

# Analisis Sistem Kendali Daya Terdistribusi pada Jaringan *Co-Tier Femtocell*

Afnan Syam Mediawan T., Anggun Fitriani Isnawati<sup>#</sup>, Petrus Kerowe Goran

Institut Teknologi Telkom Purwokerto,  
Jl. D.I Panjaitan No 128 Purwokerto, Jawa Tengah, Indonesia  
<sup>#</sup>anggun@ittelkom-pwt.ac.id

---

---

## Abstrak

*Femtocell* merupakan teknologi yang banyak digunakan di bidang jaringan telekomunikasi khususnya untuk jaringan heterogen. *Femtocell* mempunyai area cakupan yang lebih kecil namun memiliki efisiensi spektrum yang lebih tinggi. Jaringan *femtocell* biasanya digunakan untuk akses jaringan di dalam ruangan (*indoor*). Penggunaan jaringan *femtocell* dengan kondisi *user* yang terdistribusi mengakibatkan timbulnya permasalahan kendali daya, sehingga sistem kendali dayanya pun juga harus menyesuaikan. Sistem kendali daya yang sesuai untuk *user* terdistribusi salah satunya adalah *Distributed Power Control* (DPC) atau sistem kendali daya terdistribusi. Metode ini digunakan untuk menghemat konsumsi daya *user* yang terdistribusi dengan melakukan *update* daya secara mandiri. Dalam penelitian ini akan dianalisis mengenai DPC dengan skema 5 *user* dan 10 *user*. Analisis dilakukan berdasarkan parameter alokasi daya *user* saat kondisi fisibel dan saat mencapai konvergensi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa saat menggunakan skema 5 *user* dan 10 *user* memiliki dua kondisi yaitu kondisi yang fisibel dan tidak fisibel. Pada saat kondisi sistem fisibel, semua *user* mampu mencapai SINR target pada saat konvergen. Sedangkan saat kondisi sistem tidak fisibel, *user* tidak dapat mencapai SINR target dan sistem tidak akan konvergen.

**Kata kunci:** *Femtocell*, kendali daya, *Distributed Power Control* (DPC), fisibel, konvergen

## Abstract

*Femtocell* is a technology that is widely used in the field of telecommunications networks, especially for heterogeneous networks. *Femtocells* have a better spectral efficiency but a lower coverage area. For access to indoor networks, *femtocell* networks are typically employed. Power control issues arise from the deployment of *femtocell* networks with scattered user circumstances, necessitating an adjustment to the power management system. The *Distributed Power Control* (DPC) or distributed power control system is one of the power control systems appropriate for remote users. In order to reduce distributed user power usage, this technique updates power independently. With a scheme of 5 users and 10 users, DPC will be examined in this study. The analysis is carried out based on the parameters of user power allocation when conditions are feasible and when convergence is reached. The findings of this study show that there are two situations, namely feasible and infeasible conditions, while employing the 5 users and 10 users scheme. When the system conditions are feasible, all users are able to reach the target SINR at convergence. Whereas when the system conditions are not feasible, the user cannot reach the target SINR and the system will not be able to achieve convergence.

**Keywords:** *Femtocell*, power control, *Distributed Power Control* (DPC), feasible, convergence

---

---

## I. PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan teknologi telekomunikasi terus berkembang sehingga menyebabkan kepadatan transmisi dalam jaringan komunikasi meningkat pesat. Hal ini membuat para operator penyedia layanan harus terus meningkatkan kualitas

jaringan dengan melakukan pembaharuan agar dapat mencukupi kebutuhan pengguna (*user*) [1].

Jaringan tanpa kabel (*wireless*) menjadi salah satu jaringan yang paling diminati banyak pengguna karena dapat digunakan dimana saja baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Peningkatan kepadatan arus lalu lintas pertukaran data ditandai dengan meningkatnya komunikasi

dalam ruangan. Kendala komunikasi yang sering muncul disebabkan karena sebagian besar para pengguna terhalang oleh adanya penyekatan atau tembok sehingga sinyal tidak dapat menembus dengan sempurna. Untuk mengatasi permasalahan tersebut jaringan *femtocell* diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang terjadi [2].

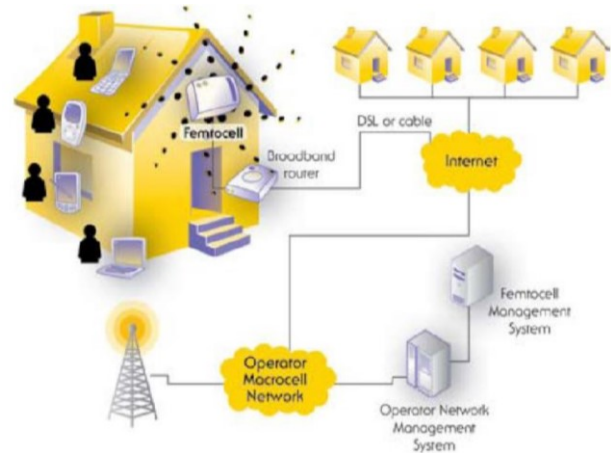
Penggunaan jaringan *femtocell* ini dipandang efektif dalam mengatasi permasalahan penumpukan arus pertukaran data di dalam ruangan. Karena memiliki manfaat yang sangat baik, diperkirakan *femtocell* akan menjadi teknologi akses radio yang akan banyak diminati di masa depan [3]. Selain keunggulannya yang sangat bermanfaat, *femtocell* juga memiliki beberapa tantangan dalam menjalankan fungsinya. Salah satu permasalahan terbesar dalam *femtocell* yaitu saat mengkolaborasikan antara *macrocell* dengan *femtocell overlooping* secara bersama, atau dengan kata lain terjadi *cross-tier interference*. Untuk mengatasi permasalahan interferensi *cross-tier* ini perlu dilakukan metode *open-loop* dan *close-loop* atau penggunaan algoritma kendali daya agar dapat menyesuaikan daya yang dibutuhkan pada jaringan *femtocell* [4]. Penggunaan algoritma kendali daya digunakan untuk mengontrol nilai dari daya pancar agar kualitas jaringan tetap terjaga [5]. Penggunaan algoritma *Distributed Power Control* (DPC) dianggap efektif untuk digunakan dalam menyelesaikan masalah kendali daya pengguna yang terdistribusi [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan kendali daya pada *user* terdistribusi, sehingga mampu mengatur dayanya secara mandiri berdasarkan *power update* dari fungsi utilitas yang sudah ditentukan, yang bertujuan untuk mencapai *signal to interference and noise ratio* yang ditargetkan (SINR target) dan diukur pada saat sistem konvergen. Pada penelitian ini juga akan dibuktikan bahwa sistem yang fisibel akan mencapai titik konvergen, sedangkan sistem yang tidak fisibel tidak akan mencapai konvergensi.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Femtocell

*Femtocell* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan sebuah *access point* berdaya-pancar rendah dengan berbasiskan teknologi komunikasi *wireless* yang dapat memberikan layanan suara dan data kepada para pengguna jaringan komunikasi di dalam lingkungan rumah atau lingkungan perkantoran [7].



Gambar 1. Topologi jaringan *femtocell* [7]

Teknologi *femtocell* berfungsi untuk meningkatkan kapasitas pada jaringan nirkabel dan memperluas cakupan jaringan seluler [8]. Selain itu jaringan *femtocell* juga dapat mengatasi permasalahan pengguna jaringan seluler yang dipancarkan melalui BTS, seperti di dalam gedung bertingkat dan juga di dalam ruangan yang terhalang oleh tembok beton [7]. Pada penerapan sederhana, *femtocell* dirancang untuk menjadi mudah dipasang, dikonfigurasi, dan dioperasikan (*zero touch installation*) [9].

Interferensi pada jaringan *femtocell* terbagi menjadi dua jenis yaitu *Cross-tier interference* dan *Co-tier interference*. Interferensi terjadi karena penggunaan kanal komunikasi secara bersamaan. Interferensi dapat terjadi pada arah *uplink* maupun *downlink* [10]. Banyak skema telah diusulkan untuk meminimalkan efek interferensi *Co-tier* [11]. Interferensi dapat menurunkan kualitas layanan sistem (QoS) [12].

### B. Distributed Power Control (DPC)

*Power control* digunakan dalam upaya meningkatkan kinerja jaringan. Ada dua kategori utama *power control* dalam jaringan *femtocell* yaitu *Centralized Power Control* (CPC) dan *Distributed Power Control* (DPC) [13]. *Uplink* pada jaringan LTE mempunyai sifat yang ortogonal atau dengan kata lain tidak memiliki interferensi pada *user* di dalam *cell* yang sama, namun interferensi yang terjadi hanya antar *cell* [14]. Jumlah interferensi yang ditimbulkan juga tergantung pada posisi user, khususnya pada *path gain* dari user ke *cell* tersebut. User yang jaraknya lebih dekat dengan *cell* lain akan menghasilkan nilai interferensi yang lebih besar bila dibandingkan dengan user yang jaraknya lebih jauh [15]. Karakteristik ini digunakan pada kendali daya *uplink* jaringan LTE [16].

Skema kontrol daya terdistribusi diturunkan dengan membuat modifikasi sederhana untuk

kontrol daya [17]. Untuk menentukan daya baru secara mandiri perlu dilakukan proses *power update* oleh user. Formula *power update* pada DPC didapatkan dari fungsi utilitas dengan memanfaatkan kondisi SINR pengguna dan daya yang digunakan sebelumnya, dan dirumuskan sebagai berikut [18]:

$$p_i^{(t+1)} = \frac{\gamma_i^{tar}}{\gamma_i^{(t)}} p_i^{(t)} \quad (1)$$

dimana  $\gamma_i^{tar}$  merupakan SINR target dan  $\gamma_i^{(t)}$  adalah SINR yang dicapai oleh user  $i$  pada saat  $t$ , sedangkan  $p_i^{(t+1)}$  dan  $p_i^{(t)}$  adalah daya user  $i$  sebelum dan sesudah iterasi *power update*. Metode ini juga dikenal dengan nama *Power Balancing Algorithm* (PBA) [19].

### C. Fisibilitas dan Konvergensi DPC

SINR merupakan sebuah indikator yang sangat baik untuk menentukan kualitas suatu sinyal. Untuk mendapatkan nilai SINR user digunakan persamaan berikut [9]:

$$\gamma_i = \frac{p_i g_{ii}}{\sum_{i=1, i \neq j}^N p_{ij} g_{ij} + \sigma_0} \quad (2)$$

dimana  $p_i$  adalah daya user  $i$  dan  $p_{ij}$  adalah daya yang digunakan oleh user lain di *channel* yang sama. Dengan  $g_{ii}$  merupakan nilai *link gain* user  $i$  dan  $g_{ij}$  merupakan nilai *link gain* user yang berbeda dan  $\sigma_0$  yang merupakan *noise* [20].

Saat setelah diberikan nilai  $\gamma_i^{tar}$  atau SINR target, agar sistem fisibel maka harus memenuhi persyaratan vektor daya tidak-negatif (*non-negative power vector*). Untuk memenuhi kondisi tersebut dapat digunakan persamaan berikut [21]:

$$P^* = (I - H)^{-1} \eta \quad (3)$$

dengan  $P^*$  merupakan daya total yang digunakan oleh user,  $H = (h_{ij})$  yang merupakan matriks *link gain* yang ternormalisasi yang dapat diketahui nilainya dengan persamaan berikut [21]:

$$h_{ij} = \gamma^{tar} \frac{G_{ij}}{G_{ii}} \quad (4)$$

Sedangkan  $\eta$  yaitu vektor *noise* yang ternormalisasi yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [18]:

$$\eta_i = \gamma^{tar} \frac{\sigma}{G_{ii}} \quad (5)$$

dimana  $g_{ii}$  dan  $g_{ij}$  merupakan nilai *link gain* user  $i$  dan user  $j$ . Untuk menentukan nilai gain user dapat menggunakan persamaan berikut [20]:

$$G_{ii} = \frac{1}{d^\alpha} \quad (6)$$

dengan  $d$  merupakan jarak antar *user* dan  $\alpha$  merupakan konstanta *pathloss* yang bernilai 4. Nilai *link gain* ini dipengaruhi oleh nilai jarak antar *user* [20].

Pada kendali daya terdistribusi, setiap *user* akan melakukan pembaruan daya untuk dirinya secara terus menerus hingga mencapai kondisi konvergen. Kondisi SINR sebelumnya dan daya pengguna digunakan untuk pembaruan daya pada sistem DPC [20].

### D. Modulasi Digital

Modulasi merupakan penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier* [22]. Sinyal informasi tersebut dapat ditumpangkan dengan cara mengubah amplitudo, frekuensi maupun fasa yang dibawa oleh sinyal *carrier* [23]. Terdapat beberapa macam modulasi digital seperti *Frequency Shift Keying* (FSK), *Phase Shift Keying* (PSK), *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) [24]. Sedangkan tipe modulasi jika dikaitkan dengan standar nilai SINR target adalah sebanding, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1.

### E. Pemodelan Sistem

Pada penelitian ini, pemodelan sistem terbagi menjadi dua skenario yakni skema 5 *user* dan 10 *user*. Pemilihan kedua skenario jumlah user tersebut dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh jumlah user terhadap penggunaan daya. Terdapat beberapa user *femtocell* (*femtocell user equipment*, FUE) sebagai pemancar dan juga beberapa *Femtocell Access Point* (FAP) sebagai penerima di setiap *node*.

Pada Gambar 2 ditunjukkan *link gain* dari *transmitter user*  $i$  pada FAP  $b_{j1}$ , ( $a_{ij1}$ ) menuju ke *receiver* FAP  $j1$  ( $b_{j1}$ ) dilambangkan dengan  $G_{ij1}$ , sedangkan *gain* dari *transmitter user*  $i$  pada FAP  $b_{j2}$ , ( $a_{ij2}$ ) menuju ke *receiver*  $j2$  ( $b_{j2}$ ) dilambangkan dengan  $G_{ij2}$ .

Pembagian *channel* pada kedua skenario 5 user dan 10 user dilakukan secara random dan dalam penelitian ini dicontohkan satu kondisi dalam setiap skenarionya. Gambar 3 merupakan skema *channel* yang digunakan oleh 5 *user*. Pada skema tersebut, *channel* yang digunakan sebanyak 5 *channel* dengan masing-masing *user* menggunakan jumlah *channel* yang berbeda-beda.

Tabel 1. Nilai SINR terhadap tipe modulasi [25]

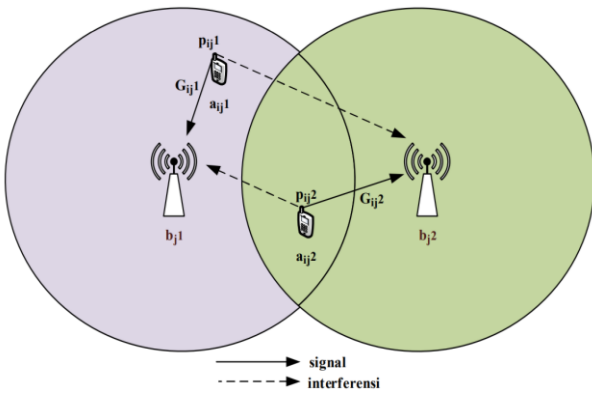
| Tipe Modulasi | SINR (dB) |
|---------------|-----------|
| 1024-QAM      | 35,5      |
| 256-QAM       | 29,4      |
| 64-QAM        | 23,3      |
| 16-QAM        | 16,9      |
| QPSK          | 9,9       |
| BPSK          | 6,8       |

Berdasarkan Gambar 3 tersebut maka matriks *link gain*  $H$  dapat dibedakan menjadi 5 macam sesuai jumlah *channel*, sebagaimana berikut:

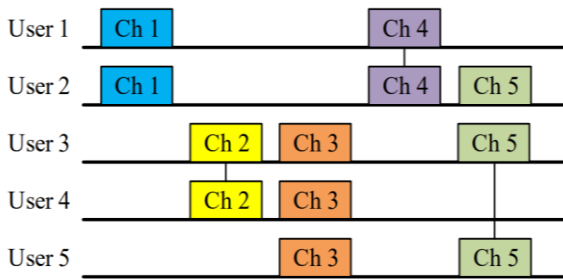
$$H_1 = H_4 = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}, H_2 = \begin{bmatrix} h_{33} & h_{34} \\ h_{43} & h_{44} \end{bmatrix},$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} h_{33} & h_{34} & h_{35} \\ h_{43} & h_{44} & h_{45} \\ h_{53} & h_{54} & h_{55} \end{bmatrix},$$

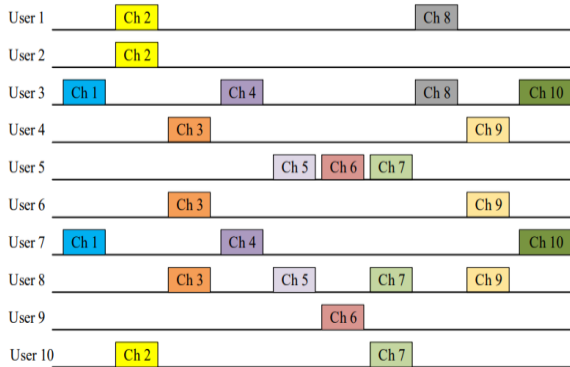
$$H_5 = \begin{bmatrix} h_{22} & h_{23} & h_{25} \\ h_{32} & h_{33} & h_{35} \\ h_{52} & h_{53} & h_{55} \end{bmatrix}$$



Gambar 2. Model sistem jaringan *femtocell*



Gambar 3. Pembagian *channel* pada skema 5 *user*



Gambar 4. Pembagian *channel* pada skema 10 *user*

Tabel 2. Parameter simulasi

| Parameter      | Nilai                           |
|----------------|---------------------------------|
| $\sigma^2$     | $10^{-13}$ W                    |
| $\gamma^{tar}$ | 6,8 dB (BPSK) dan 9,9 dB (QPSK) |
| $N$            | 5 dan 10                        |
| $K$            | 5 dan 10                        |
| $P_{max}$      | 150 mW                          |
| $P_{in}$       | $2,22 \times 10^{-11}$ W        |

Skema *channel* untuk setiap *user* pada skenario 2 ditunjukkan oleh Gambar 4. Penggunaan *channel* pada skema 10 *user* memiliki konsep dan tujuan yang sama dengan skema 5 *user*, hanya saja pada skema 10 *user* memiliki jumlah *user* yang lebih banyak dan jumlah *channel* yang digunakan juga lebih banyak yaitu sebanyak 10 *channel*.

Matrix *link gain*  $H$  dapat dibedakan berdasarkan *user* yang menggunakan *channel* secara bersamaan. Berdasarkan banyaknya *channel* yang digunakan pada Gambar 4, maka matriks *link gain*  $H$  dapat dibedakan menjadi 10 macam sebagai berikut:

$$H_1 = H_4 = H_{10} = \begin{bmatrix} h_{33} & h_{37} \\ h_{73} & h_{77} \end{bmatrix},$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{110} \\ h_{21} & h_{22} & h_{210} \\ h_{101} & h_{102} & h_{1010} \end{bmatrix},$$

$$H_3 = H_9 = \begin{bmatrix} h_{44} & h_{46} & h_{48} \\ h_{64} & h_{66} & h_{68} \\ h_{84} & h_{86} & h_{88} \end{bmatrix},$$

$$H_5 = \begin{bmatrix} h_{55} & h_{58} \\ h_{85} & h_{88} \end{bmatrix}, H_6 = \begin{bmatrix} h_{55} & h_{59} \\ h_{95} & h_{99} \end{bmatrix}$$

$$H_7 = \begin{bmatrix} h_{55} & h_{58} & h_{510} \\ h_{85} & h_{88} & h_{810} \\ h_{105} & h_{108} & h_{1010} \end{bmatrix},$$

$$H_8 = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{13} \\ h_{31} & h_{33} \end{bmatrix}$$

### F. Parameter Simulasi

Parameter dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 telah ditetapkan parameter yang akan digunakan dalam penelitian untuk menguji fisibilitas jaringan dan konvergensi pada skema DPC dengan menggunakan skema 5 *user* dan 10 *user*. Berdasarkan parameter SINR target atau  $\gamma^{tar}$  sebesar 6,8 dB dan 9,9 dB, maka sesuai dengan ketentuan nilai SINR terhadap modulasi pada Tabel 1, penelitian ini menggunakan modulasi BPSK dan QPSK.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

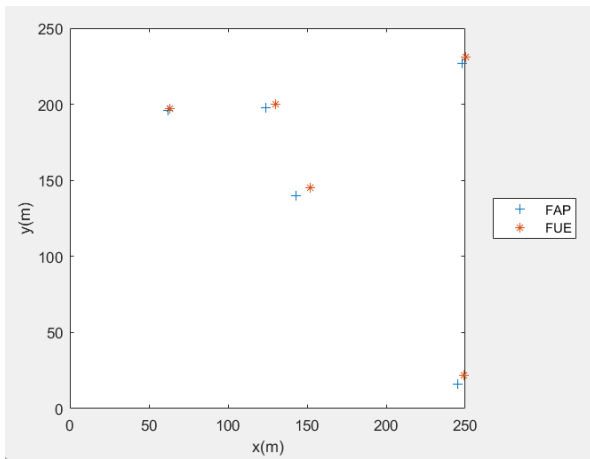
#### A. Analisis User

Pada topologi jaringan ini setiap user memiliki pasangan *Femtocell Access Point* (FAP) dan *Femtocell User Equipment* (FUE). Pasangan FAP dan FUE tersebar secara acak sehingga setiap FAP dan FUE memiliki jarak yang berbeda-beda. Untuk skema 5 user dan 10 user ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

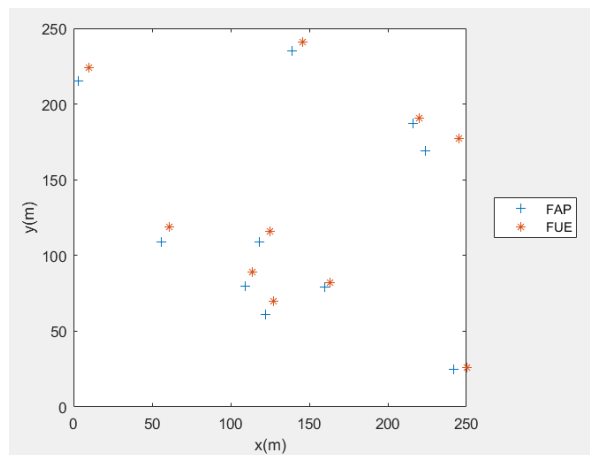
Persebaran posisi *user* telah ditentukan sesuai dengan Gambar 5. Untuk menentukan nilai *eigenvalue* dari matriks *link gain*  $\mathbf{H}$  pada skema 5 *user* dengan menggunakan persamaan matriks sebagai berikut:

$$H_1 = H_4 = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 96,86929401 \\ 0,080246136 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} h_{33} & h_{34} \\ h_{43} & h_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2,794403701 \\ 1,642727989 & 0 \end{bmatrix}$$



Gambar 5. Topologi jaringan skema 5 user



Gambar 6. Topologi jaringan skema 10 user

$$H_3 = \begin{bmatrix} h_{33} & h_{34} & h_{35} \\ h_{43} & h_{44} & h_{45} \\ h_{53} & h_{54} & h_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2,794403701 & 1400,609503 \\ 1,642727989 & 0 & 7,026064485 \\ 0,078152711 & 0,019345704 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_5 = \begin{bmatrix} h_{22} & h_{23} & h_{25} \\ h_{32} & h_{33} & h_{35} \\ h_{52} & h_{53} & h_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,012011293 & 0,137752925 \\ 359,3867675 & 0 & 1400,609503 \\ 10,31435898 & 0,078152711 & 0 \end{bmatrix}$$

Nilai *eigenvalue* dari matriks *link gain*  $\mathbf{H}$  pada skema 5 *user* adalah sebagai berikut:

$$eigH_1 = eigH_4 = \begin{bmatrix} -2,788079364248881 \\ 2,788079364248881 \end{bmatrix}$$

$$eigH_2 = \begin{bmatrix} -2,142532420337645 \\ 2,142532420337645 \end{bmatrix}$$

$$eigH_3 = \begin{bmatrix} 10,882054736114021 \\ -10,478235184693728 \\ -0,403819551420294 \end{bmatrix}$$

$$eigH_5 = \begin{bmatrix} 11,433040825978112 \\ -9,859363120504189 \\ -1,573677705473923 \end{bmatrix}$$

Untuk mencapai sistem yang fisibel harus memenuhi nilai  $|eigenvalue \mathbf{H}| < 1$  di semua nilai matriks *link gain*  $\mathbf{H}_1$  sampai  $\mathbf{H}_5$ , yaitu sebagai berikut:

$$|eigH_1| = |eigH_4| = \begin{bmatrix} 2,788079364248881 \\ 2,788079364248881 \end{bmatrix} > 1$$

$$|eigH_2| = \begin{bmatrix} 2,142532420337645 \\ 2,142532420337645 \end{bmatrix} > 1$$

$$|eigH_3| = \begin{bmatrix} 10,882054736114021 \\ 10,478235184693728 \\ 0,403819551420294 \end{bmatrix} > 1$$

$$|eigH_5| = \begin{bmatrix} 11,433040825978112 \\ 9,859363120504189 \\ 1,573677705473923 \end{bmatrix} > 1$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai mutlak *eigenvalue* matriks  $\mathbf{H}$  tidak ada nilai yang memenuhi persyaratan  $|eigenvalue \mathbf{H}| < 1$  sehingga sistem tidak fisibel.

Selain dengan menggunakan pengujian matrix *eigenvalue*, untuk menguji fisibilitas sistem juga dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian *power vector* yang mana harus memenuhi persyaratan *Non-negative power vector*. Dengan menggunakan persamaan (3), maka nilai *power vector* pada setiap pengguna sesuai dengan pembagian *channel* untuk skema 5 *user* adalah sebagai berikut:

$$P_1^* = P_4^* = \begin{bmatrix} -0,00769575 \\ -0,000079967 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} -7,69575 \\ -0,079967 \end{bmatrix} mW$$

$$P_2^* = \begin{bmatrix} -0,000606055 \\ -0,000382102 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} -0,606055 \\ -0,382102 \end{bmatrix} mW$$

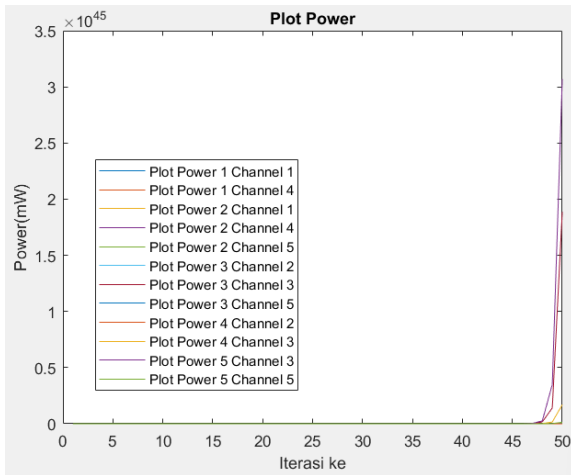
$$P_3^* = \begin{bmatrix} -0,005815113 \\ -0,008846642 \\ 0,0000131688 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} -5,815113 \\ -8,846642 \\ 0,0131688 \end{bmatrix} mW$$

$$P_5^* = \begin{bmatrix} 0,000162773 \\ -0,030472829 \\ -0,000063853 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} 0,162773 \\ -30,472829 \\ -0,063853 \end{bmatrix} mW$$

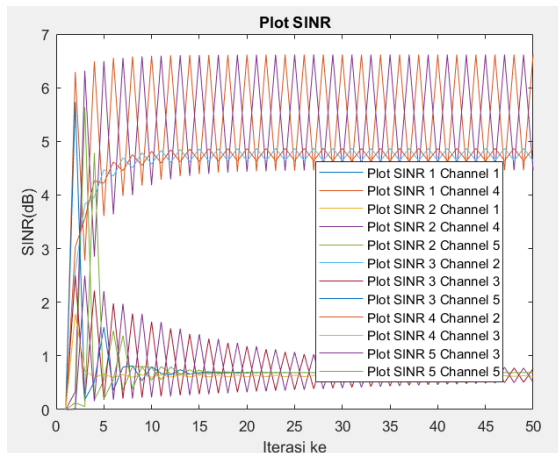
Hasil perhitungan menunjukkan hasil daya negatif dan tidak memenuhi persyaratan *non-negative power vector* sehingga sistem tersebut tidak fisibel.

### B. Sistem Tidak Fisibel

Sistem yang tidak fisibel apabila disimulasikan dengan menggunakan *software Matlab* akan menghasilkan grafik seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8. Berdasarkan grafik hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa grafik membentuk garis yang tidak konsisten. Grafik tersebut menunjukkan bahwa adanya nilai yang tidak konvergen. Kondisi ini dapat terjadi karena sistem yang disimulasikan tidak fisibel sehingga tidak dapat mencapai titik konvergen baik pada iterasi daya maupun SINR.



Gambar 7. Iterasi *power* pada sistem tidak fisibel skema 5 user



Gambar 8. Iterasi SINR pada sistem tidak fisibel skema 5 user

### C. Sistem Fisibel

Sistem fisibel harus memenuhi persyaratan nilai *eigenvalue H* < 1 di semua matriks dengan skema 5 user maupun 10 user yang terdistribusi secara acak. Untuk memenuhi persyaratan tersebut maka jarak FAP dan FUE harus diperhatikan atau dibatasi. Berdasarkan posisi persebaran user dan penggunaan *channel* untuk skema 5 user yang jaraknya telah dibatasi maka diperoleh matriks *link gain H* sebagai berikut:

$$H_1 = H_4 = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,0000000220463 \\ 0,00000203396 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} h_{33} & h_{34} \\ h_{43} & h_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,00000846691 \\ 0,00000490837 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} h_{33} & h_{34} & h_{35} \\ h_{43} & h_{44} & h_{45} \\ h_{53} & h_{54} & h_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,00000846691 & 0,0000290465 \\ 0,00000490837 & 0 & 0,000765908 \\ 0,00011946 & 0,005918426 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_5 = \begin{bmatrix} h_{22} & h_{23} & h_{25} \\ h_{32} & h_{33} & h_{35} \\ h_{52} & h_{53} & h_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,00000127159 & 0,00000698739 \\ 0,0000104107 & 0 & 0,000085431 \\ 0,000300707 & 0,00011946 & 0 \end{bmatrix}$$

Uji fisibilitas sistem dilakukan dengan menghitung nilai *eigenvalue* matriks *H*. Nilai *eigenvalue* dari matriks *link gain H* pada skema 5 user adalah sebagai berikut:

$$eigH_1 = eigH_4 = \begin{bmatrix} -0,000000211757626 \\ 0,000000211757626 \end{bmatrix}$$

$$eigH_2 = \begin{bmatrix} -0,000006446605854 \\ 0,000006446605854 \end{bmatrix}$$

$$eigH_3 = \begin{bmatrix} 0,002130080067758 \\ -0,002129723298108 \\ -0,00000035676965 \end{bmatrix}$$

$$eigH_5 = \begin{bmatrix} 0,000112637248811 \\ -0,000109277288682 \\ -0,000003359960129 \end{bmatrix}$$

Nilai matriks *eigenvalue H* diubah menjadi bentuk sebagai berikut:

$$|eigH_1| = |eigH_4| = \begin{bmatrix} 0,000000211757626 \\ 0,000000211757626 \end{bmatrix} < 1$$

$$|eigH_2| = \begin{bmatrix} 0,000006446605854 \\ 0,000006446605854 \end{bmatrix} < 1$$

$$|eigH_3| = \begin{bmatrix} 0,002130080067758 \\ 0,002129723298108 \\ 0,00000035676965 \end{bmatrix} < 1$$

$$|eigH_5| = \begin{bmatrix} 0,000112637248811 \\ 0,000109277288682 \\ 0,000003359960129 \end{bmatrix} < 1$$

Hasil perhitungan nilai mutlak *eigenvalue H* menunjukkan bahwa semua *user* yang menggunakan *channel* telah mencapai kondisi yang fisibel karena persyaratan ( $|eigenvalue H| < 1$ ) telah terpenuhi. Dengan cara yang sama, proses pengujian fisibilitas sistem juga dilakukan pada skema 10 *user*.

**D. Pengujian Non-Negative Power Vector Skema 5 User**

Nilai vektor daya tiap-tiap *user* sesuai dengan pembagian *channel* untuk skema 5 *user* adalah sebagai berikut:

$$P_1^* = P_4^* = \begin{bmatrix} 0,00000860141 \\ 0,00086014 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} 0,00860141 \\ 0,86014 \end{bmatrix} mW$$

$$P_2^* = \begin{bmatrix} 0,005814572 \\ 0,003440587 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} 5,814572 \\ 3,440587 \end{bmatrix} mW$$

$$P_3^* = \begin{bmatrix} 0,005815275 \\ 0,003459108 \\ 0,024182486 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} 5,815275 \\ 3,459108 \\ 24,182486 \end{bmatrix} mW$$

$$P_5^* = \begin{bmatrix} 0,000860316 \\ 0,005815254 \\ 0,024162273 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} 0,860316 \\ 5,815254 \\ 24,162273 \end{bmatrix} mW$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai vektor daya dengan menggunakan skema 5 *user* yang jaraknya telah dibatasi menghasilkan nilai vektor daya bernilai positif pada seluruh *channel* yang digunakan oleh *user* secara bersamaan. Selain itu, kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem memenuhi persyaratan fisibilitas *non-negative power vector*. Dengan kondisi demikian sistem yang dibuat pada skema 5 *user* tersebut termasuk dalam sistem yang fisibel. Proses pengujian *non-negative power vector* juga dilakukan pada skema 10 *user* untuk membuktikan bahwa sistem fisibel saat daya *user* positif.

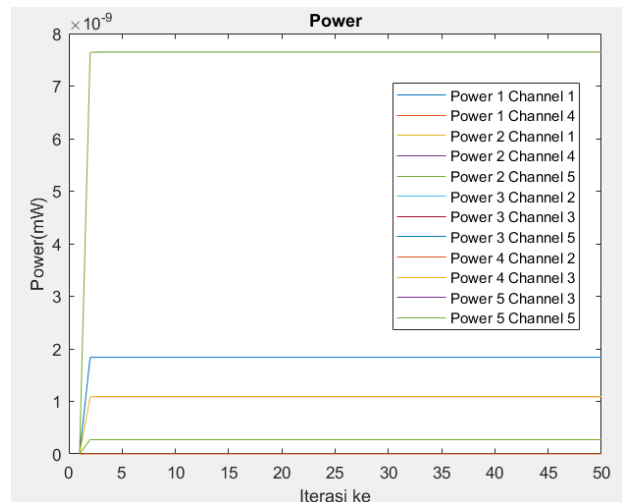
**E. Konvergensi Sistem Fisibel**

Hasil iterasi uji konvergensi pada skema 5 *user* baik untuk iterasi daya maupun SINR ditampilkan pada Tabel 3.

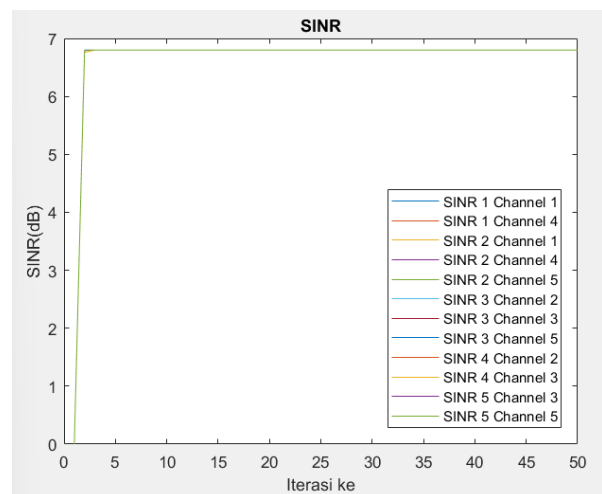
Pada Tabel 3 merupakan tabel hasil analisis iterasi terkait kemampuan *user* dalam mencapai titik konvergen, baik pada iterasi daya maupun pada SINR target. Analisis dilakukan pada grafik yang ditampilkan dari hasil simulasi menggunakan *software Matlab*. Bentuk grafik hasil simulasi sistem skema 5 *user* ditampilkan pada Gambar 9 sampai Gambar 12.

**Tabel 3. Iterasi daya dan SINR skema 5 sser**

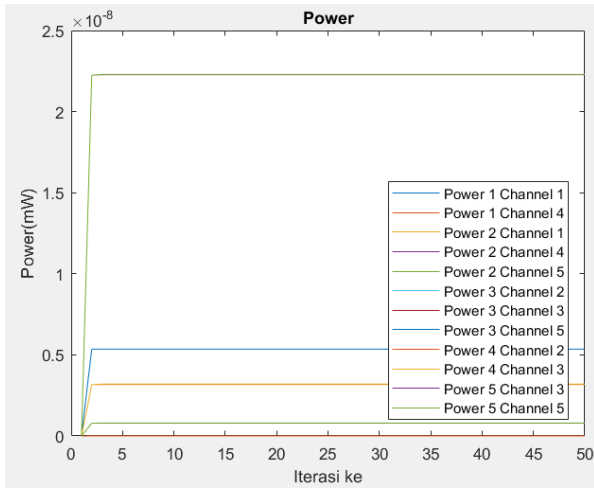
| User-Channel | SINR Target 6,8 dB |              | SINR Target 9,9 dB |              |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
|              | Iterasi Daya       | Iterasi SINR | Iterasi Daya       | Iterasi SINR |
| User 1 Ch 1  | 3                  | 3            | 3                  | 3            |
| User 1 Ch 4  | 3                  | 3            | 3                  | 3            |
| User 2 Ch 1  | 3                  | 3            | 3                  | 3            |
| User 2 Ch 4  | 3                  | 3            | 3                  | 3            |
| User 2 Ch 5  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 3 Ch 2  | 4                  | 3            | 4                  | 4            |
| User 3 Ch 3  | 5                  | 5            | 5                  | 5            |
| User 3 Ch 5  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 4 Ch 2  | 3                  | 3            | 4                  | 4            |
| User 4 Ch 3  | 5                  | 5            | 6                  | 6            |
| User 5 Ch 3  | 5                  | 5            | 6                  | 6            |
| User 5 Ch 5  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |



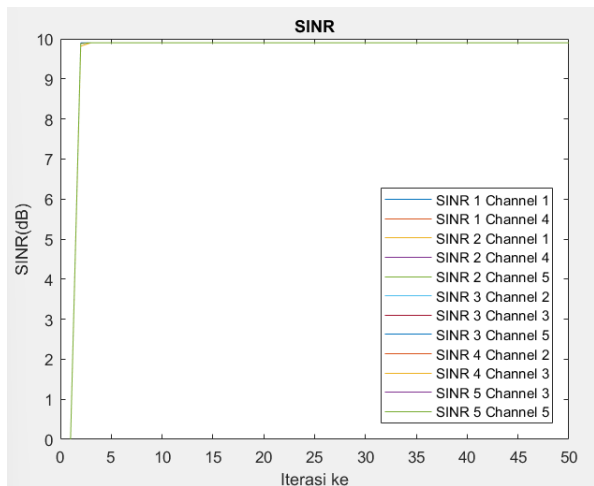
**Gambar 9. Iterasi power 5 user SINR target 6,8 dB**



**Gambar 10. Iterasi SINR pada 5 user SINR target 6,8 dB**



Gambar 11. Iterasi power 5 User SINR target 9,9 dB



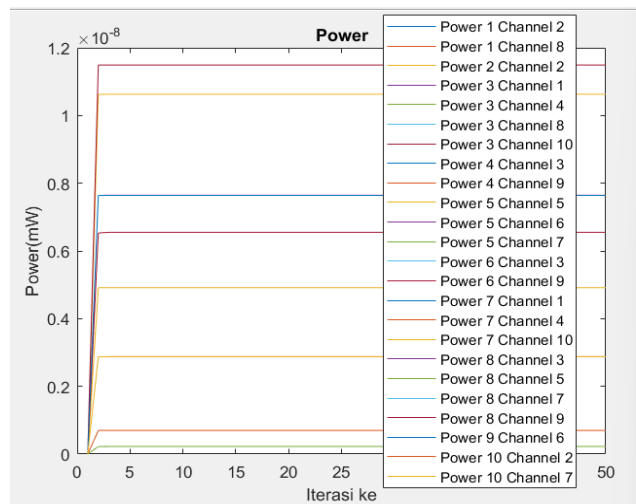
Gambar 12. Iterasi SINR pada 5 user SINR target 9,9 dB

Berdasarkan grafik hasil simulasi sistem tersebut menunjukkan bahwa pada skema 5 user baik saat SINR target 6,8 dB maupun 9,9 dB, semua user dapat mencapai konvergen. Daya yang didapatkan kurang dari batasan daya maksimum yang ditentukan. Selain itu setiap user juga dapat mencapai SINR target yang sudah ditentukan. Kondisi demikian dapat terjadi karena sistem yang diuji termasuk dalam sistem fisibel. Uji konvergensi daya dan SINR target juga dilakukan pada skema 10 user. Setelah dilakukan uji konvergensi dengan melakukan simulasi menggunakan *Matlab*, hasil iterasi uji konvergensi pada skema 10 user, baik untuk iterasi daya maupun SINR, ditunjukkan pada Tabel 4.

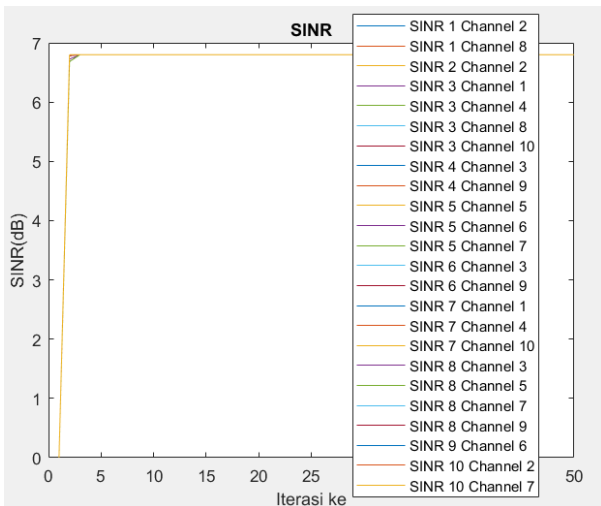
Tabel 4 menunjukkan daya dan SINR yang dapat mencapai konvergensi pada titik tertentu. Bila disimulasikan dengan *software Matlab* akan menampilkan grafik seperti pada Gambar 13 sampai Gambar 16.

Tabel 4. Iterasi daya dan SINR skema 10 User

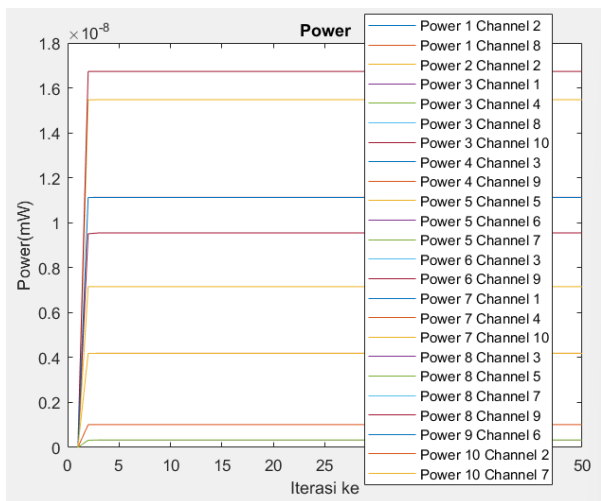
| User-Channel | SINR target 6,8 dB |              | SINR target 9,9 dB |              |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
|              | Iterasi daya       | Iterasi SINR | Iterasi daya       | Iterasi SINR |
| User 1 Ch 2  | 4                  | 4            | 5                  | 4            |
| User 1 Ch 8  | 5                  | 4            | 5                  | 5            |
| User 2 Ch 2  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 3 Ch 1  | 5                  | 4            | 5                  | 5            |
| User 3 Ch 4  | 5                  | 4            | 5                  | 5            |
| User 3 Ch 8  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 3 Ch 10 | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 4 Ch 3  | 5                  | 5            | 6                  | 5            |
| User 4 Ch 9  | 5                  | 5            | 6                  | 5            |
| User 5 Ch 5  | 5                  | 5            | 5                  | 5            |
| User 5 Ch 6  | 5                  | 5            | 5                  | 5            |
| User 5 Ch 7  | 5                  | 5            | 5                  | 5            |
| User 6 Ch 3  | 5                  | 5            | 6                  | 5            |
| User 6 Ch 9  | 5                  | 5            | 6                  | 5            |
| User 7 Ch 1  | 5                  | 4            | 5                  | 5            |
| User 7 Ch 4  | 5                  | 4            | 5                  | 5            |
| User 7 Ch 10 | 5                  | 5            | 5                  | 5            |
| User 8 Ch 3  | 5                  | 5            | 5                  | 5            |
| User 8 Ch 5  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 8 Ch 7  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 8 Ch 9  | 5                  | 5            | 5                  | 5            |
| User 9 Ch 6  | 4                  | 4            | 4                  | 4            |
| User 10 Ch 2 | 4                  | 4            | 5                  | 4            |
| User 10 Ch 7 | 4                  | 4            | 4                  | 4            |



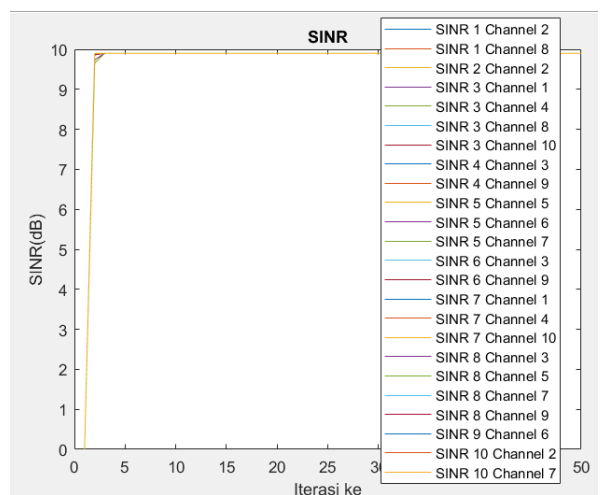
Gambar 13. Iterasi power pada skema 10 user dengan SINR target 6,8 dB



Gambar 14. Iterasi SINR pada skema 10 user dengan SINR target 6,8 dB



Gambar 15. Iterasi power pada skema 10 user dengan SINR target 9,9 dB



Gambar 16. Iterasi SINR pada skema 10 user dengan SINR target 9,9 dB

## IV. KESIMPULAN

Pada pengujian fisibilitas sistem jika posisi dan jumlah *user* tidak dibatasi dapat mengakibatkan sistem yang diuji tidak fisibel. Namun ketika jumlah user dan posisi *user* jaraknya telah dibatasi maka didapatkan sistem yang fisibel. Saat dilakukan uji fisibilitas sistem, pada sistem tidak fisibel akan menghasilkan bentuk grafik yang nilainya tidak konvergen atau bentuk grafiknya menghasilkan nilai yang tidak konsisten. Namun ketika jarak *user* telah dibatasi akan menghasilkan sistem yang fisibel dan hasil yang konvergen. Penggunaan *channel* dan nilai SINR target yang berbeda yakni 6,8 dB dan 9,9 dB juga akan mempengaruhi banyaknya iterasi untuk mendapatkan titik yang konvergen. Nilai daya *user* diukur saat kondisi sistem mencapai konvergen.

## REFERENSI

- [1] S. A. Saad, M. Ismail, and R. Nordin, "A Survey On Power Control Techniques In Femtocell Networks," *Journal of Communications*, vol. 8, no. 12, pp. 845–854, Dec. 2013.
- [2] B. Ibtissem, M. S. Obaidat, B. Fadoua, and F. Zarai, "Pendekatan Kontrol Daya di Jaringan Femto cell," *Jurnal Internasional Kounikasi Komputasi dan Rekayasa Data*, 2017.
- [3] R. Zulfalaily, A. Fahmi, and L. Meylani, "Interference Mitigation In Femtocel Network With Power And Bandwidth Assignment By Self-Configuration Scheme," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 3, 2016.
- [4] A. F. Isnawati, K. Rasyid, and M. A. Afandi, "Analisis Unjuk Kerja Sistem Kendali Daya Terpusat pada Jaringan Homogen Femtocell," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 6, no. 1, p. 15, Jun. 2021.
- [5] X. Kang, Y. C. Liang, and H. K. Garg, "Distributed Power Control For Spectrum-Sharing Femtocell Networks Using Stackelberg Game," in *IEEE International Conference on Communications*, 2011.
- [6] X. Li, L. Qian, and D. Kataria "Downlink Power Control in Co-Channel MacrocellFemtocell Overlay" IEEE, 2009.
- [7] F. X. A. W. Wibowo, "Ulasan Teknologi Dan Layanan Femtocell Technology And Femtocell Service Reviews," 2013.
- [8] D. T. Ngo, L. B. Le, and T. Le-Ngoc, "Distributed Pareto-Optimal Power Control For Utility Maximization In Femtocell Networks," *IEEE Trans Wirel Commun*, vol. 11, no. 10, pp. 3434–3446, 2012.
- [9] J. Zhang and G. de la Roche, *Femtocells: Technologies and Deployment*. Wiley Blackwell, 2009.

- [10] R. Aljijakli and K. Abdullah, "Cross-Tier Interference Avoidance Technique for LTE-A Femtocell Networks Using Fractional Frequency Reuse," in 2020 IEEE 5th International Symposium on Telecommunication Technologies, ISTT 2020 - Proceedings, Nov. 2020, pp. 117–122.
- [11] D. Anand, M. A. Togou, and G. M. Muntean, "A Machine Learning Solution to Mitigate Co-Tier Interference and Improve QoE for Video Delivery in 5G HetNets," in *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, BMSB*, 2022, vol. 2022-June.
- [12] S. Padmapriya and M. Tamilarasi, "Co-Tier And Co-Channel Interference Avoidance Algorithm For Femtocell Networks," *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 9, 2015.
- [13] S. Im, H. Jeon, and H. Lee, "Autonomous Distributed Power Control for Cognitive Radio Networks", *IEEE*, 2008.
- [14] H. Zhang and J. Zuo, *Optimization of Uplink Power Control Parameters in Wireless Cellular Networks*. 2020.
- [15] R. Nikbakht, R. Mosayebi, and A. Lozano, "Uplink Fractional Power Control and Downlink Power Allocation for Cell-Free Networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 9, no. 6, pp. 774–777, Jun. 2020..
- [16] Iskandar, S. Gratsia, and M.E. Ernawan, "LTE Uplink Cellular Capacity Analysis in A High Altitude Platforms (HAPS) Communication". *IEEE*, 2017.
- [17] S. A. Grandhi and J. Zander, "Constrained Power Control in Cellular Radio Systems," 2014.
- [18] A. F. Isnawati, R. Hidayat, and W. Mustika, "A Comparative Study on Centralized and Distributed Power Control in Cognitive Femtocell Network" 2016.
- [19] A. F. Isnawati, R. H. S. Sulistyono, and I. W. Mustika, "Autonomous Distributed Power Control In Multi-Channel Cognitive Femtocell Network: Feasibility And Convergence," *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 136–145, Apr. 2017.
- [20] A. F. Isnawati and M. A. Afandi, "Game Theoretical Power Control in Heterogeneous Network," in *2021 9th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2021*, Aug. 2021, pp. 149–154.
- [21] A. F. Isnawati, "Feasibility Analysis of Distributed Power Control System for Cognitive Radio Networks," *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 11, no. 1, pp. 29–35, Mar. 2022.
- [22] W. Pamungkas, A. F. Isnawati, and A. Kurniawan, "Modulasi Digital Menggunakan Matlab," 2012.
- [23] A. Y. Prasetya, Suwadi, and T. Suryani, "Implementasi Modulasi dan Demodulasi M-ary QAM pada DSK TMS320C6416T," *JURNAL TEKNIK POMITS*, Vol. 2, 2013.
- [24] Y. Prabowo, N. Chasanah, R. C. Anwar, A. Rohman, and A. Ruhayat, "Analisa Bit Error Rate (BER) pada Penggunaan Modulasi Digital PSK dan QAM untuk Sistem Komunikasi Satelit UAV," 2020.
- [25] N. Nie, C. Comaniciu, and P. Agrawal, "A Game Theoretic Approach To Interference Management In Cognitive Networks." 2007.