telecommunications Syst., 2014.
- [10] B. Utomo, I. Santoso, and A. A. Z, "Simulasi link budget pada sel Femto teknologi telekomunikasi LTE," J. Transm., vol. 15, no. 1, 2013.
- [11] Tiphon, "Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) General Aspects of Quality of Service (QoS)," vol. DTR/TIPHON, 1998.
- [12] I. Vilovic, N. Burum, Z. Sipus, and R. Nad, "PSO and ACO Algorithm Applied to Location Optimization of The WLAN Base Station," 19th Int. Conf. Appl. Electromagn. Commun., 2007.
- [13] Budi Santosa dan The Jin Ai, "Pengantar Metaheuristik: Implementasi dengan Matlab", ITS Tekno Sains, Surabaya, 2017.
- [14] X.-S. Yang, "A new metaheuristic bat-inspired algorithm," in Nature inspired cooperative strategies for optimization (NISCO 2010), Springer, 2010, pp. 65–74.
- [15] X.-S. Yang and X. He, "Bat Algorithm: Literature review and applications," Int. J. Bio-Inspired Comput., vol. 5, pp. 141–149, 2013.
- [16] X.-S. Yang and A. H. Gandomi, "Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization," in Engineering Computations, 2012, pp. 29(5):464–483.
- [17] H. Marshoud, H. Otrouk, H. Barada, R. Estrada, A. Jarray, and Z. Dziong, "Resource allocation in macrocell-*femtocell* network using genetic algorithm," 2012 IEEE 8th Int. Conf. Wirel. Mob. Comput. Netw. Commun., pp. 474–479, Oct. 2012.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

