

Pendekatan Teori Permainan Potensial untuk Manajemen Interferensi pada Jaringan Makro-Femto

I Wayan Mustika¹, Bagus Made Sabda Nirmala², Selo Sulistyio³

Abstract— In the present paper, a dynamic resource allocation scheme in orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA) femtocells is proposed. In the proposed scheme, each femto base station dynamically selects the most appropriate subset of resource blocks (RBs) in a decentralized manner in order to mitigate the downlink cross- and co-tier interference. A game theoretic approach is used to model the interactions among autonomous entities, where each player attempts to maximize its own utility by choosing the best subset of RBs among the available RBs. The proposed utility function captures the cooperative behavior to manage the cross- and co-tier interference, which can be formulated as a potential game and demonstrated to converge to a Nash equilibrium. The simulation results show that the proposed scheme guarantees the convergence to Nash equilibrium and facilitates the femtocells to improve the throughput where the average 50% of user throughput above 7.3 Mbps, while minimizing the cross-tier interference to the macrocell network.

Intisari— Pada paper ini diusulkan sebuah skema alokasi sumber daya secara dinamis dalam *femtocell* yang menggunakan sistem *orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA)*. Pada sistem yang diusulkan, masing-masing femto base station (BS) secara dinamis memilih bagian yang terbaik dari *resource block (RB)* secara desentralisasi untuk mengurangi interferensi *cross- and co-tier* pada downlink. Pendekatan teori permainan digunakan untuk memodelkan interaksi antar entitas otonom, yang mana masing-masing pemain berusaha untuk memaksimalkan utilitas yang dimiliki dengan memilih bagian terbaik dari RB diantara RB yang tersedia. Fungsi utilitas terdiri atas kemampuan kooperatif untuk mengatur interferensi *cross- and co-tier* yang dapat diformulasikan sebagai permainan potensial dan dapat ditunjukkan akan konvergen ke suatu Nash equilibrium. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan menjamin konvergensi ke Nash equilibrium serta memfasilitasi *femtocell* untuk meningkatkan *throughput* dengan rata-rata 50% *user throughput* diatas 7,3 Mbps, sementara juga meminimalkan interferensi *cross-tier* ke jaringan *macrocell*.

Kata Kunci— *Femtocell*, permainan potensial, interferensi, Nash equilibrium.

I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi nirkabel pada perangkat seluler saat ini berkembang pesat. Dengan menggunakan perangkat seluler, pengguna dapat mengakses informasi seperti *email*,

membuat jadwal pertemuan, berbagi materi *meeting*, *video conference*, atau sekedar *browsing*. Kendala akan muncul pada saat pengguna menggunakan perangkat di dalam ruangan di mana kualitas sinyal yang kurang baik, misalnya adanya *blank spot* pada suatu titik sedangkan di titik lain kualitas sinyal masih baik. Penyebaran sinyal yang lebih merata di dalam ruangan menjadi suatu kewajiban yang harus dipenuhi operator seluler. Di sisi lain, spektrum yang terbatas menjadi tantangan tersendiri dalam pengembangan teknologi komunikasi nirkabel. Salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan kembali spektrum yang ada atau sering disebut dengan *spectrum sharing*. Penerapan infrastruktur topologi jaringan juga tidak dapat bertumpu dengan bentuk terpusat pada *base station (BS)* makro tunggal yang mencakup area luas yang dapat melayani hingga ratusan pengguna, namun akan mengarah pada sel-sel yang lebih kecil dengan jumlah yang lebih banyak.

Jaringan heterogen merupakan teknologi pada jaringan seluler dengan sistem desentralisasi yang terdiri atas satu sel makro dan banyak jaringan seluler dengan daya kecil di dalamnya seperti jaringan *picocell* atau *femtocell* [1]. Salah satu tipe jaringan heterogen adalah jaringan *macrocell-femtocell* [2], di mana setiap jaringan *femtocell* berada di dalam jaringan *macrocell*. Jaringan *macrocell* merupakan jaringan seluler dengan spektrum terlisensi dengan cakupan area hingga beberapa kilometer dan daya pancar tinggi. Jaringan *femtocell* sendiri terdiri atas BS berdaya rendah dengan jangkauan kurang dari 10 m. Jaringan *femtocell* memanfaatkan *spectrum sharing* dari sumber daya yang dimiliki oleh *macrocell*.

Berbagai tantangan masih terjadi dalam implementasi jaringan *femtocell* yang dipasang secara bebas oleh pengguna tanpa campur tangan dari operator. Implementasi jaringan *femtocell* yang demikian menghadirkan masalah interferensi. Interferensi terjadi karena penggunaan sumber daya kanal yang tersedia secara *spectrum sharing*. Sumber daya ini merupakan kanal atau *resource block (RB)* dalam terminologi 3GPP yang bisa digunakan oleh perangkat pengguna jaringan seluler. Sangat mungkin terjadi interferensi, baik antara jaringan *macrocell* dengan jaringan *femtocell* yang disebut dengan interferensi *cross-tier*, maupun interferensi antar jaringan *femtocell* yang berdekatan yang disebut dengan interferensi *co-tier*. Dalam realisasinya, penggunaan RB memiliki tantangan tersendiri, yaitu diperlukan manajemen alokasi RB secara efisien. Ini bisa diupayakan dengan meminimalkan penggunaan kembali (*reuse*) RB yang sudah digunakan pada jaringan didekatnya sehingga menekan interferensi antara jaringan *macrocell* dan *femtocell* maupun antara jaringan *femtocell* yang berdekatan.

^{1, 3} Dosen, Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta 55281 INDONESIA (telp: 0274 552305; e-mail: wmustika@ugm.ac.id, selo@ugm.ac.id)

² Sekolah Tinggi Manajemen Informatika & Teknik Komputer STIKOM Bali, Jl. Raya Puputan No. 86, Denpasar 80234, INDONESIA (e-mail: bagus.sabda@gmail.com)

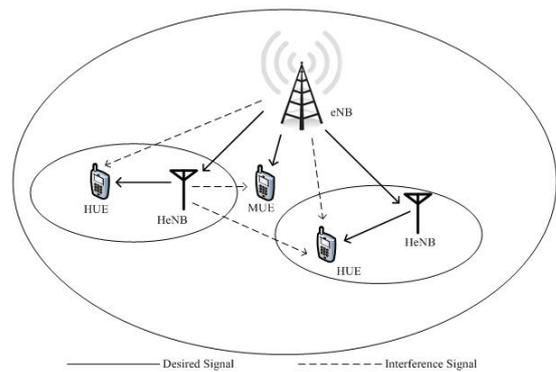
Teknologi kunci yang dapat memfasilitasi *spectrum sharing* dinamis adalah radio kognitif. BS femto yang memiliki kemampuan radio kognitif dapat merasakan lingkungan sekitarnya dan secara otonomi mengatur parameter transmisinya berdasarkan perubahan lingkungan yang terjadi. Karena antar *femtocell* memiliki konflik kepentingan satu sama lain dalam memilih RB maka diperlukan suatu algoritma yang cerdas dan terdistribusi. Pendekatan teori permainan (*game theory*) menyediakan alat matematis untuk memodelkan dan menganalisa situasi dimana pembuat keputusan memiliki konflik kepentingan satu sama lainnya. Permainan potensial merupakan salah satu kelas unik dari teori permainan yang menjamin terjadinya konvergensi ke Nash *equilibrium* ketika strategi *best response* dijalankan. Dengan sifat-sifat yang dimiliki permainan potensial, maka kelas dari permainan ini sesuai digunakan dalam memodelkan interaksi antar BS femto dalam memilih RB yang sesuai dan mengurangi interferensi *co-tier* dan *cross-tier* sehingga dapat memaksimalkan *throughput* yang dihasilkan.

Kontribusi dari penelitian ini adalah mengusulkan skema pemilihan RB secara terdistribusi pada *femtocell* menggunakan pendekatan teori permainan. Pendekatan teori permainan digunakan untuk memodelkan interaksi antar entitas otonom, yang mana masing-masing pemain berusaha untuk memaksimalkan utilitas yang dimiliki dengan memilih bagian terbaik dari RB di antara RB yang tersedia. Fungsi utilitas yang diusulkan dalam permainan ini terdiri atas kemampuan kooperatif untuk mengatur interferensi *cross-* dan *co-tier* yang dapat diformulasikan sebagai permainan potensial dan dapat ditunjukkan akan konvergen ke suatu Nash *equilibrium*. Saat konvergen tercapai, *throughput user* femto meningkat dan interferensi *cross-tier* ke jaringan *macrocell* dapat diminimalkan.

II. JARINGAN HETEROGEN

Jaringan heterogen merupakan jaringan komunikasi seluler yang secara umum terdiri atas jaringan *macrocell* dan *low power node* (LPN) yang tersebar di dalam lapisan jaringan *macrocell* tersebut. Contoh jaringan heterogen adalah jaringan *macrocell femtocell* seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 1. Jaringan ini terdiri atas beberapa komponen topologi jaringan, misalnya BS *macrocell* yang disebut dengan eNodeB (eNB). BS eNB merupakan komponen penyedia layanan untuk *Macro User Equipment* (MUE) dan jaringan *femtocell* yang ada di area jaringan *macrocell* tersebut. Selain itu terdapat BS *femtocell* yang disebut Home eNodeB (HeNB) [3]. HeNB bertugas untuk melayani *Home User Equipment* (HUE).

Menurut penelitian yang telah dilakukan [4], jaringan *femtocell* memiliki jangkauan area kecil, konsumsi daya rendah dan biaya relatif murah. Jaringan *femtocell* bertujuan untuk meningkatkan kapasitas spektrum dan efisiensi daya, yang digunakan untuk area residensial atau perumahan [5]. Penelitian lainnya [6] memperkenalkan konsep teknologi radio kognitif yang digunakan untuk pemodelan komunikasi nirkabel. Penelitian lain [7] menjelaskan bahwa dengan memodelkan BS sebagai radio kognitif memungkinkan setiap radio untuk memperhatikan keadaan lingkungan sekitarnya.



Gbr. 1 Topologi jaringan *macrocell femtocell*.

Dalam jaringan *macrocell femtocell*, teknologi radio kognitif menjadi model pengembangan jaringan *femtocell* untuk efisiensi penggunaan spektrum. Penelitian lain yang telah dilakukan [8] menerapkan radio kognitif pada jaringan *femtocell* dengan mengangkat permasalahan interferensi yang terjadi. Pendekatan Gibbs *sampler* dan *game theory* diterapkan dalam penelitian tersebut. Khusus untuk pendekatan *game theory* dalam penelitian tersebut merupakan penerapan awal untuk mengatur RB. Hal ini untuk mencari jumlah maksimal RB yang bisa digunakan pada setiap BS femto, dan masih terdapat penurunan performa *throughput* pada jaringan *femtocell*.

Penelitian lainnya [9] menjelaskan *game theory* sebagai alat analisis matematis yang digunakan untuk memodelkan situasi pengambil keputusan terhadap interaksi dengan pengambil keputusan lainnya karena adanya konflik kepentingan. Penggunaan *game theory* ditunjukkan dalam penelitian pada tahun 2010 [10] dan tahun 2001 [11], di mana dalam jaringan seluler dimungkinkan suatu BS untuk mengatur sendiri parameter transmisinya dengan menggunakan spektrum secara bersama untuk transmisi data sesuai kebutuhan setiap BS. Pendekatan *game theory* juga digunakan penelitian pada 2012 [12], untuk mencari alokasi sumber daya BS femto dalam jaringan *two-tier macrocell-femtocell*. Dalam paper ini dicari solusi dari permasalahan interferensi *co-channel*, yaitu kanal yang digunakan bersama-sama pada jaringan seluler *two-tier femtocell*. Penelitian yang dilakukan pada [12] menggunakan integrasi *algoritme Dynamic subcarrier Allocation* (DSA) dan *algoritme Adaptive Power Allocation* (APA) untuk meningkatkan performa jaringan *femtocell*. Penelitian lain pada tahun 2011 [13] telah menggunakan pendekatan *game theory* untuk skema alokasi kanal berbasis posisi geografis untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi daya yang digunakan jaringan *macrocell-femtocell*. Skema yang diusulkan ini menggunakan transmisi *uplink* untuk menurunkan interferensi *cross-tier*. Hasil penelitian pada [13] menunjukkan efisiensi kecepatan transmisi dan penggunaan daya yang lebih rendah dan diperoleh alokasi kapasitas spektrum yang lebih tinggi untuk semua *user*. Tetapi terjadi penurunan kecepatan dan meningkatnya daya yang digunakan pada saat terjadi peningkatan jumlah *user*.

Penelitian lainnya telah dilakukan [14], di mana pendekatan permainan potensial digunakan dalam permasalahan

interferensi dari penggunaan kanal bersama-sama. Teknologi radio kognitif diterapkan sehingga BS mampu memperhatikan parameter transmisi dari lingkungan sekitar. Penggunaan permainan potensial memastikan permainan mencapai kondisi stabil yang disebut Nash *equilibrium*. Permasalahan alokasi kanal pada jaringan radio kognitif diangkat dalam penelitian yang telah dilakukan oleh [15]. Pendekatan *game theory* digunakan dalam paper ini di mana skenario pengguna terdiri atas *cooperative user* dan *selfish user*. Teknologi radio kognitif juga diterapkan sehingga setiap radio mampu memperhatikan lingkungan sekitar. Pada penelitian yang dilakukan oleh [16], penulis mengusulkan solusi *feasible* untuk kendali daya terpusat pada *femtocell* kognitif. Pada sistem yang diusulkan tersebut, RB diasumsikan telah ditentukan oleh *femtocell* dan selanjutnya dilakukan kendali daya secara terpusat.

III. PEMODELAN SISTEM

A. Model Sistem

Model sistem dalam paper ini dirancang berdasarkan standar simulasi LTE 3GPP [17] komunikasi *downlink* untuk jaringan *macrocell-femtocell* dengan tipe *closed access* pada daerah hunian *urban*. Pengaturan minimum simulasi meliputi *Carrier frequency* yang digunakan adalah 2 GHz, dengan jarak antar *site* (*inter-site distance*) berdasarkan *urban deployment*. Setiap *site* menggunakan antena tiga sektor. Pola antena *macro eNB* ini berdasarkan pada standar 3GPP antena tiga sektor [3].

Jumlah blok apartemen pada setiap sektor adalah lima yang tersebar secara acak pada setiap sektor. Setiap HeNB akan melayani 1 HUE dan pada satu sektor terdapat sepuluh MUE yang dilayani oleh eNB. Sumber daya yang digunakan dalam simulasi model sistem ini meliputi *bandwidth* sistem sebesar 10 MHz dan Bandwidth RB 180 kHz. *Traffic model* yang digunakan adalah *full buffer* untuk mensimulasikan terjadinya transmisi data secara simultan sehingga bisa dipastikan adanya interferensi yang akan terjadi untuk penggunaan kanal yang sama. Transmisi *downlink* digunakan dalam rancangan model sistem ini.

Model sistem dirancang menggunakan mekanisme *closed access* di sisi jaringan *femtocell*. Mekanisme *closed access* ini meningkatkan terjadinya interferensi *co-tier* dan *cross-tier* jaringan *macrocell-femtocell*.

B. Model Matematis

Model matematis dalam paper ini mencakup fungsi utilitas (*utility function*), permainan potensial, strategi *best response* dan Nash *equilibrium*. Fungsi utilitas merupakan bagian yang dikembangkan dalam penelitian ini. Fungsi ini khusus untuk merepresentasikan tingkat kepuasan *user*. Pada fungsi utilitas yang dikembangkan akan mempengaruhi model matematis fungsi dan permainan potensial.

1) *Permainan Potensial*: Permainan potensial merupakan salah satu kelas khusus dari teori permainan, di mana fungsi potensial secara global akan dipengaruhi oleh perubahan utilitas dari salah satu pemain yang melakukan perbaikan nilai

utilitasnya. Fungsi utilitas adalah model matematis perhitungan interferensi yang terjadi baik itu interferensi *co-tier* dan juga interferensi *cross-tier* pada jaringan *femtocell*. Perumusan ini secara sederhana dibagi menjadi dua bagian yaitu interferensi *co-tier* dan bagian kedua yaitu interferensi *cross-tier*. Perumusan pertama menghitung nilai interferensi *co-tier* mengasumsikan adanya interferensi yang diterima oleh HeNB dari HeNB lain yang berada di dekatnya dan juga interferensi yang dihasilkan oleh HeNB itu sendiri. Perumusan pertama yang menghitung nilai interferensi *co-tier* dapat dilihat pada (1).

$$u1_i(s_i, \mathbf{s}_{-i}) = \sum_{x=0}^{H-1} \sum_{y=0}^{H-1} \left(- \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_j}^i P_j^{k_j^{(y)}} \delta k_i^{(x)} k_j^{(y)} - \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_i}^j P_i^{k_i^{(x)}} \delta k_j^{(y)} k_i^{(x)} \right) \quad (1)$$

Variabel $u1_i$ merupakan variabel yang mewakili fungsi utilitas dari interferensi *co-tier* i . Strategi pemain i terhadap strategi selain pemain i ditunjukkan oleh (s_i, \mathbf{s}_{-i}) , dengan s_i merupakan strategi dari pemain i , sedangkan \mathbf{s}_{-i} adalah strategi yang digunakan oleh pemain selain i , dalam hal ini adalah pemain j . Variabel x dan y merupakan variabel yang menunjukkan RB yang dipilih oleh pemain i dan pemain j , sedangkan H merupakan jumlah maksimal RB yang tersedia yaitu 50 RB. N merupakan jumlah total HUE dalam suatu permainan. $G_{b_j}^i$ merupakan *link gain* antara HeNB j dengan HUE i , dan sebaliknya $G_{b_i}^j$ merupakan *link gain* antara HeNB i dengan HUE j . Variabel $P_j^{k_j^{(y)}}$ merupakan daya transmisi (*transmit power*) transmitter HeNB j RB $k_j^{(y)}$, dan $P_i^{k_i^{(x)}}$ menunjukkan daya transmisi transmitter HeNB i pada saat RB yang dipilih $k_i^{(x)}$. Variabel $\delta k_i^{(x)} k_j^{(y)}$ merupakan fungsi interferensi yang menunjukkan apakah RB yang dipilih r_i dan r_j sama atau tidak sama: jika $k_i^{(x)} = k_j^{(y)}$ maka terdapat interferensi dan $\delta k_i^{(x)} k_j^{(y)} = 1$; jika tidak sama maka $\delta k_i^{(x)} k_j^{(y)} = 0$. Begitu juga untuk $\delta k_j^{(y)} k_i^{(x)}$, jika r_i dan r_j yang dipilih adalah sama maka $\delta k_j^{(y)} k_i^{(x)} = 1$ dan sebaliknya 0.

Bagian selanjutnya, yaitu perumusan nilai interferensi *cross-tier*, seperti ditunjukkan pada (2).

$$u2_i(s_i, \mathbf{s}_{-i}) = \sum_{x=0}^{H-1} \sum_{z=0}^{L-1} \left(- \sum_{m=1}^M G_{b_m}^i P_m^{k_m^{(z)}} \delta k_i^{(x)} k_m^{(z)} - \sum_{m=1}^M G_{b_i}^m P_i^{k_i^{(x)}} \delta k_m^{(z)} k_i^{(x)} \right) \quad (2)$$

Variabel $u2_i$ menunjukkan *utility function* pada pemain i untuk interferensi *cross-tier*. Bagian pertama $-\sum_{m=1}^M G_{b_m}^i P_m^{k_m^{(z)}} \delta k_i^{(x)} k_m^{(z)}$ merupakan interferensi yang diterima HUE i dari eNB *macrocell* b_m . Bagian kedua $-\sum_{m=1}^M G_{b_i}^m P_i^{k_i^{(x)}} \delta k_m^{(z)} k_i^{(x)}$ merupakan interferensi yang dihasilkan HeNB b_i terhadap MUE m . Variabel z merupakan variabel yang menunjukkan RB yang dipilih oleh pemain m ,

sedangkan L menunjukkan jumlah maksimal RB yang tersedia yang bisa digunakan oleh pemain m . Variabel M merupakan jumlah total MUE. Variabel $G_{b_m}^i$ merupakan variabel yang menunjukkan *link gain* antara eNB b_m dengan HUE i sedangkan $G_{b_i}^m$ menunjukkan *link gain* antara HeNB i dengan MUE m . Variabel $P_m^{k_m^{(z)}}$ menunjukkan daya transmisi pada eNB *macrocell* pada saat memilih RB, $k_m^{(z)}$ sedangkan $P_i^{k_i^{(x)}}$ menunjukkan daya transmisi transmitter HeNB i pada saat RB yang dipilih $k_i^{(x)}$. Variabel $\delta k_i^{(x)} k_m^{(z)}$ merupakan fungsi interferensi yang menunjukkan RB yang dipilih r_i dan r_m sama atau tidak sama: jika $k_i^{(x)} = k_m^{(z)}$ maka terdapat interferensi dan $\delta k_i^{(x)} k_m^{(z)} = 1$; jika tidak sama maka $\delta k_i^{(x)} k_m^{(z)} = 0$. Begitu juga untuk $\delta k_m^{(z)} k_i^{(x)}$, jika r_i dan r_m yang dipilih adalah sama maka $\delta k_m^{(z)} k_i^{(x)} = 1$ dan sebaliknya 0.

2) *Formulasi Fungsi Potensial*: Penyelesaian permasalahan pada simulasi jaringan heterogen ini yang menandakan suatu permainan sudah berakhir adalah kondisi *steady state*. Kondisi ini menunjukkan *user* tidak akan mengganti lagi alokasi RB yang telah digunakan. Pada kondisi ini pemain memiliki kemampuan memprediksi *outcome* seperti apa yang dihasilkan terhadap aksi yang dilakukan [18]. Kondisi inilah yang disebut sebagai pemain berada pada keadaan Nash *equilibrium*, di mana apabila pemain mengubah strategi akan mengakibatkan turunnya pemanfaatan utilitas dari pemain tersebut. Suatu strategi dari semua profil pemain, ditandai dengan $s^* = (s_i^*, s_{-i}^*)$ adalah Nash *equilibrium* [18] jika memenuhi (3).

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i', s_{-i}^*), \forall s_i' \neq s_i^*, \forall s_i' \in S_i, \forall i \in N \quad (3)$$

Strategi *best response* sangat terkait dengan keadaan Nash *equilibrium*. Strategi *best response* merupakan strategi yang digunakan untuk pemilihan strategi terbaik dengan melakukan revisi terhadap strategi yang dilakukan pada waktu t dalam suatu permainan oleh pemain HeNB i . Pemain akan memilih strategi *best response* yang dapat memaksimalkan utilitasnya dengan tetap memperhatikan strategi yang digunakan pemain lainnya. Pemilihan strategi *best response* [17] dirumuskan dalam (4).

$$s_i^{t+1} \in \arg \max_{s_i' \in S_i} u_i(s_i', s_{-i}^t) \quad (4)$$

Persamaan (4) menunjukkan bahwa setiap pemain i akan merevisi strateginya untuk putaran ke $t + 1$ dan strategi ini merupakan bagian dari usaha memaksimalkan fungsi utilitas dengan memperhatikan strategi yang digunakannya di putaran ke- t dan strategi yang digunakan pemain lain di putaran t , s_{-i}^t . $(s_i', s_{-i}^t) \in S$ merupakan strategi profil saat waktu atau putaran t .

Model matematis untuk *potential function* diperoleh dari perumusan *utility function* dan penggunaan strategi *best response*. Model matematis yang digunakan untuk mencapai kondisi Nash *equilibrium* ditunjukkan seperti pada (5).

$$P(s_i, s_{-i}) = \sum_{i=0}^N \sum_{x=0}^{H-1} \left[\sum_{y=0}^{H-1} \left(-\frac{1}{2} \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_j}^i P_j^{k_j^{(y)}} \delta k_i^{(x)} k_j^{(y)} - \frac{1}{2} \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_i}^j P_i^{k_i^{(x)}} \delta k_j^{(y)} k_i^{(x)} \right) + \sum_{z=0}^{L-1} \left(-\sum_{m=1}^M G_{b_m}^i P_m^{k_m^{(z)}} \delta k_i^{(x)} k_m^{(z)} - \sum_{m=1}^M G_{b_i}^m P_i^{k_i^{(x)}} \delta k_m^{(z)} k_i^{(x)} \right) \right] \quad (5)$$

Bagian pertama menunjukkan akumulasi fungsi utilitas permainan yang mempertimbangkan interferensi *co-tier*, sedangkan bagian kedua merupakan akumulasi fungsi utilitas dari interferensi *cross-tier*. *Potential function* yang ditunjukkan ini merupakan nilai dari *utility function* yang diakumulasi untuk keseluruhan pemain.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

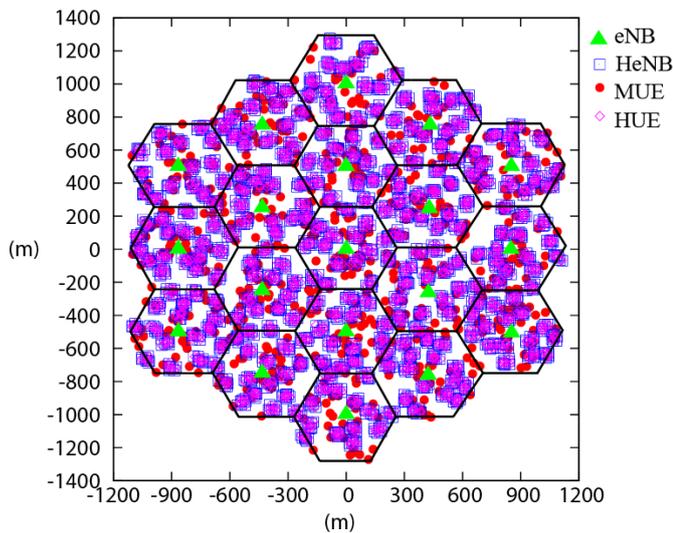
A. Model Simulasi Jaringan Macrocell Femtocell

Parameter simulasi model jaringan *macrocell-femtocell* ini diadopsi dari parameter 3GPP yang mengatur berbagai standar terkait pengembangan teknologi telekomunikasi saat ini, salah satunya yaitu *Long Term Evolution* (LTE). Standar 3GPP ini mengatur berbagai macam parameter simulasi sistem jaringan *macrocell-femtocell* transmisi *downlink* dengan mekanisme *closed access* pada hunian *urban deployment*.

Model *hexagonal grid* digunakan pada lapisan *macrocell*, di mana sistem jaringan ini berbentuk persegi enam sama sisi yang di tengahnya terdapat eNB sebagai pusat pengelolaan jaringan *macrocell*. Lapisan jaringan *macrocell* terdiri atas 19 *site macrocell*. Hanya sebuah jaringan *macrocell* terletak di tengah saja yang dianalisis performa kerjanya, sedangkan 18 *macrocell* lainnya memberikan interferensi kepada jaringan *macrocell* yang berada di tengah. Lapisan *femtocell* berbentuk 5 x 5 grid model, berbentuk persegi, dan merupakan model blok apartemen satu lantai [3].

Standar *wall penetration loss* digunakan sebesar 20 dB. Loss ini terjadi saat sinyal melewati dinding untuk melayani user yang berada di dalam ruangan. Dalam hal ini, akan terjadi kehilangan atau *loss* sebesar 20 dB saat melewati dinding. Nilai *noise* yang digunakan dalam simulasi model sistem ini adalah nilai *thermal noise density* yaitu -174 dBm. Model trafik menggunakan model *full buffer* untuk mensimulasikan transmisi data secara simultan pada waktu yang sama sehingga memastikan bahwa interferensi terjadi saat penggunaan RB yang sama. Hasil simulasi untuk topologi jaringan *macrocell-femtocell* dengan 19 eNB dapat dilihat pada Gbr. 2.

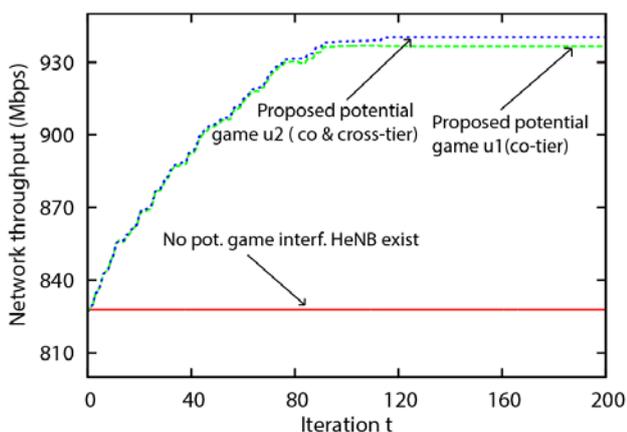
Gbr. 2 menampilkan hasil simulasi jaringan *macrocell-femtocell*. Segitiga hijau merupakan eNB yang tersebar sebanyak 19 *site* di mana satu *site* eNB di tengah akan diukur kinerja jaringannya. Jarak antar eNB adalah 500 m. Setiap sektor eNB terdapat sebanyak sepuluh MUE dan delapan HeNB di setiap blok apartemennya. Satu sektor eNB ini terdiri atas lima buah blok apartemen yang dapat dilihat pada Gbr. 2.



Gbr. 2 Model sistem jaringan *macrocell femtocell* dengan 19 site eNB.

B. Analisis Hasil Simulasi Konvergensi Strategi Best Response Menuju Nash Equilibrium

Permainan yang menggunakan pola khusus dan memenuhi karakteristik permainan potensial akan menjamin tercapainya kondisi stabil. Pola khusus tersebut adalah *distributed sequential play* di mana pemain bermain tanpa kendali terpusat, namun pada satu waktu hanya satu pemain yang melakukan aksi secara berurutan. Kondisi yang disebut sebagai Nash *equilibrium* menjamin *throughput user* berada dalam kondisi terbaiknya. Gbr. 3 menunjukkan kondisi konvergen dari strategi *best response* model sistem jaringan *macrocell femtocell*. Pada situasi ini, semua *user* berada pada kondisi terbaik dan *throughput* jaringan yang merupakan total *throughput* dari semua *user* akan maksimal.



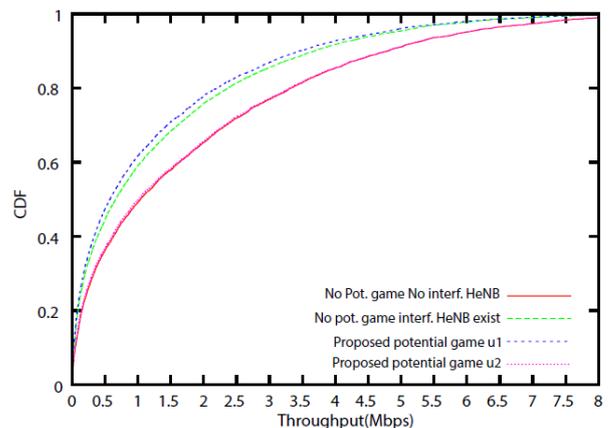
Gbr. 3 Konvergensi strategi *best response* menuju Nash *equilibrium*.

Selama proses permainan potensial berlangsung, baik pada u1 ataupun u2 terjadi proses pemilihan utilitas terbaik dengan menggunakan strategi *best response*. Grafik yang berwarna merah menunjukkan model sistem yang tidak melakukan permainan sehingga tidak ada perbaikan strategi sehingga *throughput* sistem konstan sebesar 828 Mbps. Sedangkan konvergen strategi *best response* dari pengukuran permainan potensial u1 dan u2 yang mempertimbangkan kondisi

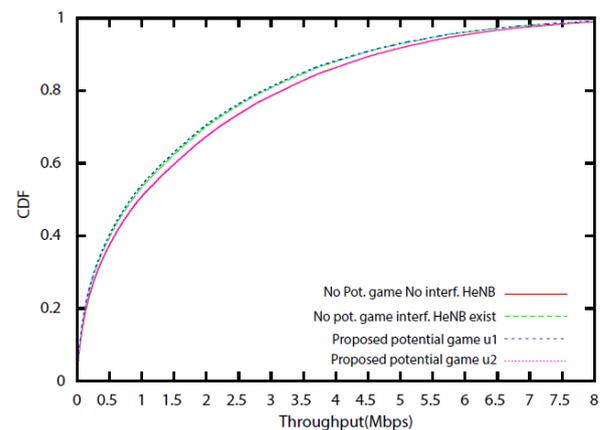
interferensi sebagai strategi untuk meningkatkan performa jaringan diperoleh dari sejumlah iterasi yang dilakukan. Saat konvergen, nilai *throughput* u1 sebesar 935 Mbps, lebih kecil dari u2 dikarenakan pengaruh interferensi yang dipertimbangkan oleh kedua pengukuran ini. Pada u1, pengaruh interferensi *cross-tier* tidak dipertimbangkan sebagai strategi dalam utilitas yang digunakan pemain. Tanpa memperhitungkan interferensi *cross-tier*, berarti interferensi antara eNB terhadap HeNB atau sebaliknya tidak bisa ditekan. Berbeda dengan u2, selain menekan interferensi *co-tier* juga menekan interferensi *cross-tier*, sehingga diperoleh performa yang lebih baik dibandingkan u1, yaitu sebesar 940 Mbps. Selain itu, dengan menggunakan permainan potensial diperoleh peningkatan *throughput* sistem yang lebih besar dibandingkan dengan model sistem tanpa menggunakan permainan potensial.

C. Analisis Throughput Hasil Simulasi

Pada skenario ini, nilai *throughput* yang diukur adalah nilai *throughput* dari HeNB. Nilai *Cummulative Distribution Function* (CDF) terhadap *throughput* yang diperoleh dapat dilihat pada Gbr. 4 hingga Gbr. 6.



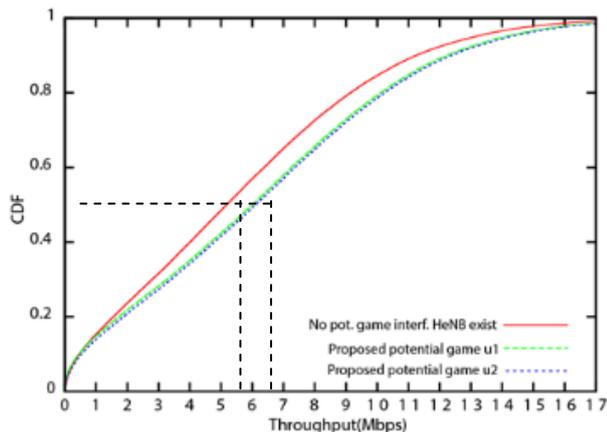
Gbr. 4 Grafik CDF terhadap *throughput* dari skenario (a).



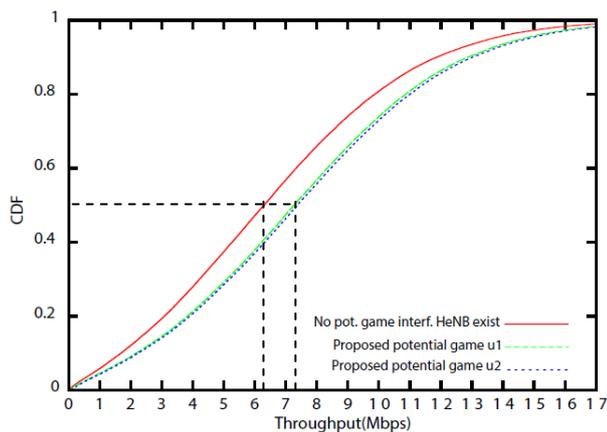
Gbr. 5 Grafik CDF terhadap *throughput* dari skenario (b).

Gbr. 4 hingga Gbr. 6 menunjukkan performa jaringan berdasarkan skenario yang dilakukan Gbr. 4 merupakan performa *throughput* dengan skenario di mana MUE berada di dalam ruangan (*indoor*) pada sisi eNB. Pada skenario (a) ini,

dapat dilihat grafik CDF terhadap *throughput* dari grafik pertama (merah) dan keempat (ungu) yang lebih rendah daripada dua grafik lainnya. Pada grafik kedua (hijau) yang memperhitungkan keberadaan HeNB grafiknya sedikit lebih rendah dibandingkan grafik ketiga (biru). Hal ini berarti permainan potensial dengan mempertimbangkan interferensi *co-tier* tidak memberikan efek yang signifikan terhadap peningkatan performa jaringan. Sedangkan pada grafik keempat terlihat terjadi perbaikan, walaupun tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan permainan potensial mempertimbangkan interferensi yang berasal dari eNB dan HeNB yang menggunakan RB yang sama.



Gbr. 6 Grafik CDF terhadap *throughput* dari skenario (c).



Gbr. 7 Grafik CDF terhadap *throughput* dari skenario (d).

Gbr. 5 merupakan performa *throughput* dengan skenario (b) di mana MUE berada di dalam dan luar ruangan. Grafik CDF terhadap *throughput* pada empat pengukuran memperlihatkan bahwa nilai *throughput* yang dicapai hampir sama. Pengukuran *throughput* eNB antara grafik pertama (merah) dan keempat (ungu) memberikan hasil yang hampir sama sehingga terletak pada garis yang berimpitan untuk kedua pengukuran ini. Selain itu, pengukuran *throughput* eNB antara grafik kedua (hijau) dan ketiga (biru) memberikan hasil yang hampir sama juga, sehingga terletak pada garis yang hampir berimpitan juga. Pengukuran dengan permainan potensial u1 memberikan hasil yang tidak sebaik u2. Hal ini ditunjukkan dengan grafik keempat (u2) yang lebih rendah dibandingkan grafik ketiga (u1). Pada permainan potensial u2 terlihat

perbaikan performa jaringan dengan memperoleh grafik yang berdekatan dengan grafik ketiga yang tidak mempertimbangkan interferensi dari BS femto.

Gbr. 6 merupakan performa *throughput* dari skenario (c), yaitu akumulasi eNB dan HeNB yang dipengaruhi oleh adanya interferensi dari eNB dan HeNB lain karena penggunaan RB yang sama untuk melayani MUE dan HUE. Setiap grafik pengukuran memperlihatkan hasil yang berbeda, terutama pada pengukuran tanpa menggunakan permainan potensial yaitu rata-rata 50% *user throughput* di atas 5,1 Mbps. Pada grafik kedua dengan permainan potensial u1 dan grafik ketiga menggunakan permainan potensial u2 terlihat hasil hampir sama yaitu rata-rata 50% *user throughput* di atas 6,1 Mbps walaupun jika dilihat lebih detail, pengukuran menggunakan permainan potensial u2 akan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan u1.

Grafik pada Gbr. 7 merupakan performa *throughput* dari skenario (d) saat adanya interferensi dari eNB dan HeNB lain yang menggunakan RB yang sama pada sisi HeNB. Gbr. 7 menunjukkan bahwa dengan permainan potensial dan mempertimbangkan interferensi *co-tier* dan *cross-tier* pada kurva ketiga, diperoleh kurva yang lebih baik daripada dua grafik lainnya yaitu rata-rata 50% *user throughput* di atas 7,3 Mbps. Kurva kedua dengan permainan potensial u1 memperlihatkan perbaikan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan kurva pertama yang tidak menggunakan permainan potensial.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan. Alokasi RB secara dinamis pada jaringan *macrocell-femtocell* dengan transmisi *downlink* dengan model *closed access* telah dilakukan dan diperoleh hasil peningkatan performa jaringan seluler untuk area indoor. Permainan potensial dengan mempertimbangkan interferensi yang terjadi digunakan dalam pemilihan alokasi RB secara dinamis pada HeNB. Setiap RB dengan nilai utilitas terbaik dalam permainan yang dilakukan akan dipilih pada setiap permainan berulang sampai kondisi Nash *equilibrium* tercapai. Hasil simulasi konvergensi strategi *best response* yang diperoleh pada masing-masing topologi menunjukkan kondisi Nash *equilibrium* yang tidak sama dan dapat dikatakan kondisi Nash *equilibrium* dalam penelitian ini tidak unik. Pada kondisi Nash *equilibrium* dengan fungsi utilitas u2 dicapai sistem *throughput* tertinggi yaitu sebesar 940 Mbps. Dari permainan potensial dengan mempertimbangkan interferensi *co-tier* dan *cross-tier* diperoleh hasil *throughput* sistem yang lebih baik dibandingkan dengan hanya mempertimbangkan interferensi *co-tier* saja, dengan rata-rata 50% *user throughput* di atas 7,3 Mbps. Alokasi RB dengan permainan potensial menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan alokasi RB acak.

REFERENSI

- [1] Damnjanovic, A., Montojo, J., Wei, Y., Ji, T., Luo, T., Vajapeyam, M., Yoo, T., Song, O., and Malladi, D., *A Survey On 3GPP Heterogeneous Networks*. IEEE Wirel. Commun., vol. 18 no. 3 (hlm. 10–21), 2011.

- [2] Sang, Y. J., Hwang, H. G., and Kim, K. S., A Self-Organized *Femtocell* for IEEE 802.16e System. GLOBECOM - IEEE Glob. Telecommun. Conference (hlm. 1–5), 2009.
- [3] 3GPP TR 136 942 v10.2.0., LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios (3GPP TR 36.942 version 10.2.0 Release 10), 2011.
- [4] Chandrasekhar, V. and Andrews, J., *Spectrum allocation in tiered cellular networks*. IEEE Trans. Commun., vol. 57, no. 10 (hlm. 3059–3068), 2009.
- [5] Chandrasekhar, V., Andrews, J., and Gatherer, A. *Femtocell Networks : A Survey*. Commun. Mag. IEEE, vol. 46 (hlm. 59–67), 2008.
- [6] Mitola, J. and Maguire, G. Q., *Cognitive radio: making software radios more personal*. IEEE Pers. Commun., vol. 6, no. 4 (hlm. 13–18), 1999.
- [7] Haykin, S., *Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications*. IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 23, no. 2 (hlm. 201–220), 2005.
- [8] Cheng, S.-M., Lien, S.-Y., Chu, F. S., and Chen, K.-Ch., On Exploiting Cognitive Radio to Mitigate Interference in Macro / Femto Heterogeneous Networks. Wirel. Commun. IEEE, vol. 18, no. J3. (hlm. 40–47), 2011.
- [9] Felegyhazi, M. and Hubaux, J., *Game theory in Wireless Networks : A Tutorial*. EPFL Tech. Report, LCA-REPORT-2006-002, vol. 1 (hlm. 1–15), 2007.
- [10] Wang, B., Wu, Y., and Liu, K. J. R., *Game theory for cognitive radio networks: An overview*. Comput. Networks, vol. 54, no. 14 (hlm. 2537–2561), 2010.
- [11] MacKenzie A.B. and Wicker S. B., “*Game theory and the design of self-configuring, adaptive wireless networks,*” *IEEE Commun. Mag.*, pp. 126–131, Nov. 2001.
- [12] Song, J., Ge, J., Li, J., and Cong, L., Game-theoretic resource allocation of the cognitive *Base station* in two-tie co-existing *femtocell* networks. Int. Conf. Intell. Netw. Collab. Syst. 4th (hlm. 525–530), 2012 .
- [13] Sugathapala, I. and Rajatheva, N., *Game theory Based Capacity and Power Optimization in OFDMA Femtocell Networks*. 6th Int. Conf. Ind. Inf. Syst. ICIS 2011 - Conf. Proc. (hlm. 120–124), 2011.
- [14] Mustika, I. W., Yamamoto, K., Murata, H., and Yoshida, S., *Potential Game Approach for Self-Organized Interference Management in Closed Access Femtocell Networks*. IEEE 73rd Veh. Technol. Conference (hlm. 1–5), 2011.
- [15] Nie, N. and Comaniciu, C., Adaptive channel allocation spectrum etiquette for cognitive radio networks. First IEEE Int’l. Symp. New Front. Dyn. Spectr. Access Networks, 2005.
- [16] Anggun Fitriani Isnawati, Risanuri Hidayat, Selo Sulistyio, I Wayan Mustika, “Feasible Solution of Centralized Power Control for Multi Channel Cognitive Femtocell Network,” *Proc. of 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Chiang Mai, Thailand, Oct. 2015.
- [17] 3GPP TR 36.814 V9.0.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9). no. Release 9, 2010.
- [18] Fudenberg, D. and Tirole, J., *Game Theory*. The MIT Press, 1991.