

## ANALISIS PENGGUNAAN ALGORITMA GENETIKA UNTUK PENGALOKASIAN DAYA PADA SISTEM FEMTOCELL BERBASIS MIMO-OFDM DENGAN BEAMFORMING

### ANALYSIS OF THE USE OF GENETIC ALGORITHM FOR POWER ALLOCATION IN FEMTOCELL SYSTEM BASED MIMO-OFDM WITH BEAMFORMING

Yoga Prahara Novandanu<sup>1</sup>, Arfianto Fahmi<sup>2</sup>, Nur Andini<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup> [yogavand@gmail.com](mailto:yogavand@gmail.com), <sup>2</sup> [arfiantof@telkomuniversity.ac.id](mailto:arfiantof@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup> [nurandini@telkomuniversity.ac.id](mailto:nurandini@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Salah satu masalah yang muncul akibat adanya jaringan femtocell di dalam jaringan macrocell adalah performansi macro user yang berada dekat femto base station. Menurunnya performansi diakibatkan adanya *co-channel interference* karena *macro base station* dan *femto base station* menggunakan spektrum frekuensi yang sama. Metode alokasi daya menggunakan algoritma genetika digunakan untuk meningkatkan nilai SINR macro user. Untuk mengurangi *co-channel interferensi* digunakan metode *Zero-Forcing (ZF) Beamforming*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa menggunakan metode alokasi daya berdasar algoritma gentika dengan ZF *beamforming* menghasilkan nilai SINR yang baik dibandingkan tidak menggunakan kedua-duanya. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa dengan menggunakan gabungan dua metode tersebut dapat meningkatkan nilai SINR *Macro User* hingga 39,763 dB lebih baik dibanding tidak menggunakan metode keduanya. SINR meningkat hingga 20,899 dB lebih baik dibanding hanya penerapan algoritma genetika. SINR juga meningkat hingga 17,097 dB lebih baik dibanding hanya implementasi ZF-*beamforming*.

**Kata kunci:** MIMO, SINR, Alokasi Daya, ZF-*beamforming*, Femtocell, Algoritma Genetika

#### Abstract

One of the problems that arise due to the femtocell network in the macrocell network is macro user performance that is near to the femto base station. Since the macro and the femto base station share the same spectrum, there is a co-channel interference problem. Power allocation method using a genetic algorithm is used to increase the value of SINR of the macro user. To reduce co-channel interference is used method fero-forcing beamforming. Simulation results show that using the power allocation method based genetic algorithm with zero forcing beamforming produce better SINR compared to not use both. From the simulation results showed by using combined these two methods can increase SINR macro user up to 39.763 dB better than not using them. SINR Macro User increase up to 20.899 dB better than just the Genetic Algorithm implementation. SINR Macro User also increase up to 17.097 dB better than just ZF-*beamforming* implementation.

**Keywords:** : MIMO, SINR, Power Allocation, ZF-*beamforming*, Femtocell, Genetic Algorithm

#### 1. Pendahuluan

Munculnya *co-channel interference* telah menjadi permasalahan yang cukup serius. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) adalah sebuah tehnik *multiple access* yang menjanjikan untuk mengurangi permasalahan tersebut. Namun, dalam sistem OFDM, tiap *user* memungkinkan mendapatkan kondisi *fading* yang berbeda. Untuk mengatasi masalah tersebut digunakan metode *resource allocation* dengan memberikan alokasi *subcarrier* untuk mendapatkan *channel gain* yang baik[1]. Berdasarkan penelitian di [2][3] *power control* digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi berdasarkan QoS dari femto/macro user. *Power control* pada [4] digunakan untuk mengurangi *cross-tier interference* menggunakan *single antenna*. Pada penelitian [1] dilakukan pengujian penggunaan pengalokasian daya dan *beamforming* untuk multiuser MIMO-OFDM jaringan *femtocell*. *Femto User Equipment* (FUE) akan mendapat interferensi dari *macro base station* (MBS), namun tidak akan berdampak besar karena FUE lebih dekat dengan FBS. Dengan mempertimbangkan sebuah *macro user* (MUE) berada dekat dengan FBS. MUE akan mendapatkan interferensi yang cukup besar dari FBS. Sehingga *Quality of Service* (QoS) dari MUE harus dipertimbangkan. Metode yang digunakan memiliki tujuan mengurangi *co-channel interference* dengan *Zero-Forcing* (ZF) *beamforming* dan mengatur *power allocation* menggunakan

Genetic Algorithm (GA) sebagai cara untuk memaksimalkan SINR pada sistem tersebut. Pada jurnal ini akan dilakukan evaluasi terhadap penelitian sebelumnya dan melihat perbedaan apabila tidak menggunakan metode yang diajukan oleh penelitian sebelumnya pada [1].

**2. Dasar Teori**

**A. Zero-Forcing**

Prinsip penggunaan *zero-forcing* adalah menganggap *substream* merupakan sinyal yang diinginkan, sedangkan sinyal lainnya dianggap peng-*interferers* *Interferers* dihilangkan dengan cara melakukan pembobotan secara linier terhadap sinyal yang diterima. Hal ini disebut *Nulling of interferers*. Untuk *zero-forcing*, *nulling of interferers* dapat dilakukan dengan memilih bobot vektor  $d_i, i=1, 2, \dots, M_T$ , sebagai berikut [5]:

$$d_i^T h_j = \begin{cases} 0, & j \neq i \\ 1, & j = i \end{cases} \tag{1}$$

Dimana T adalah operasi *transpose* dan j menyatakan kolom ke-j dari matriks kanal H. Dari persamaan (1) *nulling of interferers* melakukan proses pe-nol-an jika indeks bobot tidak sama dengan indeks antenna sinyal kirim.

Berdasarkan hal tersebut, maka proses yang dilakukan adalah mencari vektor bobot yang memiliki indeks yang sama dengan indeks antenna kirim, dilakukan mencari matriks W, seperti berikut [5]:

$$\begin{aligned} W \cdot H &= I \\ W &= H^{-1} \end{aligned} \tag{2}$$

Dimana W merepresentasikan *linier processing* di penerima. Baris ke-i dari W adalah sama dengan transpose pada vektor bobot ke-i dari  $d_i$ , dan I adalah matriks identitas. Jika H bukan matriks kuadrat, maka W adalah *pseudo-inverse* H.[5]

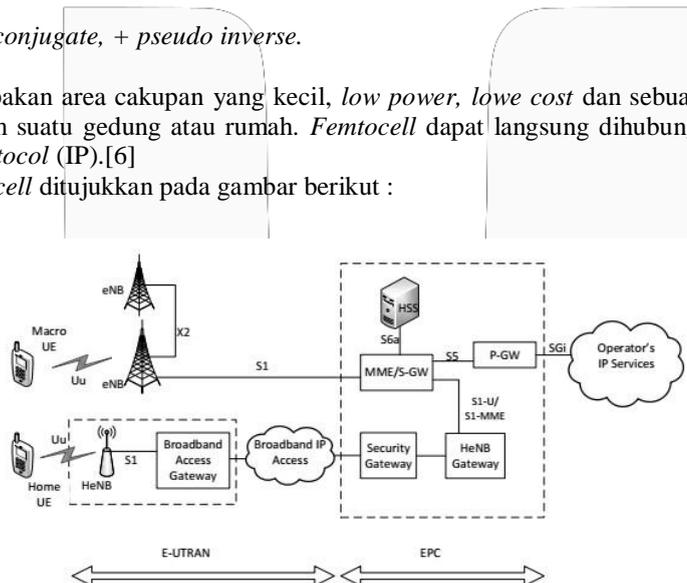
$$\begin{aligned} W &= H^+ \\ W &= (H^{-1}H^{-1})H^* \end{aligned} \tag{3}$$

Dimana \* *transpose conjugate*, + *pseudo inverse*.

**B. Femtocell**

*Femtocell* merupakan area cakupan yang kecil, *low power*, *low cost* dan sebuah *base station* yang dapat ditempatkan di dalam suatu gedung atau rumah. *Femtocell* dapat langsung dihubungkan ke jaringan *backhaul* melalui *Internet Protocol* (IP).[6]

Arsitektur *femtocell* ditunjukkan pada gambar berikut :



**Gambar 1.** 3GPP Arsitektur *Femtocell* [6]

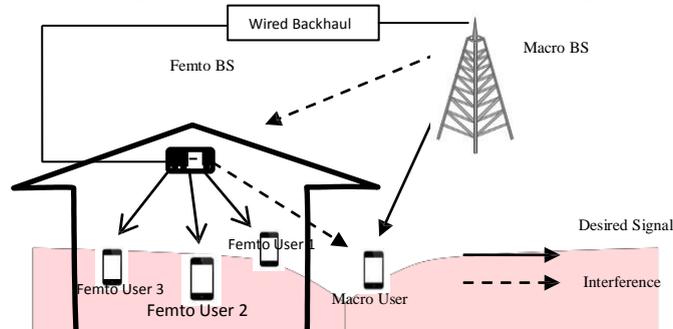
**C. Algoritma Genetika**

Algoritma genetika merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan suatu masalah optimasi yang kompleks yang biasanya sulit diatasi dengan metode yang sederhana[1]. Algoritma genetika menghasilkan solusi kandidat untuk menjadi masalah optimasi, yang terinspirasi dari seleksi alam dan evolusi genetika. Kromosom pada algoritma genetika adalah kemungkinan solusi dari tujuan objeknya. Kromosom dapat didesain dengan bilangan biner, real, ataupun integer. Pada jurnal ini, kromosom didesain untuk mengatasi masalah *power allocation* pada FUE dan MUE.

Pada umumnya, algoritma genetika terdiri dari empat langkah pengerjaan yaitu, *selection*, *crossover*, *mutation*, and *fitness evaluation*[1].

### 3. Model Sistem

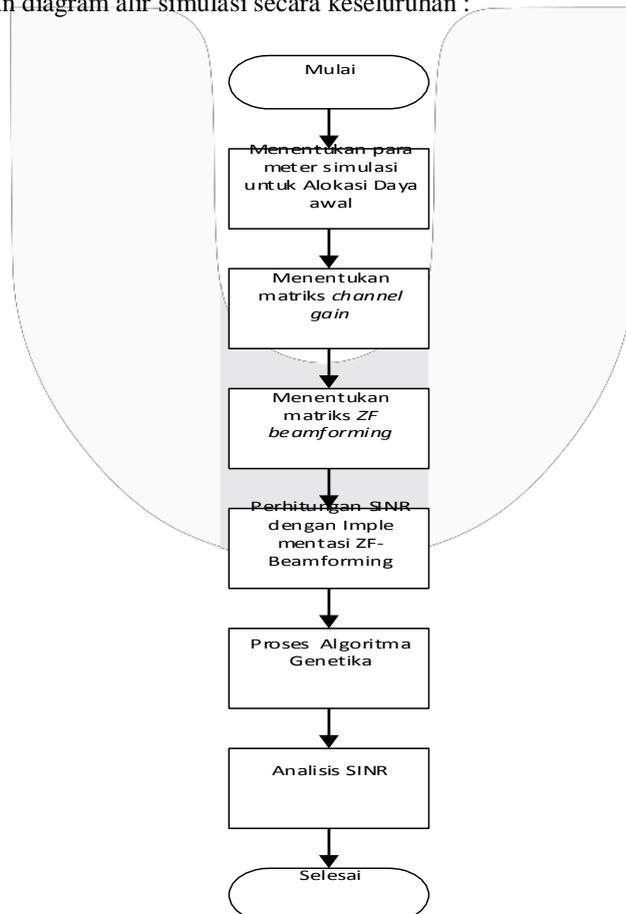
Pemodelan sistem yang digunakan dalam simulasi merupakan jaringan femtocell dimana *femto users* (FUEs) dan *macro users* (MUE) tersebar seperti pada gambar . Saat FUE lebih dekat dengan FBS dibanding dengan MBS, interferensi oleh MBS ke FUE tidak akan mendapat dampak yang besar. Sebaliknya jika MUE dekat dengan cakupan area FBS, maka akan mengalami *co-channel interference* dari FBS. Oleh karena itu, pada penelitian ini, pemodelan sistem yang dilakukan adalah ketika MUE dekat dengan FBS.



Gambar 2. Model Sistem [1]

Pada Gambar 2 tersebar tiga *femto user* dan satu *macro user*. Dengan pemodelan sistem tersebut dilakukan simulasi dengan empat skenario. Skenario I adalah melihat SINR user ketika tidak menggunakan metode alokasi daya dengan algoritma genetika dan tanpa implementasi *ZF-beamforming*. Skenario II adalah melihat SINR user ketika menggunakan algoritma genetika untuk pengalokasian daya saja. Skenario III adalah melihat SINR user ketika menggunakan metode *ZF-beamforming* saja. Skenario IV adalah melihat SINR user ketika menggunakan kedua metode tersebut.

Berikut ini merupakan diagram alir simulasi secara keseluruhan :

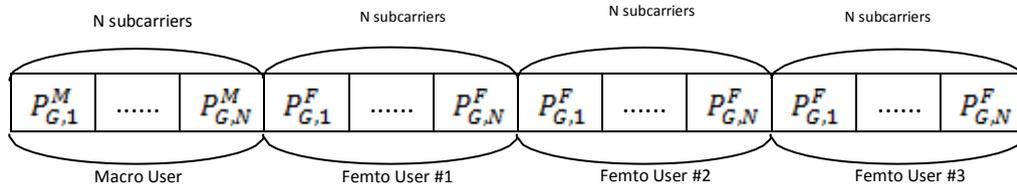


Gambar 3. Diagram Alir Simulasi

Pada Gambar 3 dilakukan inialisasi alokasi daya awal sesuai dengan parameter simulasi yang ditentukan. Kemudian dilakukan pencarian nilai matriks *channel gain*. Setelah itu didapatkan nilai matriks ZF-*beamforming*. Kemudian setelah penerapan ZF-*beamforming* untuk mencari nilai SINR user, dilakukan optimasi menggunakan Algoritma Genetika. Setelah itu dilakukan analisis SINR.

**A. Pengalokasian Daya Awal**

Proses pengalokasian daya awal dilakukan sesuai parameter simulasi yang diberikan seperti pada gambar berikut :

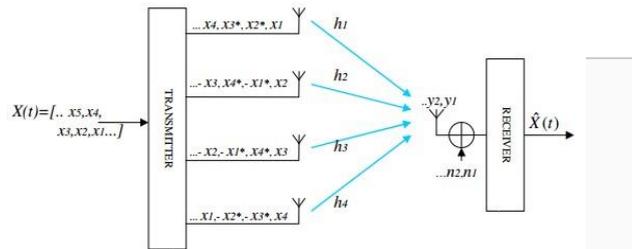


**Gambar 4.** Representasi Alokasi Daya Untuk Satu Macro User dan Tiga Femto User [1]

Proses pengalokasian daya ini dilakukan secara random dengan berbagai kemungkinan. Pengalokasian daya awal ini merupakan data awal yang akan diolah sesuai dengan skenario yang digunakan.

**B. Menentukan Matriks Channel Gain**

Setelah mendapatkan alokasi daya awal, kemudian dilakukan pencarian nilai *channel gain*. *Channel Gain* didapat dengan menggunakan kanal model jakes pada sistem antenna MISO 4x1 Alamouti STBC. Berikut adalah skema antenna MISO 4x1 Alamouti STBC [7] :



**Gambar 5.** Skema Antenna Alamouti Mode Pada MISO 4x1 [11]

Dari skema Gambar 5 didapat [7]:

$$Y = H \times X + N \tag{4}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ -h_2^* & h_1^* & -h_4^* & h_3^* \\ -h_3^* & -h_4^* & h_1^* & h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Dimana matriks *H* merupakan matriks *channel gain*. Setelah didapat bentuk matriks *channel gain*, dilakukan pemodelan kanal untuk mendapatkan nilai matriks *channel gain* tersebut. Pemodelan kanal yang dilakukan adalah pemodelan kanal Rayleigh. Pembangkitan kanal Rayleigh dilakukan dengan model jakes. Berikut adalah persamaan pemodelan tersebut [8] :

$$a_c = \frac{1}{N_0} (\sum_{n=1}^{N_0} \cos \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \cos \alpha \cos \omega_n t) \tag{6}$$

$$a_s = \frac{2}{N_0 + 1} (\sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \sin \alpha \cos \omega_n t) \tag{7}$$

$$a(t) = a_c + ja_s \tag{8}$$

$N_0$  adalah osilator frekuensi rendah yang frekuensinya sama dengan  $\omega_n$ .

$$\omega_n = \omega_d \left( \cos \frac{2\pi n}{N_1} \right), \quad n = 1, 2, \dots, N_0 \quad (9)$$

Dimana :

$$N_1 = 2(2 \cdot N_0 + 1) \quad (10)$$

$$N_0 = \frac{1}{2} \left( \frac{N_1}{2} - 1 \right) \quad (11)$$

$$\beta_n = \frac{\pi \cdot n}{N_0} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} \quad (13)$$

Sedangkan

$$\omega_d = 2\pi f_d \quad (14)$$

merupakan pergeseran Doppler.

Pada model kanal ini,  $a_c$  dan  $a_s$  yang merupakan variabel acak *Gaussian* dengan *mean* nol dan variansi  $\sigma^2$ . Sedangkan  $a(t)$  merupakan variabel Rayleigh (*channel gain*).

### C. Menentukan Matriks ZF-beamforming

Setelah mendapatkan nilai *channel gain* dilakukan pencarian nilai matriks ZF-beamforming. Untuk mendapatkan nilai matriks ZF-beamforming, digunakan persamaan sebagai berikut [1] :

$$W_n = H_n^* (H_n H_n^*)^{-1} \quad (15)$$

Dimana  $H_n = [h_{1,n}^T, h_{2,n}^T, \dots, h_{G-1,n}^T, h_{G,n}^T]^T$  adalah matriks *channel gain* antara BS dan UE. Sehingga matriks *beamforming* pada  $n$  subcarriers dapat ditentukan sebagai berikut [1] :

$$W_n = [W_{1,n}, W_{2,n}, \dots, W_{G-1,n}, W_{G,n}]_{G \times G} \quad (16)$$

### D. Perhitungan SINR dengan Penerapan ZF-beamforming

Setelah mendapatkan nilai matriks *channel gain* dan matriks ZF-beamforming, dilakukan perhitungan nilai SINR. Representasi SINR pada MUE di  $n$  subcarrier adalah sebagai berikut [1] :

$$SINR_{G,n}^M = \frac{P_{G,n}^M \|h_{G,n}^{MM}\|^2}{\sum_{k=1}^K P_{k,n}^F \|h_{G,n}^{FM} w_{k,n}^F\|^2 + \sigma^2} \quad (17)$$

Sedangkan nilai SINR untuk femto user sebagai berikut [4] :

$$SINR_{k,n}^F = \frac{P_{k,n}^F \|h_{k,n}^{FF} w_{k,n}^F\|^2}{\sum_{j \neq k} P_{j,n}^F \|h_{k,n}^{Fj} w_{j,n}^F\|^2 + P_{G,n}^M \|h_{k,n}^{MG}\|^2 + \sigma^2} \quad (18)$$

Dimana  $P_n$  adalah alokasi daya pada *subcarrier* ke- $n$  untuk masing-masing user.  $h_n$  adalah matriks *channel gain* pada *subcarrier* ke- $n$ . Sedangkan  $w_n$  adalah matriks ZF-beamforming.

### E. Proses Algoritma Genetika

Algoritma genetika [9] banyak digunakan pada masalah praktis yang berfokus pada pencarian parameter optimal. Algoritma genetika adalah algoritma pencarian yang didasarkan pada mekanisme seleksi alamiah dan genetika alamiah. Pada jurnal ini, algoritma genetika digunakan untuk pengalokasian daya sehingga di dapatkan nilai SINR terbaik. Kromosom pada AG adalah kemungkinan solusi dari yang dicari. Pada jurnal ini, panjang kromosom adalah jumlah subcarrier. Sebagai contoh, jika terdapat satu MUE dan tiga FUE, maka panjang kromosom adalah empat kali subcarrier.

Pada umumnya, algoritma genetika terdiri dari empat operasi, yaitu ini *selection*, *crossover*, *mutation*, dan *fitness evaluation*.

- **Inisialisasi Populasi** [1]

Perkumpulan kromosom disebut dengan populasi. Pada jurnal ini ukuran populasi adalah S. Kromosom pertama dibentuk oleh nilai yang sama, sedangkan S-1 kromosom dibentuk dengan nilai random. Tiap kromosom merupakan satu jenis alokasi daya

• **Selection**[1]

Menghitung nilai SINR (6) dengan alokasi daya di setiap kromosom.  $\mu$  kromosom dengan fitness tertinggi akan dipilih dari S. Semakin tinggi nilai fitness, maka semakin bagus kromosomnya.

• **Crossover**[1]

Metode multipoint crossover digunakan pada paper ini. Dipilih dua kromosom secara acak dari  $\mu$  cromosom untuk membentuk kromosom yang baru atau disebut offspring. Proses *crossover* seperti pada Gambar 6.

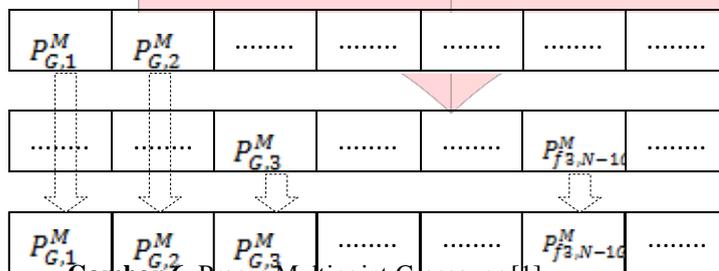
Titik crossover dipilih secara rando. Sehingga, S- $\mu$  offspring terbentuk secara berulang.

• **Mutation**[1]

Mutasi terjadi pada S- $\mu$  offspring. Peluang terjadinya mutasi adalah  $\beta$ , sehingga jumlah titik mutasi adalah (S- $\mu$ )\*4N\*  $\beta$ , yang dipilih secara random pada S- $\mu$  offspring yang baru.

• **Fitness Evaluation**[1]

Nilai fitness merupakan nilai SINR pada MUE (6). Perlu diingat bahwa jumlah daya tiap kromosom harus memenuhi *power constraint* (7). Sehingga perlu adanya evaluasi ulang hingga mendapatkan kriteria yang dicari, pengulangan ini berdasarkan berapa jumlah generasi yang digunakan.



Gambar 6. Proses Multipoint Crossover [1]

**F. Analisis SINR**

Kemudian setelah melalui proses Algoritma Genetika dilakukan evaluasi nilai SINR. *Power constraint* SINR user didefinisikan sebagai berikut [1]:

$$\text{MAX}_{P_{G,n}^M, P_{k,n}^F} \quad \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \text{SINR}_{G,n}^M \tag{19}$$

dengan  $\sum_{n=1}^N P_{G,n}^M \leq P_{G,total}^M$  (20)

$$\sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K P_{k,n}^F \|w_{k,n}^F\|^2 \leq P_{total}^F \tag{21}$$

$$P_{G,n}^M \geq 0, \text{ untuk } n = 1, \dots, N \tag{22}$$

$$P_{k,n}^F \geq 0, \text{ untuk } n = 1, \dots, N \text{ dan } k = 1, \dots, K \tag{23}$$

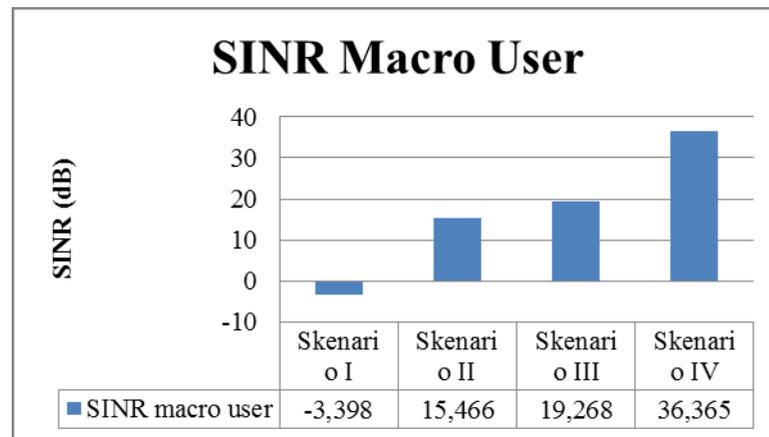
Tujuan utama pada penelitian ini adalah untuk mendesain algoritma alokasi daya untuk mengalokasikan daya  $P_{G,n}^M$  untuk MUE dan  $P_{k,n}^F$  untuk FUE pada N subcarrier sehingga SINR pada MUE dapat meningkat.

Sedangkan nilai untuk *power constraint* SINR FUE didefinisikan pada persamaan (20), (21), (22), dan (23). Nilai SINR pada persamaan (17) dan (18) merupakan nilai SINR per subcarrier. Sedangkan pada (19) merupakan nilai SINR per kromosom. Nilai *power constraint* diatas diimplementasikan pada algoritma genetika. Sehingga algoritma genetika yang digunakan merupakan solusi dari permasalahan pada jurnal ini.

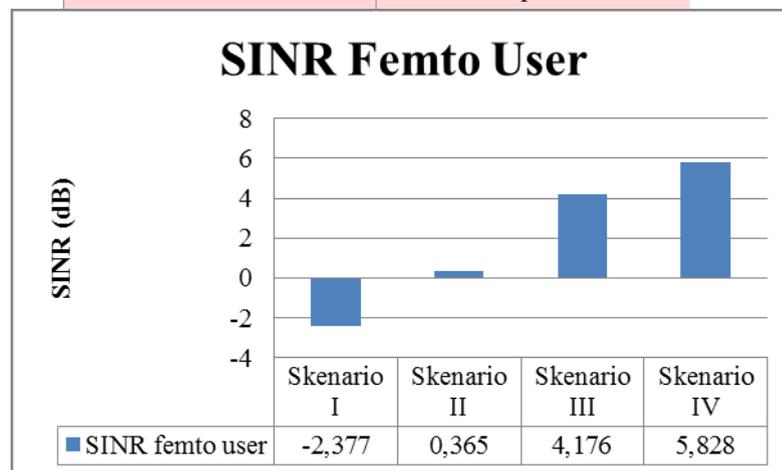
**4. Pengujian dan Analisis**

Simulasi ini menggunakan empat skenario berbeda untuk dibandingkan. Skenario I: alokasi daya tanpa Algoritma Genetika dan tanpa menggunakan ZF beamforming; Skenario II: Alokasi daya menggunakan algoritma genetika dan tanpa ZF beamforming; Skenario III: alokasi daya tanpa Algoritma Genetika dan menggunakan ZF beamforming; Skenario IV: Alokasi daya menggunakan algoritma genetika dan menggunakan ZF beamforming.

Parameter simulasi mengacu pada spesifikasi 3GPP [10]. Daya *thermal noise* adalah -143dBm. Total daya transmit  $P_{total}^M = 43$  dBm untuk MBS dan  $P_{total}^F = 20$ dBm untuk FBS. Sedangkan parameter algoritma genetika  $\{S, \mu, \beta\}$  adalah  $\{50, 10, 0.1\}$ . Jumlah generasi sebanyak 50 generasi berdasarkan hasil percobaan.



**Gambar 7.** Grafik SINR MUE Tiap Skenario



**Gambar 8.** Grafik SINR FUE Tiap Skenario

Dari Gambar 7 dan Gambar 8 diatas didapatkan bahwa Skenario I merupakan dasar. Dengan menambahkan algoritma genetika pada Skenario II terlihat lebih baik. Dengan menggunakan algoritma genetika pada pengalokasian daya dapat mengoptimasi nilai SINR yang didapat user hingga menjadi 15,466 dB untuk *macro user* dan 0,365 untuk rata-rata *femto user* pada Gambar 8. Begitu juga dengan Skenario III, Dengan penambahan ZF-*beamforming*, SINR yang didapat user juga dapat meningkat walaupun tanpa adanya optimasi. SINR yang didapat *macro user* meningkat lagi menjadi 19,268 dB dan untuk *femto user* menjadi 4,176dB. Hal ini terjadi karena pada metode ini *co-channel interference* telah dikurangi dengan implementasi ZF-*beamforming*. Kemudian dengan Skenario IV dengan menggunakan metode pengalokasian daya berbasis algoritma genetika dan implementasi ZF-*beamforming* didapat nilai SINR user yang paling baik. Pada Skenario IV didapatkan SINR *macro user* sebesar 36,365 dB dan *femto user* sebesar 5,828 dB.

## 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dilakukan penggabungan metode alokasi daya menggunakan algoritma genetika dan ZF *beamforming* pada multiuser MIMO-OFDM jaringan *femtocell*. Power transmit disesuaikan untuk meningkatkan nilai SINR pada *macro user* dan mendapatkan bobot *beamforming* berdasarkan metode *zero-forcing* untuk menghilangkan *co-channel interference*. Dengan menggunakan metode ini telah didapatkan bahwa performansi user semakin baik. Tidak hanya *macro user* tetapi performansi *femto user* juga ikut meningkat. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa dengan menggunakan gabungan dua metode tersebut dapat meningkatkan nilai SINR *Macro User* hingga 39,763 dB lebih baik dibanding tidak menggunakan metode keduanya, 20,899 dB lebih baik dibanding hanya penerapan algoritma genetika, dan 17,097 dB lebih baik dibanding hanya implementasi ZF-*beamforming*. Sedangkan untuk nilai SINR *Femto user* dengan menggunakan kedua metode tersebut meningkat hingga 8,205 dB lebih baik dibanding tidak menggunakan metode keduanya,

5,463 dB lebih baik dibanding hanya penerapan algoritma genetika, dan 1,652 dB lebih baik dibanding hanya implementasi *ZF-beamforming*. Pada penggunaan kedua metode didapat nilai SINR yang paling baik. Hal ini terjadi karena setelah penggunaan *ZF-beamforming* dengan nilai SINR yang sudah cukup baik, mendapat optimasi lagi dengan adanya Algoritma Genetika. Di dalam proses Algoritma Genetika terdapat proses pemilihan SINR terbaik yang dievaluasi lagi setiap generasi. Oleh karena itu, tiap generasi nilai SINR yang didapat menjadi semakin baik.

#### Daftar Pustaka:

- [1]. Pao, Wei Chen; Lu, Yung Feng; Shih, Chen Yu; Chen, Yung Fang; "Genetic Algorithm-based Power Allocation for Multiuser MIMO-OFDM Femtocell Networks with ZF Beamforming." *IEEE*, 2013: 1-5.
- [2]. X. Li, L. Qian, and D. Kataria. "Downlink Power Control in Co-channel Macrocell Femtocell Overlay." *Proc. Annual Conf.* 2009. 383-388.
- [3]. V. Chandrasekhar, J. Andrews, T. Muharemovic, Z. Shen, and A. Gatherer. "Power Control in Two-Tier Femtocell Network." *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 2009.
- [4]. Gatherer, J. G. Andrews and A. "Femto Network: A survey." *IEEE*, 2008: 59-67.
- [5]. Lu, Jiang; Kwon, JungPhil; Yang, Yan; "Performance Analysis and Simulation of MIMO Channels for Space-Time Coding".
- [6]. Palipana, Dhanapala M. S. "A Scalable and Self-Sustained Femtocell Architecture for LTE-A." 2014
- [7]. Filippi, Morris. "SDR Implementation of a OFDM-MIMO Receiver". Institute for Electronic Systems, 2009.
- [8]. Astuti, Dian Widi. "Analisa Simulasi Performansi Penggunaan Orthogonal Frequency Division Multiplexing Pada Sistem Digital Video Broadcasting-Terrestrial" *IncomTech*, 2012: 65-83.
- [9]. Suyanto."Algoritma Genetika dalam Matlab". Yogyakarta. Penerbit Andi, 2005
- [10]. 3GPP,"Further advancement for E-UTRA physical layer aspects (Release 9)", Technical Report 36.814v 9.0.0, Mar. 2010.

