

Analisis Unjuk Kerja Sistem Kendali Daya Terpusat pada Jaringan Homogen *Femtocell*

Anggun Fitrian Isnawati[#], Khulqi Rasyid, Mas Aly Afandi

Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Jl. D. I. Pandjaitan No. 128 Purwokerto, Indonesia
[#]anggun@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Sistem kendali daya sangat berkaitan dengan masalah interferensi antar *user* pada jaringan homogen *femtocell*. Kendali daya juga dapat menjaga baterai perangkat supaya hemat dalam penggunaan daya. Bentuk kendali daya terpusat (*centralized power control* atau disingkat CPC) digunakan dalam penelitian ini dengan analisis unjuk kerja berdasarkan metode penyelesaian menggunakan algoritma solusi yang layak (*feasible solution*). Dengan menguji kelayakan nilai vektor daya, solusi yang layak dapat dicapai jika *user* mempunyai nilai daya non-negatif (*non-negative power vector*), yang berarti bahwa SINR target dapat tercapai dan sistem dapat diterapkan. Studi ini difokuskan pada *single channel* dan *multi-channel* yang diterapkan pada *multi-user*. Hasilnya menunjukkan bahwa saat kondisi sistem tersebut *feasible* maka semua daya *user* bernilai positif dan semua *user* mampu mencapai *signal to noise ratio* (SINR) target yang ditentukan yakni 13 dB untuk skema 5 *user* dan 9,5 dB untuk skema 10 *user*. Pada kondisi *infeasible*, daya *user* pada *power vector* ada yang bernilai negatif dan beberapa *user* tidak mencapai SINR target. Pada penggunaan *channel* bersama, penambahan *user* akan menurunkan SINR yang diterima *user*. Semakin kecil ukuran *user group* maka semakin tinggi SINR yang dapat dicapai. Hal ini dikarenakan interferensi antar *user* yang semakin kecil.

Kata kunci: *feasible solution*, interferensi, *centralized power control*, *non-negative power vector*, SINR

Abstract

The power control system is closely related to the interference problem between users on a homogeneous femtocell network. Power control can also keep the device battery in order to save on power usage. The form of centralized power control or abbreviated as CPC is used in this study with a performance analysis based on the solution method using a feasible solution algorithm. By testing the feasibility of the power vector value, a viable solution can be reached if the user has a non-negative power vector value, which means that the target SINR can be achieved and the system can be implemented. This study is focused on single channel and multi-channel which is applied to multi-users. The results show that when the system condition is feasible, all user power is positive and all users are able to achieve the specified target signal to noise ratio (SINR), namely 13 dB for the 5 user scheme and 9.5 dB for the 10 user scheme. In infeasible conditions, the user power on the power vector is negative and some users do not reach the target SINR. When using a shared channel, adding users will decrease the SINR received by the user. The smaller the user group size, the higher the SINR that can be achieved. This is because the interference between users is getting smaller.

Keywords: *feasible solution*, *interference*, *centralized power control*, *non-negative power vector*, SINR

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat berdampak pada penggunaan spektrum frekuensi yang semakin padat. Teknologi radio kognitif (*cognitive radio*, CR) telah berkembang untuk mengurangi kepadatan penggunaan spektrum dengan memberdayakan spektrum yang tidak digunakan oleh *user* berlisensi (*user* utama) [1], [2]. Kemampuan teknologi radio kognitif tidak hanya dalam proses penginderaan frekuensi tetapi juga dalam pengaturan parameter

seperti tingkat daya pancar, spektrum frekuensi dan *bandwidth*, jenis dan level modulasi, *beamforming*, dan lain-lain [2], [3]. Implementasi teknologi radio kognitif salah satunya terdapat pada *user* di jaringan *femtocell*. Teknologi *femtocell* juga memiliki keunggulan dalam hal mengatasi kelangkaan frekuensi spektrum. Teknologi ini dapat berbagi spektrum dengan jaringan *macrocell*, tetapi tetap dapat menghindari interferensi di antara pengguna *femtocell* atau antara pengguna *femtocell* dan pengguna *macrocell* [4]. Terinspirasi oleh teknologi

radio kognitif yang memungkinkan sumber daya frekuensi berbagi *femtocell* untuk *macrocell* dan beradaptasi secara independen dengan lingkungan nirkabel untuk mencapai kinerja jaringan yang optimal, maka munculah konsep *Cognitive Femtocell Networks* (CFN) [5]. CFN menyediakan implementasi praktis radio kognitif dengan memasukkan teknologi jaringan radio kognitif (*cognitive radio network*, CRN) ke jaringan *femtocell* [6].

Tujuan dari algoritma kendali daya adalah untuk menjaga nilai daya pancar agar tetap pada kondisi minimum sinyal yang diterima sehingga dapat mencapai target kualitas layanan pada sistem komunikasi, seperti *bit error rate*, *data rate*, *packet delay*, dan *outage probability*. Kendali daya diperlukan pada jaringan terpusat atau terdesentralisasi. Berdasarkan [7] kendali daya terpusat adalah dasar dari kendali daya pada komunikasi seluler. Kendali daya terpusat merupakan aplikasi praktis yang sangat terbatas tetapi dapat digunakan sebagai referensi jika dibandingkan dengan algoritma kendali daya terdistribusi (*Distributed Power Control*, DPC) [8]. Lebih lanjut, DPC dapat dilakukan dengan menggunakan metode teori permainan dan kondisi konvergensi dapat dilakukan berdasarkan algoritma iteratif kendali daya yang diturunkan dari fungsi utilitas, yaitu nilai diferensial dari fungsi utilitas terhadap fungsi pemancar daya [9]-[11].

Pentingnya uji kelayakan adalah untuk menunjukkan bahwa SINR yang dibutuhkan dapat dicapai oleh semua *user*. Jika daya yang dihasilkan negatif, maka dipastikan ada masalah kendali daya yang tidak layak [8]. Dengan demikian parameter harus disesuaikan kembali. Uji kelayakan dilakukan baik pada jaringan terpusat maupun jaringan terdistribusi. Penelitian tentang kendali daya terdistribusi telah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya seperti pada [7], [12], dan [13]. Yang membedakan kedua jenis kendali daya tersebut adalah bahwa uji kelayakan sistem terdistribusi menggunakan iterasi dan harus memenuhi tiga syarat yaitu positivitas, monotonisitas, dan skalabilitas [13].

Pada jaringan *femtocell*, *femto access point* (FAP) dipasang secara *ad-hoc* terkadang tanpa perencanaan yang tepat oleh operator jaringan atau pemilik *femtocell*. Dalam kasus penyebaran *femtocell* yang sangat padat, diperlukan teknik kendali daya yang memadai, yang dapat mengatasi sifat *ad-hoc* *femtocell* dan memberikan kualitas layanan bagi *user femtocell* [14]. Dalam jaringan *femtocell Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* (OFDMA), studi tentang kendali daya juga dibedakan dengan penggunaan saluran, yaitu

saluran tunggal atau saluran ganda, di mana setiap pengguna dapat mengalokasikan daya pancar melalui beberapa pita frekuensi [15]. Dalam masalah OFDMA *femtocell*, itu tergantung pada alokasi *subchannel*. Pada *Long Term Evolution* (LTE) *femtocell*, sub-saluran dikenal sebagai *Resource Blocks* (RB). Jika RB habis di *femtocell*, *femtocell* akan menggunakan sub-saluran lain [16] dan jika di antara pengguna menggunakan sub-saluran yang berbeda, gangguan akan dihindari [17]. Uji kelayakan *user* pada jaringan homogen *femtocell* tidak hanya dilakukan pada kondisi *multi-user* dengan *single-channel*, tetapi juga dilakukan pada kondisi *multi-user* dengan menggunakan *multi-channel* yang akan dibagi menjadi beberapa *user group*.

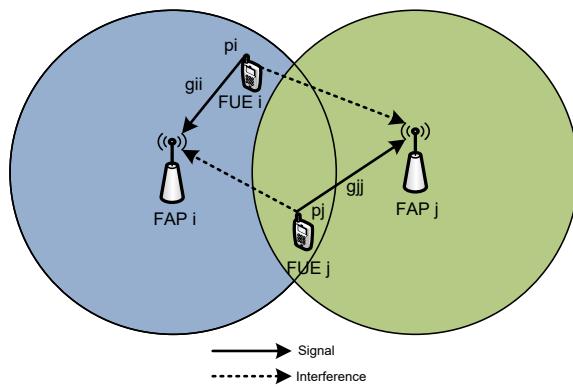
Dalam penelitian ini diteliti algoritma kendali daya terpusat dengan menggunakan *single-channel* dan *multi-channel* dalam jaringan homogen *femtocell*. Sebagai langkah awal, yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah topologi jaringannya dan dalam penelitian ini dicontohkan topologi jaringan *ad-hoc*. Jaringan *ad-hoc* disini diasumsikan sebagai pasangan *transmitter-receiver* (Tx-Rx) berupa pasangan *femto user equipment* (FUE) dan *femto access point* (FAP) pada *femtocell* yang berada dalam satu jaringan *macrocell*. Kemudian dilakukan uji kelayakan dengan menghasilkan daya pancar yang mampu membuat user memperoleh SINR yang melebihi SINR target yang ditentukan.

II. METODE PENELITIAN

A. Pemodelan Sistem

Model sistem yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada jaringan *ad-hoc*. Ini terdiri dari beberapa pasang FUE atau *user femto* sebagai *transmitter* dan FAP sebagai *receiver* untuk setiap *node* pada jaringan *femtocell* seperti diilustrasikan pada Gambar 1.

Pada penelitian ini digunakan 10 pasangan Tx-Rx yang dalam hal ini disebut 10 *user* dengan SINR target yang lebih rendah 9,5 dB dan digunakan 5 *user* untuk target SINR yang lebih tinggi 13 dB. Penggunaan kedua skenario tersebut dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh *channel* secara simultan terkait dengan jumlah *user* pada *channel* tersebut dan juga SINR target yang dapat dicapai oleh kelompok *user*. Skenario satu menunjukkan jumlah *user* yang lebih banyak yakni 10 *user* dalam penggunaan *channel* bersama atau dengan kata lain kelompok tersebut memiliki ukuran yang lebih besar dari skenario dua dengan 5 *user* pada *channel* yang sama.

Gambar 1. Model sistem jaringan homogen *femtocell*

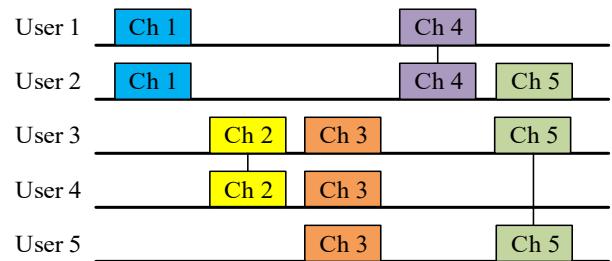
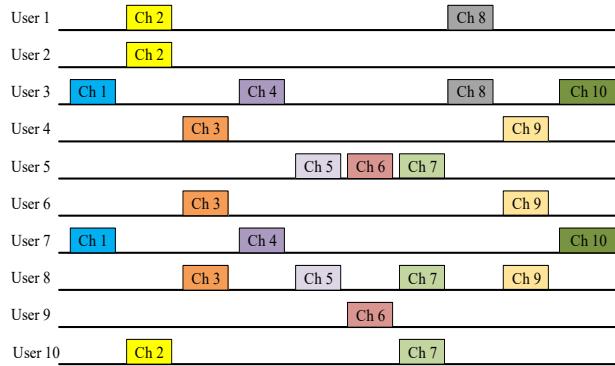
Dalam model sistem ini, *user* tersebar secara acak berdasarkan jarak *user* yang diatur oleh konfigurasi jaringan *femtocell* dalam cakupan *macrocell*. Karena penelitian ini difokuskan pada jaringan *femtocell*, maka skema kendali daya ditujukan untuk *user* sekunder. Jika kondisi ini belum layak untuk dicapai, dengan kata lain jika memiliki daya pancar yang maksimal namun masih belum mencapai SINR target (*infeasible solution*), maka penurunan ambang SINR target adalah suatu keharusan agar SINR target tercapai oleh semua *user*.

Ada pasangan pemancar dan penerima *user* kognitif dalam model sistem di Gambar 1. Garis solid mewakili *link* komunikasi, sedangkan garis putus-putus menunjukkan *link* interferensi. *Link gain* untuk *user* ke-*i* antara *user* pemancar ke-*i* (Tx) dan *user* penerima ke-*i* (Rx) dilambangkan dengan g_{ii} . Keuntungan dari *user* ke-*j* pada *link* antara *user* Tx ke-*j* dan *user* Rx ke-*i* dilambangkan dengan g_{ij} . Sebagai penyederhanaan notasi, diasumsikan interferensi dari *user* kognitif dan *noise* adalah sama dan dilambangkan dengan σ_0 . Misalkan p_i adalah kekuatan transmisi pemancar ke-*i* *user* dan p_j adalah kekuatan *user* lain. Oleh karena itu, SINR *user* ke-*i* yang diharapkan yakni γ_i dapat didefinisikan sebagai berikut [1].

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

dengan σ_0 adalah rata-rata level *noise* dan bernilai sama untuk semua *user*.

Penggunaan beberapa *channel* oleh setiap *user* pada jaringan *femtocell* dapat dianalogikan dengan penggunaan RB pada teknologi OFDMA. Hal tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Gambar 2 menunjukkan model alokasi *user* dan *channel* pada skema 5 *user*, sedangkan Gambar 3 menunjukkan model alokasi *user* dan *channel* pada skema 10 *user*.

Gambar 2. Model sistem alokasi *user* dan *channel* pada skema 5 *user*Gambar 3. Model sistem alokasi *user* dan *channel* pada skema 10 *user*

Pada Gambar 2, setiap *user* dapat menggunakan beberapa *channel* (*multi-channel*) dan setiap *channel* dapat digunakan oleh beberapa *user* (*multi-user*). Misalnya, dua *user* di sini (*user* 1 dan *user* 2) menggunakan *channel* yang sama yaitu *channel* 1 pada waktu yang sama. *User* 3 dan *user* 4 menggunakan dua *channel* yang sama yakni *channel* 2 dan *channel* 3. Hal ini untuk menunjukkan efek penggunaan beberapa *channel* secara bersamaan. Dalam banyak kasus, khususnya pada teknologi OFDMA yang menggunakan RB, skema *multi-user multi-channel* dapat diimplementasikan dengan berbagai cara. Penggunaan *channel* yang sama dalam skema *multi-user* dapat menyebabkan interferensi antar *user*.

B. Femtocell

Femtocell adalah salah satu teknologi mikro *Base Transceiver Station* (BTS) yang menggunakan level daya rendah, menggunakan frekuensi resmi seperti yang digunakan jaringan seluler, dikoneksikan dengan *backhaul* jaringan internet, digunakan untuk memperluas cakupan dan meningkatkan kapasitas, dan pemasangannya secara auto konfigurasi. *Femtocell* merupakan salah satu metode atau konsep sel dalam seluler yang dikembangkan dalam cakupan yang kecil untuk membantu kontinuitas konektivitas pengguna

Tabel 1. Standar parameter *femtocell* [3]

Parameter	Nilai
Standar	3GPP, 3GPP2
Frekuensi	1,9 – 2,6 GHz
Daya	10 – 100 mW
Backhaul	IP Network
Cakupan	20 – 30 m
Layanan	Suara dan data

seluler untuk tetap dapat berkomunikasi khususnya pengguna yang berada di dalam ruangan [2]. Adapun standar parameter dari *femtocell* disajikan pada Tabel 1.

C. Sistem Kendali Daya Terpusat

Setiap perangkat telekomunikasi membutuhkan daya supaya perangkat hidup dan dapat melakukan proses telekomunikasi, dalam hal ini memancarkan daya untuk mengirim sinyal yang berisi data/informasi. Perangkat telekomunikasi yang membutuhkan sistem kendali daya (*power control*) dapat berupa telepon seluler, laptop, atau perangkat *mobile* lainnya.

Power control mengacu pada pengaturan tingkat daya *output* pemancar, berupa BTS pada arah *downlink* dan *mobile station* pada arah *uplink* dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas sistem, cakupan dan kualitas *user* (*data rate*), dan untuk mengurangi konsumsi daya. Untuk mencapai tujuan ini, mekanisme kendali daya biasanya bertujuan memaksimalkan daya yang diterima dari sinyal yang diinginkan dengan membatasi interferensi yang ditimbulkan.

Sistem kendali daya terpusat atau *centralized power control* (CPC) membutuhkan kendali dari pusat dan juga informasi global dari semua *link gain*. Kendali daya terpusat dapat mencapai kinerja yang lebih baik daripada dengan kendali daya terdistribusi atau *distributed power control* (DPC). Algoritma terpusat dapat secara efisien mencapai solusi optimal dengan biaya komunikasi rendah dan komputasi yang sederhana hanya saat sistem tersebut kecil.

Dalam penelitian ini, kendali daya yang diamati adalah pada komunikasi arah *uplink* (*uplink power control*) sehingga proses kendali dayanya dilakukan dengan cara mengatur daya pancar *user* supaya interferensi dapat diminimalisasi. Hal ini dikarenakan level interferensi yang tinggi dapat membatasi area cakupan *uplink* jika daya *user* menjadi sumber interferensi tersebut tidak dikontrol.

D. Feasible Solution

Pada *physical layer*, kendali daya dapat mengurangi interferensi dan jika sistem tersebut layak (*feasible*), SINR pada semua *user* mampu

memenuhi SINR target yang ditentukan. *User* dapat menyesuaikan level daya transmisi melalui kendali daya untuk memastikan bahwa semua *user* yang berbagi *channel* yang sama dapat memenuhi persyaratan SINR target ke penerima yang dituju.

Untuk *user* yang berbagi *channel* frekuensi yang sama, daya transmisi akan mempengaruhi kualitas *link* dan *noise* temperatur di *channel* tertentu. Oleh karena itu, tujuan dari kendali daya adalah untuk menyesuaikan daya transmisi semua *user* dalam meningkatkan kualitas *link* yang memungkinkan user group untuk mengirimkan data melalui channel yang sama untuk memenuhi target *Bit Error Rate* (BER) tertentu.

Jika diberikan SINR target γ^* , untuk solusi yang layak (*feasible solution*) dengan *user* N maka perlu memenuhi persyaratan vektor daya non-negatif (*non negative power vector*) yakni P^* yang dapat diperoleh sebagai berikut [18].

$$P^* = (I - H)^{-1}\eta \quad (2)$$

dimana $H = (h_{ij})$ adalah matriks *link gain* ternormalisasi yang memenuhi persamaan berikut.

$$h_{ij} = \gamma^* \frac{g_{ij}}{g_{ii}} \text{ untuk } i \neq j; h_{ij} = 0 \text{ untuk } i = j \quad (3)$$

dan $\eta = (\eta_i)$ vektor *noise* ternormalisasi yang memenuhi persamaan berikut.

$$\eta_i = \gamma^* \frac{\sigma}{g_{ii}} \quad (4)$$

E. Power Vector

Vektor daya untuk *user group* ke- k dapat dibentuk berdasarkan [1] dengan $k_i = 1, 2, \dots, K$ menentukan *channel* transmisi yang dipilih oleh *user* i , $i \in N$, yakni

$$P_k^* = (I - H_k)^{-1}\eta_k \text{ untuk } k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

Notasi P_k^* adalah vektor daya untuk *user group* ke- k . Jumlah elemen P_k^* sama dengan jumlah *user* yang ditransmisikan menggunakan *channel* yang sama. $H_k = (h_{ij})$ adalah matriks *link gain* ternormalisasi pada channel ke- k yang memenuhi persamaan berikut [1].

$$H_k = (h_{ij}) \text{ untuk } s_i = k, s_j = k \text{ dan } i \neq j \quad (6)$$

dengan $\eta_k = (\eta_i)$ adalah vektor *noise* ternormalisasi untuk $s_i = k$.

Untuk *feasible solution*, daya pancar harus memenuhi persamaan berikut [1].

Tabel 2. Jenis modulasi pada modulasi adaptif berdasarkan kebutuhan SINR [1]

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

$$P_k^*(i) > 0, \quad i \in N_k \quad (7)$$

Feasible solution dalam *user group* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (5) menggambarkan vektor daya dalam *user group* ke- k menggunakan *channel* k_i . Persamaan ini akan dikembangkan untuk mendapatkan *feasible solution* pada *channel group*, seperti yang ditunjukkan berikut ini [1].

$$P(i) = \sum_{k=1}^K P_k(i) = \sum_{k=1}^K \left(\left(I - H_k(i) \cdot \delta_{k_i k_j} \right)^{-1} \cdot \eta_k(i) \right) \quad (8)$$

untuk jumlah user $i \leq N$, dengan K adalah jumlah total *channel*, k adalah nomor *channel*, dan $\delta_{k_i k_j}$ digunakan untuk menunjukkan apakah dua *user* tersebut menggunakan *channel* yang sama atau tidak. Jika nilai indeks i dan j sama, atau dengan kata lain kedua *user* menggunakan *channel* yang sama, $k_i = k_j$, maka $\delta_{k_i k_j} = 1$. Jika kedua *user* tidak menggunakan *channel* yang sama, $k_i \neq k_j$, maka $\delta_{k_i k_j} = 0$.

F. Bit Error Ratio (BER)

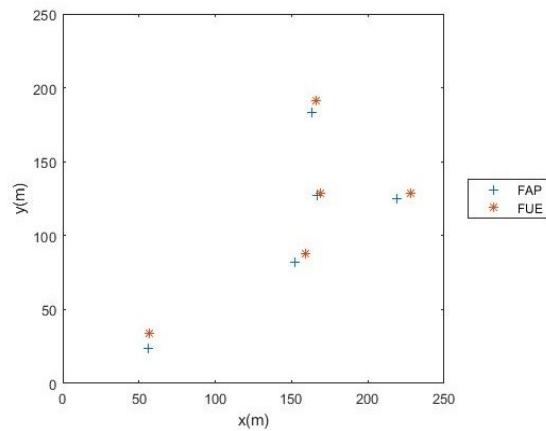
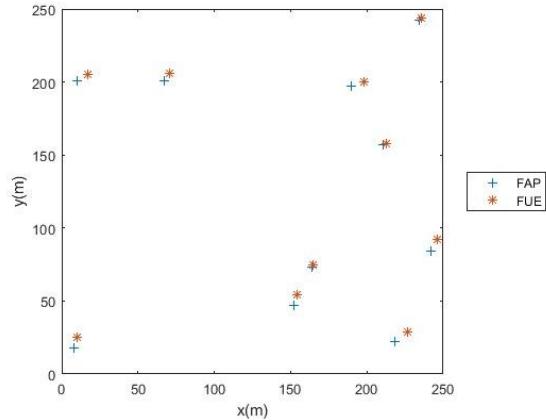
Kualitas tautan transmisi dapat dicirikan oleh BER target yang diperlukan dan spesifik untuk aplikasi tertentu. Sebuah persyaratan SINR target yang setara dapat ditentukan berdasarkan jenis modulasi yang dipilih saat menggunakan skema modulasi adaptif.

Persyaratan BER yang dipilih untuk simulasi adalah 10^{-3} dan diasumsikan menggunakan skema modulasi adaptif berdasarkan keenam jenis modulasi yakni Bit Phase Shift Keying (BPSK), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), 16 Quadrature Amplitude Modulation (QAM), 64 QAM, 256 QAM, dan 1024 QAM. Tabel 2 menunjukkan jenis modulasi dan persyaratan SINR target yang digunakan untuk simulasi [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis User

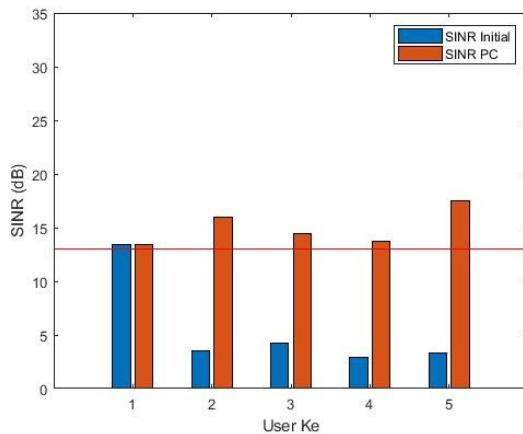
User pada pemodelan *centralized power control* (CPC) ini merupakan *user femto* pada topologi

**Gambar 4. Topologi jaringan dengan 5 user****Gambar 5. Topologi jaringan dengan 10 user**

jaringan homogen *femtocell* yang menggunakan *multi-channel*. Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan topologi jaringan *femtocell* dengan 5 *user* dan 10 *user*. Pada topologi tersebut *user* memiliki masing-masing pasangan *user femto* yang disebar secara acak. Tiap pasangan *user femto* memiliki jarak yang berbeda-beda. Penggunaan dua skema *user* yakni 5 *user* seperti pada Gambar 4 dan *user* 10 seperti pada Gambar 5 dimaksudkan untuk mengetahui efek dari penambahan jumlah *user* terhadap sistem yang menggunakan *channel* bersama.

B. Pengujian Feasibility pada Centralized Power Control

Pengujian *feasibility* dilakukan untuk memastikan bahwa sistem tersebut *feasible* (dapat terwujud) berdasarkan nilai *power vector* yang *non-negative*, yang berarti sistem tersebut memenuhi persyaratan kendali daya. Untuk sebuah sistem yang *feasible*, *power control* selain dapat mengurangi interferensi juga dimaksudkan supaya SINR pada semua *user* dapat memenuhi SINR yang ditentukan. Untuk *user* yang menggunakan *channel* frekuensi yang sama, daya transmisi akan mempengaruhi kualitas *link* pada *channel* tersebut. Daya pada *user* dapat disesuaikan level daya

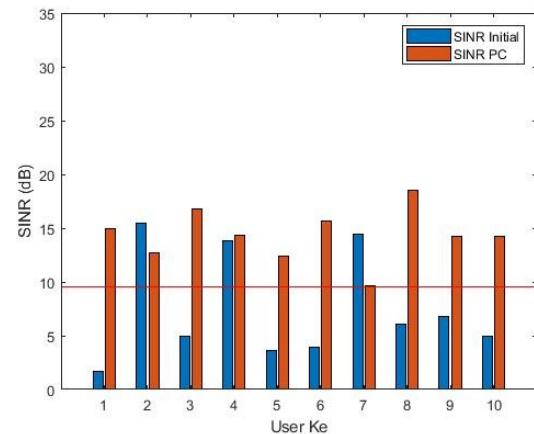


Gambar 6. SINR user sebelum dan sesudah power control dengan 5 user

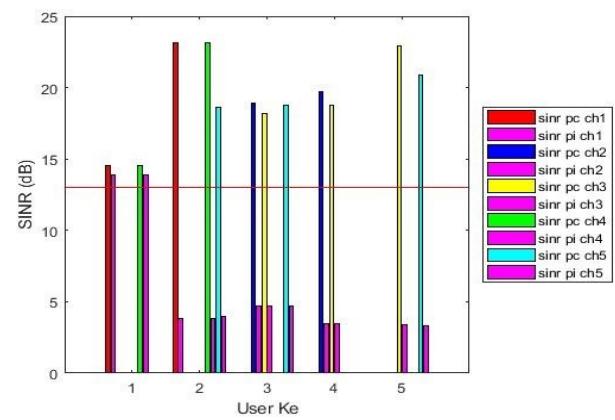
transmisi agar tiap *user* tidak menggunakan daya yang berlebihan, yang menyebabkan banyak mengkonsumsi baterai pada perangkat *user*. Penyesuaian level daya melalui kendali daya terpusat untuk memastikan bahwa semua *user* yang berbagi *channel* yang sama mampu memenuhi persyaratan SINR target.

Pada skenario *single-channel centralized power control* disediakan satu *channel* yang digunakan secara bersamaan oleh beberapa *user*, yakni skema 5 *user* dan skema 10 *user*. Kedua skema tersebut menampilkan kondisi SINR yang dicapai oleh *user* saat sebelum menggunakan *power control* atau dikenal dengan menggunakan daya awal (*power initial*) dan SINR yang dicapai oleh *user* setelah menggunakan metode *power control*. Gambar 6 menunjukkan bahwa untuk kondisi sebelum menggunakan metode *power control*, hanya terdapat satu *user* yang memenuhi SINR target yakni *user-1*, tetapi masih terdapat beberapa *user* yakni *user-2*, *user-3*, *user-4*, dan *user-5* yang belum memenuhi SINR target sebesar 13 dB. Untuk kondisi penggunaan daya setelah menggunakan metode *power control (feasible solution)*, diperoleh hasil bahwa semua *user* mampu memenuhi SINR target. Begitu juga dengan kondisi yang ditunjukkan oleh Gambar 7 dengan skema 10 *user* yang menunjukkan kondisi SINR target yang tidak tercapai oleh seluruh *user* saat menggunakan daya *initial* (sebelum menggunakan metode *power control*). Akan tetapi saat menggunakan daya dari hasil *power control*, maka SINR target dapat tercapai untuk semua *user*.

Performansi *user* akan sangat dipengaruhi oleh banyaknya *user* dalam penggunaan *channel* bersama. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan SINR target dengan menggunakan 5 *user* dan menggunakan 10 *user*. Dari Gambar 6 tersebut dapat ditunjukkan pada saat terdapat 5 *user* maka SINR target yang mampu dicapai pada kisaran 13



Gambar 7. SINR user sebelum dan sesudah power control dengan 10 user



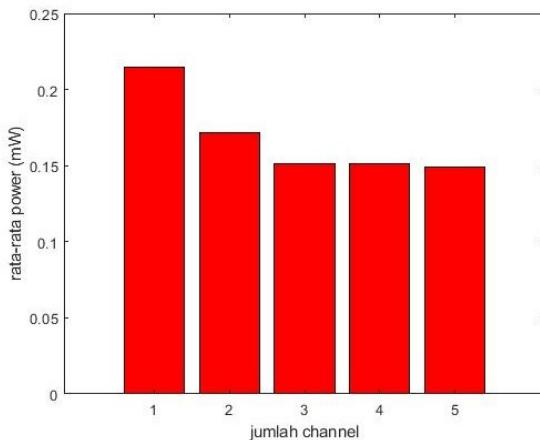
Gambar 8. SINR channel group

dB, sedangkan pada Gambar 7 saat *user* yang menggunakan satu *channel* secara bersamaan berjumlah 10 *user* maka SINR target yang mampu dicapai menurun pada kisaran nilai 9,5 dB. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak *user* yang menggunakan *channel* secara bersamaan maka semakin kecil SINR target yang mampu dicapai.

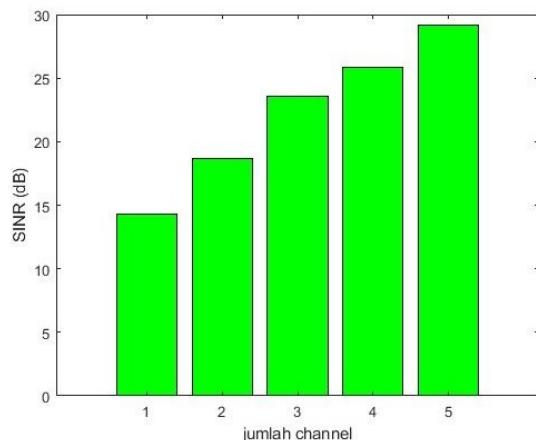
Gambar 8 menunjukkan bahwa pada *channel group*, *user* dapat menggunakan lebih dari satu *channel*, seperti yang dicontohkan pada *user-1*, *user-4*, *user-5* yang menggunakan 2 *channel*, *user-2* dan *user-3* yang menggunakan 3 *channel*. Dengan menambahkan *channel* yang dialokasikan untuk *user*, SINR yang dicapai oleh *user* dapat lebih tinggi. Pada gambar juga menunjukkan bahwa SINR setiap *channel* akan bervariasi. Semakin banyak *user* menggunakan *channel*, semakin besar SINR total yang dimiliki oleh *user* tersebut sehingga semakin banyak data yang ditransmisikan.

C. Unjuk Kerja Sistem Kendali Daya Terpusat

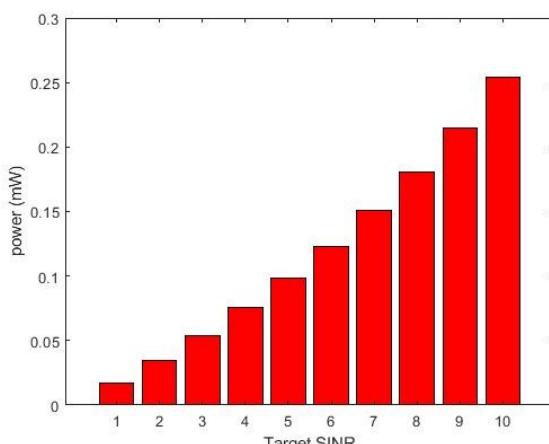
Rata-rata daya *user* semakin turun dengan bertambahnya jumlah *channel* yang diberikan. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, nilai



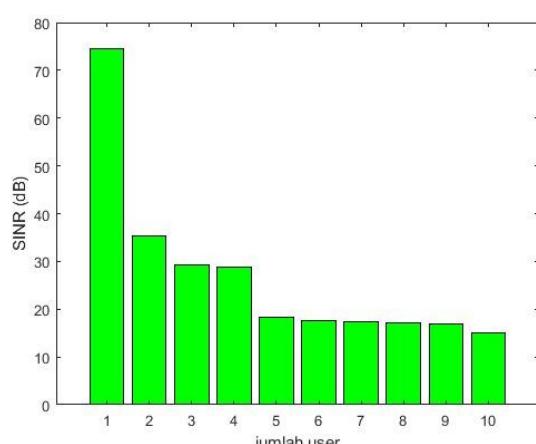
Gambar 9. Rata-rata daya saat jumlah channel berubah



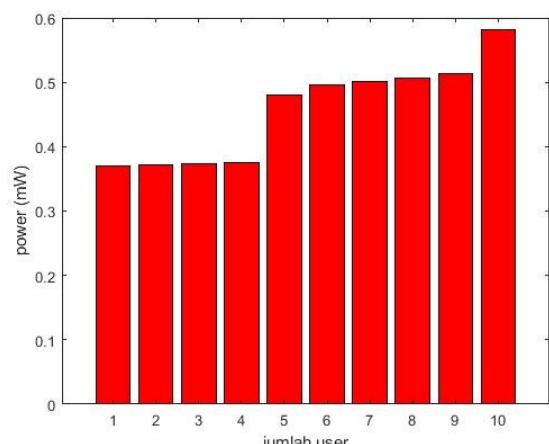
Gambar 12. SINR saat jumlah *channel* berubah



Gambar 10. Daya user saat SINR target berubah



Gambar 13. SINR saat jumlah *user per channel* berubah



Gambar 11. Daya user ketika jumlah *user per channel* berubah

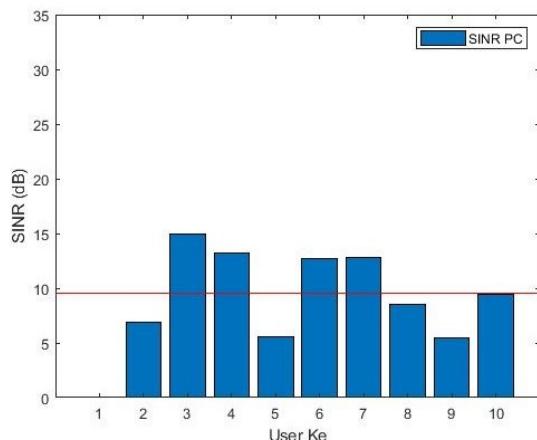
daya saat 10 *user* menggunakan 1 *channel*, 2 *channel*, 3 *channel*, 4 *channel*, dan 5 *channel* berturut turut adalah 0,215 mW, 0,172 mW, 0,151 mW, 0,151 mW, dan 0,149 mW. Akan tetapi daya *user* akan naik seiring dengan meningkatnya SINR target yang diberikan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 10, saat SINR target meningkat maka daya pada user juga akan meningkat.

Gambar 11 menunjukkan *power user* semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah *user* pada tiap *channel*. Sebaliknya, semakin sedikit jumlah *user* yang menggunakan *channel* tersebut, maka semakin kecil daya yang dibutuhkan.

Pada Gambar 12 ditunjukkan bahwa SINR tiap *user* akan naik seiring dengan penambahan jumlah *channel*. Bisa dilihat pada saat *user* menggunakan 1 *channel* SINR yang didapat sekitar 14 dB, sedangkan saat *user* menggunakan 5 *channel*, nilai SINR meningkat menjadi 28 dB. Semakin banyak jumlah *user* dalam satu kelompok *channel* maka akan semakin kecil nilai SINR yang diperoleh *user* dalam kelompok tersebut. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 13, semakin sedikit jumlah *user* yang menggunakan *channel* tersebut, semakin besar nilai SINR yang didapat.

D. Kondisi Infeasible

Apabila jarak antar *user* semakin jauh dan SINR target yang diberikan dinaikkan, maka dapat mengakibatkan kondisi *feasible solution* tersebut menjadi tidak tercapai (kondisi *infeasible*). Hal ini



Gambar 14. Hasil SINR sistem yang *infeasible*

dibuktikan dengan tidak tercapainya kondisi *non-negative power vector*, yang artinya bahwa terdapat komponen daya dalam *power vector* yang bernilai negatif. Dalam penelitian ini dicobakan pada skema 10 *user* dengan hasil *power vector* kondisi *infeasible* sebagai berikut

$$P = \begin{bmatrix} 0,201731144257686 \\ -2,25836220618696 \\ -0,461443645808495 \\ 0,953086354009752 \\ 2,41395221274364 \\ 5,07202550599313 \\ -4,42816380552456 \\ -3,45366515756615 \\ -1,63493689559177 \\ -1,71600108264358 \end{bmatrix} \text{ mW}$$

Efek dari kondisi *infeasible* tersebut adalah SINR yang diperoleh *user* tidak seluruhnya mencapai SINR target yang ditentukan. Gambar 14 merupakan hasil SINR pada sistem yang *infeasible*, dimana sistem tersebut menggunakan SINR target sebesar 9,5 dB. Sistem tersebut dikatakan *infeasible* karena ada beberapa *user* yang tidak dapat memenuhi SINR target yaitu SINR untuk *user-1*, *user-2*, *user-5*, *user-8*, dan *user-9*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa saat kondisi sistem *feasible* maka semua daya *user* akan memenuhi kondisi *non-negative power vector* sehingga semua *user* mampu mencapai SINR target yang ditentukan. Hasil simulasi juga menunjukkan kondisi yang tidak *feasible* (*infeasible*) yang diakibatkan karena jarak *user* terlalu jauh, SINR target yang terlalu besar, atau jumlah *user* yang menggunakan *channel* bersama terlalu banyak. Selain itu dari hasil juga ditunjukkan bahwa penggunaan teknik kendali daya

terpusat dapat meminimalisasi interferensi dengan mengurangi daya pada masing-masing *user* dengan tetap menjaga SINR yang dicapai. Semakin banyak *user* yang memakai *channel* secara bersamaan maka semakin kecil pula SINR yang dapat dicapai. Sebaliknya, semakin sedikit *user* yang memakai *channel* secara bersamaan maka semakin besar SINR yang dapat dicapai. Jarak *user*, jumlah *user*, jumlah *channel*, dan SINR target mempengaruhi SINR yang akan didapatkan oleh setiap *user*.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan implementasi skema kendali daya terdistribusi dan mandiri baik pada jaringan homogen maupun heterogen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh LPPM Institut Teknologi Telkom Purwokerto dalam bentuk hibah internal tahun anggaran 2020. Terimakasih atas dukungan yang diberikan.

REFERENSI

- [1] I. Siddavatm, “Mapping of cognitive radio as intelligent agent architecture,” in *2011 2nd International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)*, Chennai, India, Feb. 2011, pp. 1–5.
- [2] A. F. Isnawati, R. Hidayat, S. Sulistyo, and I. W. Mustika, “Preliminary study: Non cooperative power control game model for cognitive femtocell network,” in *Proceedings of International Conference on Information, Communication Technology and System (ICTS) 2014*, Surabaya, Indonesia, Sep. 2014, pp. 119–124.
- [3] B. Benmammar, A. Amraoui, and F. Krief, “A Survey on Dynamic Spectrum Access Techniques in Cognitive Radio Networks,” *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, vol. 5, no. 2, p. 12, 2013.
- [4] D. T. Ngo, L. B. Le, T. Le-Ngoc, E. Hossain, and D. I. Kim, “Distributed Interference Management in Two-Tier CDMA Femtocell Networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 11, no. 3, pp. 979–989, Mar. 2012.
- [5] S. Y. Lien, K. C. Chen, Y. C. Liang, and Y. Lin, “Cognitive radio resource management for future cellular networks,” *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 21, no. 1, 2014.
- [6] F. H. Khan and Y. J. Choi, “Joint subcarrier and power allocations in OFDMA-based cognitive femtocell networks,” in *2012 18th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 2012, pp. 812–817.

- [7] A. F. Isnawati, R. Hidayat, S. Sulistyo, and I. W. Mustika, "Feasible solution of centralized power control for multi channel cognitive femtocell network," in *2015 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Chiang Mai, Thailand, Oct. 2015.
- [8] A. F. Isnawati, R. Hidayat, S. Sulistyo, and I. W. Mustika, "A comparative study on centralized and distributed power control in cognitive femtocell network," in *2016 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Yogyakarta, Indonesia, Oct. 2016.
- [9] F. Li, X. Tan, and L. Wang, "A New Game Algorithm for Power Control in Cognitive Radio Networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 9, pp. 4384–4391, Nov. 2011.
- [10] P. Xiaozhen and Z. Qi, "Power Control Based On Game Theory In Femtocell," *Int. J. Digit. Content Technol. Its Appl.*, vol. 6, no. 18, pp. 357–366, 2012.
- [11] X. Deng, W. Xia, Q. Guan, S. Lin, and S. Jiang, "A novel distributed power control based on game theory in cognitive wireless network," in *2014 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, Shanghai, China, Oct. 2014, pp. 59–63.
- [12] Z. Wang, L. Jiang, and C. He, "A distributed power control algorithm in cognitive radio networks based on Nash bargaining solution," in *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Ottawa, ON, Canada, Jun. 2012, pp. 1672–1676.
- [13] A. F. Isnawati, R. Hidayat, S. Sulistyo, and I. W. Mustika, "A Novel Utility Function of Power Control Game in Multi-Channel Cognitive Femtocell Network," *International Journal of Communication Networks and Information Security*, vol. 9, no. 3, p. 7, 2017.
- [14] S. A. Saad, M. Ismail, and R. Nordin, "A Survey on Power Control Techniques in Femtocell Networks," *Journal of Communications*, vol. 8, pp. 845–854, 2013.
- [15] W. Li, H. Zhang, W. Zheng, T. Su, and X. Wen, "Energy-efficient power allocation with dual-utility in two-tier OFDMA femtocell networks," in *Globecom Workshops (GC Wkshps), 2012 IEEE*, 2012, pp. 535–540.
- [16] T. H. Chuang, G. H. Chen, M. H. Tsai, and C.-L. Lin, "Alleviating Interference through Cognitive Radio for LTE-Advanced Network," *Int. J. Electr. Comput. Eng. IJECE*, vol. 5, no. 3, p. 539, Jun. 2015.
- [17] T. Zahir, K. Arshad, A. Nakata, and K. Moessner, "Interference Management in Femtocells," *IEEE Communication Surveys & Tutorial*, vol. 15, no. 1, pp. 293–311, 2013.

