

## ANALISIS KINERJA SKEMA ALOKASI SUMBER DAYA SUBCHANNEL REUSE PADA JARINGAN FEMTOCELL OFDMA

### PERFORMANCE ANALYSIS OF SUBCHANNEL REUSE RESOURCE ALLOCATION SCHEME IN FEMTOCELL OFDMA NETWORK

Elmira Puspa Sari, Arfianto Fahmi, Uke Kurniawan Usman

Prodi SI Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
elmirapuspasari0409@gmail.com

---

#### Abstrak

Femtocell adalah teknologi micro BTS dengan level daya rendah dan menggunakan frekuensi resmi seperti pada jaringan seluler. Femtocell berfungsi meningkatkan kapasitas dan cakupan sebuah jaringan seluler di dalam ruangan. Penggunaan femtocell secara masal memiliki masalah, adanya intercell-interference yang mengakibatkan kebutuhan data rate tidak mencukupi untuk semua *user* dan *subchannel* reuse yang tidak maksimal. Penelitian ini menganalisis kinerja skema pengalokasian sumber daya frekuensi berupa *subchannel* pada OFDMA untuk memenuhi kebutuhan data-rate *user* dalam satu femtocell. Metode yang digunakan adalah simulasi kinerja algoritma resource allocation menggunakan aplikasi matlab, kemudian dilakukan analisis hubungan antara kebutuhan data-rate, persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan, SSR(Spectrum Spatial Reuse) dan jumlah *user* dibandingkan dengan skema universal frequency reuse. Skema tersebut akan diaplikasikan pada level central node dan level FBS. Hasil simulasi dari skema resource allocation meningkatkan persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan dan mengoptimalkan SSR dalam berbagai jumlah *user* aktif.

---

**Kata Kunci:** Femtocell, Resource Allocation, Spectrum Spatial Reuse, OFDMA

#### Abstract

Femtocell is a micro base stations technology with a low power level and using the official frequency of the cellular network. A femtocell extend service coverage indoors. The use of large-scale femtocells remains a problem, intercell-interference, that resulting data rate requirement, which is not sufficient for all *users* and also the ineffective use of *subchannel* reuse. This research analyzed the performance of the scheme in the form of frequency resource allocation in OFDMA *subchannel* to require the needs of data-rate *users* simultaneously in a femtocell. The method is simulated the resource allocation algorithm by using matlab programming language, then analyze the relationship between data-rate requirements, percentage of guaranteed *users*, SSR and number of *users* compared with universal frequency reuse scheme. This simulation performed both at the central node-level and the FBSs-level. The simulation result of resource allocation scheme increase the percentage of guaranteed *users* and optimize the number of SSR in different number of active *user*.

**Keywords:** Femtocell, Resource Allocation, Spectrum Spatial Reuse, OFDMA

---

#### 1. Pendahuluan

Femtocell dikenal juga dengan *Femto Base Station* (FBS) adalah teknologi micro BTS yang menggunakan level daya rendah dan menggunakan frekuensi resmi seperti yang digunakan jaringan seluler. Femtocell dihubungkan ke jaringan internet menggunakan link jaringan akses data pelanggan seperti DSL, *cable broadband connections*, atau fiber optik [1]. Femtocell berfungsi untuk meningkatkan kapasitas dan cakupan sebuah jaringan seluler. Femtocell dimodelkan sebagai sel yang tertutup sehingga femtocell hanya dapat diakses oleh pelanggan yang telah terdaftar dalam data base operator [2].

Pemakaian jaringan femtocell yang bersebelahan akan menimbulkan masalah interferensi antar femtocell. Interferensi ini menyebabkan tidak efisiennya penggunaan sumber daya *subchannel* yang ada, berakibat pada data-rate yang tidak mencukupi untuk kebutuhan semua *user* dalam satu femtocell. Tugas akhir ini akan menganalisis skema pengalokasian sumber daya *subchannel* yang lebih efisien pada femtocell OFDMA dengan menggunakan sebuah algoritma yang berdasar pada penelitian [3]. Langkah-langkahnya, pertama analisis

hubungan antara lokasi *user* dan data-rate yang dibutuhkan, akan terlihat bahwa pada lokasi tertentu, data-rate yang dibutuhkan tidak terpenuhi. Dari hubungan tersebut diperlukan skema alokasi sumber daya *subchannel* yang efisien pada femtocell agar data-rate yang dibutuhkan terpenuhi untuk setiap *user* dalam satu femtocell. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja dari algoritma resource allocation pada penelitian [6] dan dilakukan perbandingan terhadap skema resource allocation *Universal Frequency Reuse* [11] dan *Optimal Strategy* [8].

Penelitian bertujuan menganalisis kinerja dan simulasi dari algoritma resource allocation di jaringan femtocell OFDMA berdasarkan penelitian [6] Simulasi algoritma ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui efisiensi alokasi sumber daya *subchannel* memberikan peningkatan pada persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan.
2. Mengetahui efisiensi alokasi sumber daya *subchannel* meningkatkan kecenderungan *user* untuk berbagi *subchannel* (SSR).
3. Mengetahui pengaruh kebutuhan data-rate terhadap persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan tersebut.
4. Mengetahui pengaruh kebutuhan data-rate terhadap nilai SSR.
5. Mengetahui pengaruh jumlah *user* terhadap persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan dan nilai SSR.
6. Memperoleh nilai persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan dan SSR yang lebih tinggi dibandingkan nilai hasil simulasi skema *Universal Frequency Reuse* [11].
7. Membandingkan nilai-nilai yang didapat pada point sebelumnya dengan nilai-nilai hasil skema *optimal strategy* [8].

Beberapa masalah yang menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini yaitu:

Skema *subchannel reuse universal* tidak mampu mengalokasikan *subchannel* dengan efisien, menyebabkan beberapa *user* dengan data-rate rendah terpenuhi dengan baik, namun beberapa *user* dengan kebutuhan data-rate lebih tinggi, tidak terpenuhi. Pada skema *universal frequency reuse*, penambahan jumlah *user* ke dalam cell sebuah FBS mengurangi kemampuan alokasi sumber daya *subchannel* terlihat pada menurunnya persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan. Kondisi skema alokasi *subchannel* yang ada pada penelitian sebelumnya belum meningkatkan kecenderungan *user* untuk berbagi *subchannel* pada kebutuhan data-rate yang tinggi [6].

## 2. Dasar Teori Dan Metodologi Perancangan

### 2.1 Skema Coordinated Resource Allocation

Beberapa femtocell diklasifikasikan secara geografis menjadi beberapa cluster, masing-masing cluster memiliki *center model* yang mengatur kerja semua femtocell yang dinamisnya masing femtocell bertanggung jawab terhadap satu atau banyak *user*.  $U_m$  adalah set *user* pada femtocell  $m$ ,  $U_n$  adalah set *user* pada femtocell  $n$ . Dengan ketentuan  $U_m \cap U_n = \emptyset$ , jadi tidak ada *user* femtocell  $m$  dan  $n$  yang sama.  $K$  merupakan set dari *subchannel*, dengan  $k$  adalah satu *subchannel*, dengan bandwidht  $B$ . Ketentuannya tidak ada *access restriction* pada semua *subchannel* pada setiap femtocell, jadi dalam satu femtocell semua *user* dapat menggunakan semua *subchannel*.

Model propagasi wireless yang dipakai adalah FDTD (Finite Difference Time Domain)[11] adalah channel gain antara femtocell  $n$  dan *user*  $u$  pada *subchannel*  $k$ . Terdapat slow fading sehingga gain channel tidak bertambah.  $\beta_{k,n,u}$  adalah variabel biner yang sama dengan 1 jika diisi *user, dan 0 jika tidak.  $\gamma_{k,n,u}$  merupakan SINR (Signal to Interference Plus Noise Ratio) [8] adalah rate *user* pada femtocell  $m$  di *subchannel*  $k$ . Power level konstan di setiap *subchannel.  $P_{k,n}$  dan  $P_{k,m}$  dirumuskan sebagai berikut [6]:**

$$P_{k,n} = \frac{P_{k,m}}{\beta_{k,n,u}} \quad (1)$$

$$P_{k,m} = \beta_{k,n,u} P_{k,n} \quad (2)$$

Dengan beberapa pembatas alokasi *subchannel* dan data-rate *user* yang dibutuhkan, maka masalah alokasi resource dirumuskan sebagai berikut (Le, 2015) :

$$\sum_{k \in K} P_{k,n} \leq P_{max} \quad (3a)$$

$$P_{k,n} + \sum_{m \neq n} P_{k,m} \leq P_{max} \quad (3b)$$

$$\Sigma \tag{3c}$$

$$\{ \tag{3d}$$

Dimana adalah unit step function berupa kepastian *user* mendapatkan alokasi *subchannel* terhadap data rate yang diberikan yaitu . adalah data rate sebenarnya untuk semua *user* di setiap *subchannel*. Pembatas (3b) menjamin bahwa jumlah *user* yang bisa mengakses *subchannel* *k* dalam satu femtocell terbatas pada satu *user*.

**2.2 Aturan Reuse Frekuensi [6]**

Adapun kriteria *user* yang digunakan, melakukan reuse dan sharing frekuensi dalam skema resource allocation ini adalah sebagai berikut:

1. Cell-center *user* (channel gain tinggi) dengan kebutuhan data-rate yang rendah dapat mentoleransi intercell inference, karna data-rate yang tinggi selalu tersedia bagi cell center *user*.
2. Cell-edge *user* dengan kebutuhan data-rate tinggi cenderung untuk menggunakan *subchannel* secara eksklusif dan jika masih membutuhkan data-rate, *user* ini dapat menggunakan *subchannel* dari femtocell yang berdekatan (neighboring femtocell), walaupun hanya menawarkan data-rate yang rendah.
3. Cell-edge *user* dengan kebutuhan data rate rendah, yang dapat berbagi *subchannel* dengan *user* neighboring femtocell.
4. Cell-center *user* dengan kebutuhan data rate yang tinggi, dapat berbagi *subchannel* dengan neighboring femtocell.

**2.3 Algoritma Coordinated Resource Allocation untuk tahap Central Node**

Sesuai dengan ilustrasi pada gambar 2.1 central node bertanggung jawab terhadap seluruh aktivitas femtocell yang ada didalam cluster nya. Dalam lingkungan padat, interferensi intra cluster seringkali terjadi, sedangkan interferensi antar cluster tidak terlalu diperhitungkan.

Algoritma di tahap central node bertujuan untuk memberikan *subchannel* yang sesuai bagi masing-masing *user* sesuai dengan besarnya jarak *user* dengan femtocell terdekat, sedemikian rupa, sehingga didapatkan data-rate. Namun data-rate yang didapat belum tentu mampu mencukupi kebutuhan data-rate *user* (data-rate requirement). Untuk langkah selanjutnya, yaitu algoritma pada tahap FBS, dilakukan pengaturan *subchannel*, seperti sharing *subchannel* kepada *user* lain dalam satu femtoecell, maupun *user* lain di *neighboring femtocell*, sehingga *user* dengan perolehan data-rate kurang, bisa tercukupi, dan *user* dengan kelebihan data-rate tidak terbuang sia-sia.

Diberikan sebagai himpunan dari neighboring femtocell pada *user* *u* di *subchannel* *k* yang berkemungkinan memberikan pengaruh (interferensi pada *user* *u*), tidak dapat menggunakan *subchannel* *k* jika *user* *u* sedang aktif didalamnya, *m'* adalah contoh dari neighboring femtocell. Alih-alih memperhitungkan semua femtocell tetangga, seperti pada (Son, 2011), kita hanya perlu memperhitungkan femtocell-femtocell dengan channel gain terbesar pada *subchannel* *k* untuk *user* *u*. Pada penelitian ini, femtocell tersebut dibatasi hanya dua femtocell yaitu dan . Maka \* +.

Diberikan sebagai SINR yang mampu dicapai oleh *user* *u* pada *subchannel* *k*, setiap *user* mendapatkan yang berbeda-beda disetiap *subchannel* yang ada di setiap femtocell . Setelah mendapatkan nilai , maka nilai data-rate juga dapat ditentukan. Nilai dan dikalkulasi menggunakan rumus (1) dan (2).

Pada lingkungan dengan mobilitas rendah, *channel gain* secara umum bergantung pada jarak antara *user* dengan femtocell terdekat yang diakses, ini didefinisikan sebagai . Untuk memudahkan, selanjutnya pada rumus digunakan saja nilai sebagai representasi parameter channel gain.

$$-$$

merupakan jarak relatif ternormalisasi untuk setiap *user* *u*. Kemudian nilai dari improvement threshold dapat didefinisikan sebagai:

$$\tag{4} \tag{5}$$

Rumus (4) dan (5) akan mendefenisikan improvement threshold untuk setiap *user* berdasarkan data rate dan jarak yang ternormalisasi setiap *user* ke FSB. Konstanta adalah weighting coefficient yang di sesuaikan oleh network operator untuk mengontrol nilai dari . Selanjutnya jika maka femtocell , dan jika maka kedua femtocell dan adalah bagian dari . Setelah mendapatkan himpunan untuk setiap *user* pada *subchannel* k, dapat ditemukan juga data rate yang mampu disediakan untuk setiap *user* pada setiap femtocell di cluster tersebut. Untuk itu central node etiap femtocell harus dapat mengatasi setiap problem yang ada, berikut ini adalah subproblem yang berasal dari penurunan rumus (3d):

$$( \quad ), \tag{6}$$

$$, \tag{7}$$

Jadi pada algoritma di tingkat central node ini, problem bagi resource allocation di femtocell m dapat diformulasi kan dalam rumus berikut:

$$\sum \tag{8a}$$

$$* + \sum \tag{8b}$$

$$\sum \tag{8c}$$

Dari uraian diatas, maka setiap *user* telah menemukan satu atau dua femtocell yang lebih berpengaruh daripada femtocell lainnya, begitu juga dengan *subchannel*, telah terpilih dua *subchannel* yang menawarkan data rate lebih tinggi daripada *subchannel* lainnya. Data rate dari femtocell yang tidak tergabung dalam tidak akan dipertimbangkan. Namun tetap ada problem yang harus diselesaikan, jika berisi dua femtocell, central node kembali harus memilih satu yang lebih baik, berdasarkan nilai dan yang lebih menguntungkan. Diberikan simbol sebagai *user* yang telah mendapatkan data rate yang terbaik. Keseluruhan proses pada tahap central node di sajikan dalam algoritma 1.

```

Prepare achievable data rate matrix  $\mathbf{R}_{m,u}^k$ 
for  $u \in \mathcal{U}_m$  do
    Solve the problem (8) and obtain the set  $\mathcal{S}_{m,u}^k$ 
    For  $k \in \mathcal{K}$  do
        Prepare the achievable data rate matrix  $\mathbf{R}_{m,u}^k$ 
        Solve the problem (8) and obtain the set  $\mathcal{S}_{m,u}^k$ 
    End for
End for
Solve the problem (10) and allocate  $\mathbf{R}_{m,u}^k$ 
    
```

Algoritma 1 Algoritma untuk tahap central node [6]

```

Prepare achievable data rate matrix  $\mathbf{R}_{m,u}^k$ 
for  $u \in \mathcal{U}_m$  do
    Solve the problem (8) and obtain the set  $\mathcal{S}_{m,u}^k$ 
    For  $k \in \mathcal{K}$  do
        Prepare the achievable data rate matrix  $\mathbf{R}_{m,u}^k$ 
        Solve the problem (8) and obtain the set  $\mathcal{S}_{m,u}^k$ 
    End for
Solve the problem (10) and allocate  $\mathbf{R}_{m,u}^k$ 
    
```

Algoritma 1 Algoritma untuk tahap FBS [6]

### 2.4 Algoritma Resource Allocation untuk tahap FBS

Setelah algoritma 1 dijalankan untuk tahap central node, masing-masing femtocell dialokasikan himpunan *subchannel* . Setiap femtocell bertanggung jawab mengalokasikan sejumlah *subchannel* ini untuk *user* yang ada dalam kawasannya. Jika perubahan kondisi lingkungan sangat lambat, misalnya karena berada dalam ruangan, maka alokasi *subchannel* untuk setiap *user* tidak akan mengalami perubahan atau stabil. Namun walaupun channel gain tetap stabil, setiap *user* memiliki traffic nya sendiri, setiap *user* memiliki tahap aktif, transisi dan inaktif. Jika *user* yang telah dialokasikan *subchannel* berpindah ke tahap inaktif, maka *subchannel* tersebut akan sia-sia.

Setelah algoritma 1 dijalankan untuk tahap central node, masing-masing femtocell dialokasikan himpunan *subchannel* . Setiap femtocell bertanggung jawab mengalokasikan sejumlah *subchannel* ini untuk *user* yang ada dalam kawasannya. Jika perubahan kondisi lingkungan sangat lambat, misalnya karena berada dalam

ruangan, maka alokasi *subchannel* untuk setiap *user* tidak akan mengalami perubahan atau stabil. Namun walaupun channel gain tetap stabil, setiap *user* memiliki *traffic* nya sendiri, setiap *user* memiliki tahap aktif, transisi dan inaktif. Jika *user* yang telah dialokasikan *subchannel* berpindah ke tahap inaktif, maka *subchannel* tersebut akan sia-sia.

Algoritma 2 ini bertujuan untuk menghindari *subchannel* yang terbuang sia-sia tersebut dengan mengalokasikan nya ke *user* lain. Jika kondisi ini terjadi, beberapa subcahnnel available atau kosong, maka pilihan yang dihadapi oleh femtocell adalah mengalokasikan ke *subchannel* yang ada didalam femtocell itu sendiri, atau mentransfernya untuk digunakan *user* dari femtocell lain yang bersebelahan atau berdekatan.

Femtocell akan memeriksa *user* anggotanya yang telah belum mendapatkan data-rate yang dibutuhkan, lalu mengalokasikan *subchannel* yang kosong untuk *user-user* tersebut sesuai dengan problem (8), adalah himpunan *user* yang aktif di sebuah femtocell, dimana terdiri dari *user* aktif yang telah tercapai data-rate yang diinginkan. Kemudian, dengan mengganti dan dengan dan , kemudian diselesaikan problem (8), maka *subchannel* yang available telah dialokasikan untuk *user* yang membutuhkan didalam satu femtocell yang sama. *User* yang akhirnya mendapat data-rate yang diinginkan disebut dengan , dimana himpunan mengindikasikan apakah dialokasikan untuk femocell, n atau tidak. Hasil akhirnya adalah yaitu *user* yang telah mendapatkan data-rate baru yang mencukupi. Jika setelah langkah ini dilakukan, masih ada *subchannel* available, maka *subchannel* ini akan ditransfer ke *user* yang membutuhkan lainnya di femtocell lain, proses ini dilakukan dengan mengatasi problem berikut ini :

$$\sum_{i \in \mathcal{U}_k} r_i \leq R_k \quad (10a)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{U}_k} r_i \geq R_k \quad (10b)$$

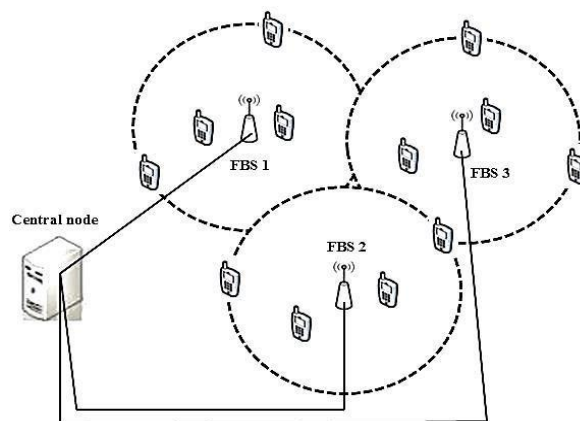
$$r_i * \alpha + \beta \quad (10c)$$

Hampir sama dengan problem sebelumnya, namun di lakukan di femtocell tetangga. Hasil akhirnya adalah . Keseluruhan proses pada tahapan FBS di sajikan dalam algoritma 2.

### 3. PEMBAHASAN

#### 3.1 Latar Belakang Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan algoritma penelitian [6], menggunakan perangkat simulasi komputer yang memungkinkan peneliti memanipulasi variabel-variabel input dan meneliti akibatnya terhadap performansi sistem pada tingkat central node dan pada tingkat FBS. Sebelumnya ditentukan skenario berdasarkan parameter-parameter data-rate, persentase dan jumlah *user*, kemudian penjabaran formulasi masalah. Formulasi dalam bentuk persamaan optimasi linear programming. Selain itu, dilakukan analisis *user-user* dengan kriteria seperti apa yang akan mendorong terjadinya reuse *subchannel*. Hasil keluaran simulasi berupa grafik, yaitu (1) grafik hubungan antara data-rate yang dibutuhkan dengan persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan, (2) Hubungan antara data rate yang dibutuhkan dengan SSR. Grafik tersebut di simulasikan melalui tiga skenario, yaitu (1) jumlah *user* aktif 6, (2) jumlah *user* aktif 8, dan (3) jumlah *user* aktif 10 *user*, pada 1 cluster. Masing-masingnya dianalisis berdasarkan keluaran skema algoritma resource allocation dan pembanding-pembandingnya, yaitu keluaran dari skema *Optimal Strategy* dan *Universal Frequency Reuse*.



Gambar 2. 1. Network Model

### 3.2 Network Model dan Skenario

Pada simulasi ini digunakan 3 skenario, network model dapat dilihat pada gambar 2.1. Adapun kondisi dari setiap skenario adalah sebagai berikut: 3 femtocell berada dalam satu cluster, dengan radius masing-masing femtocell adalah 5 m dan di setiap femtocell ditempatkan 4 *user* dengan jarak antar *user* dan femtocell yang disebar berdasarkan kriteria cell center *user* dan cell edge *user* berdasarkan [6], dalam range 1-5 m dari femtocell, dan data-rate requirement yang berbeda-beda, dengan range 1-3.5 Mbps, dengan kenaikan 0.25 Mbps. Setiap femtocell menggunakan frekuensi yang berbeda-beda. Setiap femtocell menyediakan 8 *subchannel*. Masing-masing *subchannel* memiliki bandwidth 180 kHz, *subchannel-subchannel* tersebut hanya dapat digunakan oleh *user* femtocell terdekat. Ini di simulasikan pada skema algoritma 1 yaitu tahap Central Node. *Subchannel-subchannel* tersebut kemudian dapat digunakan oleh setiap *user* yang bertetangga, dan mampu melakukan sharing *subchannel*. Ini disimulasikan pada skema algoritma 2 yaitu pada tahap FBS. Dalam penelitian ini satu femtocell bertetangga dengan 2 femtocell lain. Pada skenario (1) digunakan *user* aktif sejumlah 6 *user*, skenario (2) menggunakan 8 *user* aktif dan skenario (3) terdapat 10 *user* aktif.

### 3.3 Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi berupa dua grafik yaitu grafik antara data-rate requirement vs persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate dan grafik antara data-rate requirement vs SSR. Masing-masing grafik menggunakan tiga skenario.

#### 3.3.1 Grafik antara data-rate requirement dengan Persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan

Pada simulasi ini dilakukan perbandingan antara skema resource allocation dengan skema *optimal strategy* dan *universal frequency reuse*, dengan data-rate dalam selang 1-3.5 Mbps, dan dalam skenario sebagai berikut, ditampilkan dalam grafik 2.7.1.

Grafik 2.7.1.1 menunjukkan persentase kepuasan *user* skema resource allocation paling tinggi untuk data-rate paling rendah, yaitu 1 Mbps, dilanjutkan dengan persentase yang fluktuatif, namun tidak pernah mencapai persentase tertinggi oleh data-rate 1 Mbps, sampai akhirnya persentase terendah oleh data-rate tertinggi yaitu 3.5 Mbps. Dibandingkan dengan skema *universal frequency reuse*, skema resource allocation persentasenya lebih stabil, berkisar antara 60% sampai 88%, namun jelas terjadi penurunan setiap kenaikan data-rate. Sedangkan UFR penurunannya lebih jauh dan curam, yaitu berkisar 25% sampai 85%.

Grafik 2.7.1.2 secara umum memiliki kesamaan dengan grafik sebelumnya, terjadi penurunan persentase seiring kenaikan data-rate, namun perbedaannya hanya pada persentase tertinggi yang tidak terjadi pada data-rate terendah, namun pada data-rate 1.5 Mbps, fluktuatif namun tetap persentase terendah di 60% ada di data-rate tertinggi.

Grafik 2.7.1.3 menunjukkan garis skema resource allocation yang sedikit lebih stabil daripada dua grafik sebelumnya, range persentasenya berkisar antara 62% sampai 75%. Dengan persentase tertinggi pada data-rate terendah, dan persentase terendah pada data-rate tertinggi.

Dapat disimpulkan hasil simulasi berupa grafik antara data-rate requirements vs persentase kepuasan *user*, secara umum kepuasan *user* mengalami penurunan pada data-rate lebih tinggi, namun tidak selalu bersifat linear, fluktuasi tetap ada. Jika dibandingkan dengan kedua skema lainnya, skema *optimal strategy* hampir selalu pada kondisi 100%, hanya menurun pada data-rate 2.5 Mbps keatas, namun tetap sampai 90% saja. Dimana skema resource allocation berjarak sekitar 10-25% dibawah skema *optimal strategy*. Dibandingkan dengan skema UFR, skema resource allocation secara umum jauh lebih stabil, terlihat pada kondisi data-rate tinggi, 3.5 Mbps, UFR hanya mampu memberikan persentase 25%, sedangkan skema resource allocation memberikan tidak kurang dari 60%.

#### 3.3.2 Grafik antara data-rate requirement dengan SSR

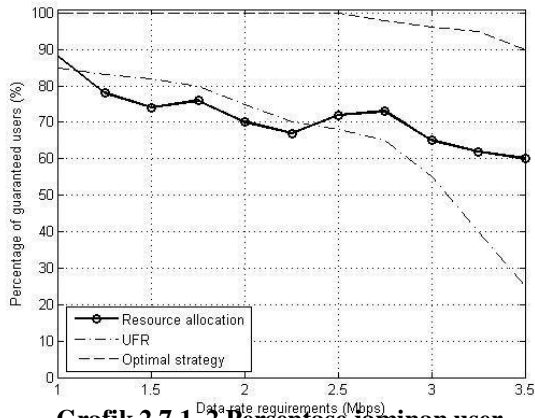
Pada simulasi ini dilakukan perbandingan antara skema resource allocation dengan skema *optimal strategy* dan *universal frequency reuse*, dengan data-rate dalam selang 1-3.5 Mbps, dan dalam 3 skenario sebagai berikut, ditampilkan dalam grafik 2.7.2

Berdasarkan grafik 2.7.2.1, terlihat SSR skema resource allocation cukup stabil di rentang 0.65 sampai 0.4 walau ada fluktuasi dan sedikit penurunan seiring bertambahnya data-rate, ini serupa dengan skema UFR yang selalu stabil, tapi ada di posisi 1, dengan tanpa fluktuasi. Namun berbeda dengan skema *optimal strategy*,

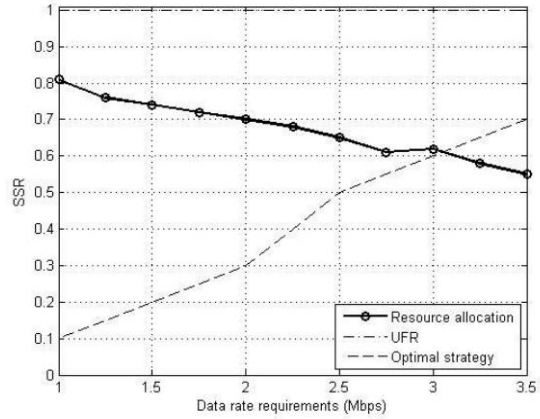
SSR pada skema ini meningkat seiring dengan peningkatan data-rate, dan data-rate paling tinggi berhenti di titik SSR 0.6.

Grafik 2.7.2.2. diatas menunjukkan hasil yang secara umum mirip dengan sebelumnya, yaitu fluktuatif namun ada penurunan seiring pertambahan data-rate, perbedaannya ada pada range SSR yg lebih besar yaitu 0.8 sampai 0.55

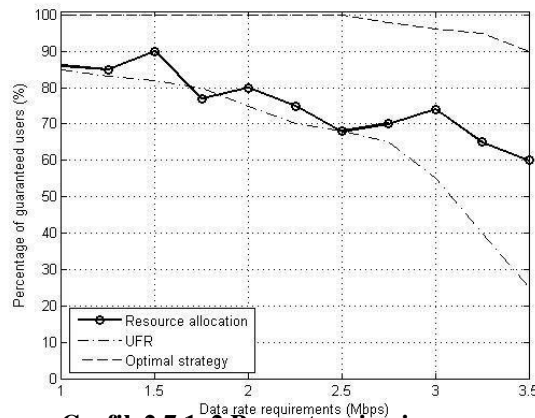
Grafik 2.7.2.3 menunjukkan hasil yang serupa dengan grafik sebelumnya, tapi dengan range SSR yang lebih besar yaitu 0.75 sampai 0.4.



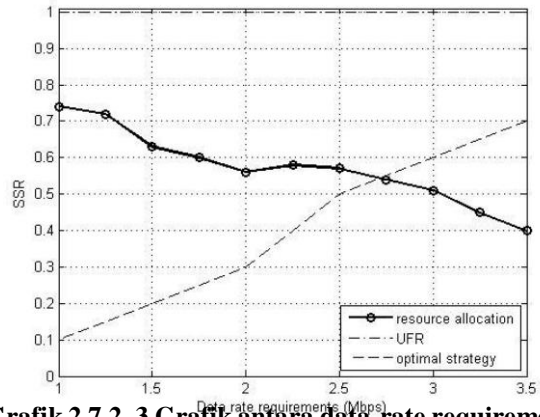
**Grafik 2.7.1. 2** Persentase jaminan user mendapatkan data-rate yang dibutuhkan dengan data-rate requirement pada skenario 1



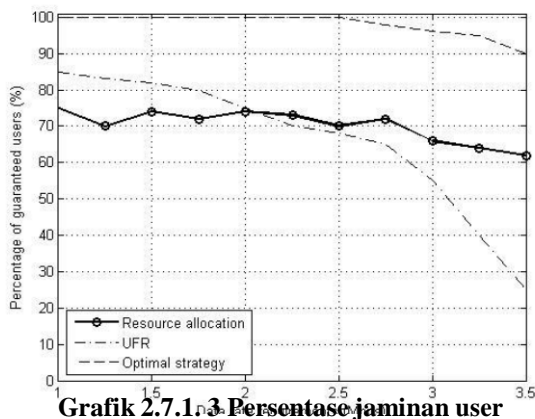
**Grafik 2.7.2. 3** Grafik antara data-rate requirement dengan SSR pada skenario 1



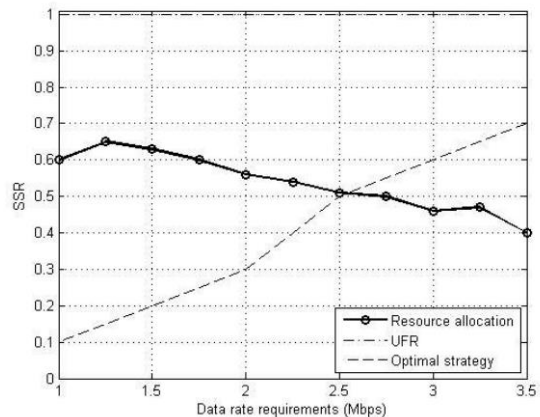
**Grafik 2.7.1. 3** Persentase jaminan user mendapatkan data-rate yang dibutuhkan dengan data-rate requirement pada skenario 2



**Grafik 2.7.2. 3** Grafik antara data-rate requirement dengan SSR pada skenario 2



**Grafik 2.7.1. 3** Persentase jaminan user mendapatkan data-rate yang dibutuhkan dengan data-rate requirement pada skenario 3



**Grafik 2.7.2. 3** Grafik antara data-rate requirement dengan SSR pada skenario 3

Ketiga grafik 2.7.2 menggunakan parameter *user* aktif yang berbeda-beda, terlihat bahwa semakin banyak *user*, semakin besar range SSR antara *user* dengan data-rate paling rendah dengan data-rate paling tinggi. Dari ketiga grafik diatas, antara data-rate requirement vs SSR, dapat disimpulkan bahwa skema resource allocation mampu mengoptimalkan penggunaan *subchannel* pada femtocell terdekat maupun femtocell tetangga, sehingga *user* lain dengan kebutuhan data-rate yang belum tercukupi mendapatkan *subchannel* dari *user* lain sehingga tercapailah data-rate yang dibutuhkan. Ini adalah peningkatan jika dibandingkan dengan skema UFR yang selalu stabil di SSR 1, artinya setiap *user* di setiap tingkatan data-rate tidak mampu berbagi *subchannel*, satu *subchannel* hanya dapat digunakan oleh hanya satu *user*, dan jika ada *user* yang non aktif, *subchannel* itu akan tersia-sia. Untuk kondisi optimal tentu saja garis yang mengalami peningkatan seiring dengan penambahan data-rate, ini sesuai dengan sifat *user* yang akan semakin mudah untuk membagi *subchannel* saat dirinya sendiri hanya membutuhkan data-rate rendah, dan *user* yang semakin sulit untuk berbagi *subchannel* saat dirinya membutuhkan data-rate yang besar. Bentuk ideal optimal strategi ini belum bisa di capai oleh skema resource allocation.

Gambar 4.2.1 dengan 6 *user* aktif menunjukkan range SSR sekitar 2, gambar 4.2.2. dengan 8 *user* aktif menunjukkan range SSR sekitar 2.5, dan gambar 4.2.3 dengan 10 *user* aktif memiliki range SSR lebih besar yaitu 3.5. ini menunjukkan semakin banyak *user* yang aktif, dan semakin sedikit yang tidak aktif, kemampuan berbagi *subchannel* akan tidak stabil dan semakin menurun pada data-rate lebih tinggi.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis kinerja dan simulasi dari algoritma resource allocation di jaringan femtocell OFDMA secara umum mampu mengalokasikan sumber daya yang cukup bagi setiap *user* pada setiap skenario *user* aktif (1),(2) dan (3). Terlihat dari grafik antara data-rate requirement dengan persentase jaminan *user* mendapatkan data-rate yang dibutuhkan, yang lebih tinggi 35% dari skema *universal frequency reuse*, pada kondisi data-rate yang tinggi. Antara ketiga skenario diperlihatkan kemampuan mendapatkan presentase yang relatif sama.

Pada grafik antara data-rate requirement dengan SSR, skema resource allocation mampu meningkatkan kecenderungan *user* untuk berbagi *subchannel* dibandingkan kecenderungan skema *universal frekuensi reuse*. Namun masih kurang dari skema *optimal strategy* yang sesuai dengan sifat *user* yaitu akan semakin mudah untuk membagi *subchannel* saat dirinya sendiri hanya membutuhkan data-rate rendah, dan *user* yang semakin sulit untuk berbagi *subchannel* saat dirinya membutuhkan data-rate yang besar. Perbandingan antara tiga skenario memperlihatkan bahwa semakin banyak *user*, semakin besar range SSR antara *user* dengan data-rate paling rendah dengan data-rate paling tinggi.

Penelitian selanjutnya dibutuhkan skema alokasi sumber daya dengan hasil simulasi dari grafik antara data-rate requirement dengan SSR yang semakin mendekati hasil skema *optimal strategy*.

#### Daftar Pustaka:

- [1] ICT Data and Statistics Division of International Telecommunication Union, "ICT Facts and Figures, the world in 2015," 2015.
- [2] Editor Desk, "Mobile data service revenues worldwide from 2010 to 2015 (in billion U.S. dollars)," <http://www.statista.com/statistics/218609/global-mobile-data-service-revenues-since-2010/>, 2015.
- [3] Intel Corp, Seong-Choon Lee, KT, Heechang Kim, Telcordia Shu-ping Yeh and Shilpa Talwar, "WiMAX Femtocells: A Perspective on Network Architecture, Capacity, and Coverage," October 2008.
- [4] Jie Zhang and Guillaume de la Roche, "FEMTOCELLS: TECHNOLOGIES AND DEPLOYMENT," 2010.
- [5] A., Damjanovic, A., Ji, T., Montojo, J., Wei, Y., Malladi, ] Barbieri, "System Design and," vol. 30.
- [6] Li H Y, Zhang H, et al Wang K, "Coordinated resource allocation to maximize the number of guaranteed users in OFDMA femtocell networks," vol. 58, 2015.
- [7] Sinkar K, Kant L, et al. Lan T, "Resource allocation and performance study for LTE networks integrated with femtocells," 2010.
- [8] Dong-Ho C. Kim J, "A joint power and *subchannel* allocation scheme maximizing system capacity in indoor dense," vol. 59, pp. 4340–4353, 2010.
- [9] Borran J, Sampath A, et al. Madan R, "Cell association and interference coordination in heterogeneous LTE-A cellular," vol. 28, pp. 1479–1489, 2010.
- [10] Lee S, Yi Y, et al Son K, "EFIM: a practical interference management in heterogeneous wireless access networks," vol. 29, pp. 1260–1272, 2011.
- [11] Zhang Z S, Zhang X, et al Zhong B, "Partial relay selection with fixed-gain relays and outdated CSI in underlay," vol. 62, pp. 4696–4701, 2013