

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian mengenai topik *game theory* telah dikembangkan dalam beberapa penelitian. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa referensi jurnal penelitian sebagai bahan kajian pustaka. Berikut adalah kajian pustaka dari beberapa publikasi ilmiah dalam lingkup pembahasan terkait *Game Theory*.

Peneliti [9] membahas tentang kinerja dari *power control game* (PCG *proposed*) yang membandingkan dengan metode sebelumnya yaitu algoritma Koskie Gajic, Zhao Chenglin, Al Gumaei, Luyong Zhang, Thalabani. Adapun parameter yang diujikan diantaranya SINR, *user power*, dan *the avarage of itteration time*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya jumlah pengguna, daya yang dikonsumsi dan jumlah iterasi yang diperlukan untuk mencapai kondisi keseimbangan *Nash* juga meningkat. Tetapi peningkatan jumlah pengguna mengurangi SINR yang dicapai. Namun dalam hal ini sistem masih layak digunakan.

Peneliti [10] membahas tentang kinerja dari metode pemilihan kanal menggunakan pendekatan *game theory* yang bertujuan untuk meminimalisir jumlah interferensi SU terhadap PU pada jaringan radio kognitif. Unjuk kerja jaringan radio kognitif dapat ditingkatkan dengan menggunakan pemilihan kanal dengan pendekatan *game theory*. Pada jaringan radio kognitif tanpa keberadaan PU, nilai *throughput* tanpa pendekatan *game theory* PU sebesar 20,28 bps sedangkan dengan pendekatan *game theory* sebesar 23,58 bps. Nilai rata-rata SIR tanpa pendekatan *game theory* sebesar 18,08 dB sedangkan dengan pendekatan *game theory* sebesar 21,4 dB. Hasil dari penelitian ini ialah nilai *troughput* dan SIR dengan pendekatan *game theory* mengalami peningkatan.

Peneliti [11] membahas tentang unjuk kerja dari sistem kendali daya terpusat *centralized power control* (CPC) berdasarkan metode penyelesaian menggunakan algoritma solusi yang layak (*fesible solution*). Penelitian ini difokuskan pada *single channel* dan *multi-channel* yang diterapkan pada *multi-user*. Skema yang diuji berupa kelayakan, jika *user* memiliki nilai daya yang non-

negatif maka solusi yang didapat tercapai. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada 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*. Sedangkan pada kondisi *infeasible*, daya *user* pada *power vector* ada yang bernilai negatif dan beberapa *user* tidak mencapai SINR target. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan *user* pada penggunaan *channel* bersama sehingga menurunkan nilai SINR yang diterima *user*.

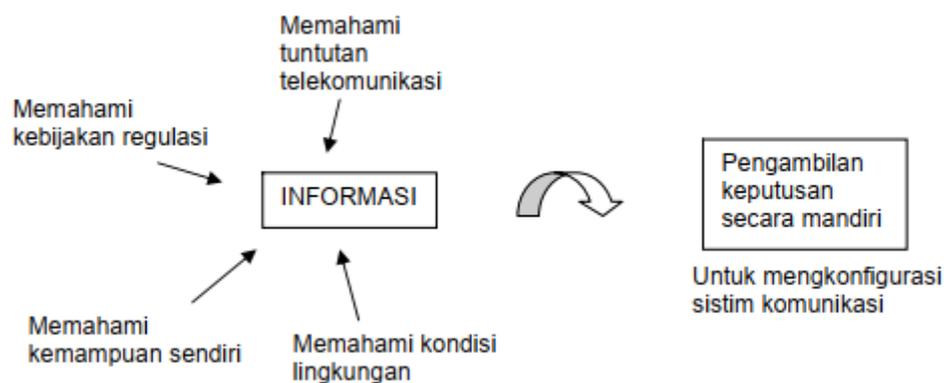
Peneliti [12] membandingkan metode kontrol daya antara DPC dan PCG dalam jaringan *cognitive femtocell*. Hasil menunjukkan bahwa DPC memiliki tingkat konvergensi yang lebih tinggi daripada PCG tetapi maksimum nilai DPC hanya sama dengan target SINR, sedangkan PCG pada kondisi konvergen mampu melebihi SINR target, namun memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari PCG sebelumnya yang tidak dapat mencapai target SINR tetapi membutuhkan daya yang lebih rendah untuk mencapai kondisi konvergen.

## 2.2 LANDASAN TEORI

### 2.2.1 *Cognitive Radio* (CR)

Istilah radio kognitif (*cognitive radio*) pertama kali diperkenalkan oleh Mitola, yang mana, radio kognitif didefinisikan sebagai sistem radio yang memahami konteks keberadaan dalam suatu lingkungan komunikasi, yang bisa mengatur parameternya secara optimal dalam melakukan proses komunikasi. Sejak saat itu, istilah *cognitive* sering digunakan oleh para peneliti di seluruh dunia, dengan berbagai macam penamaannya. Istilah sederhana untuk menggambarkan radio kognitif adalah sebuah radio yang sangat cerdas. Sistem radio memang semakin bertambah cerdas dalam beberapa dekade terakhir ini, misalnya, alat komunikasi generasi ketiga (3G) yang mampu untuk mengubah level daya pancarnya secara dinamis sesuai dengan kondisi di lapangan. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) menawarkan sistem modulasi yang adaptif. Sistem WiMAX mampu mengubah jenis modulasi digital yang digunakan sesuai dengan kondisi kualitas sinyal terima dibandingkan dengan *noise, carrier to interference ratio* (C/I) [2].

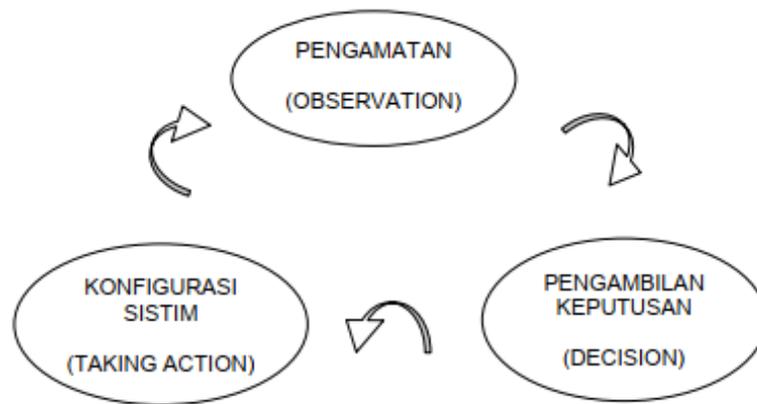
Sistem radio kognitif juga menggunakan sifat adaptif, bahkan lebih dari itu. Derajat adaptasinya yang membesar secara signifikan dan jika memungkinkan, diaplikasikan pada banyak parameter kerja, seperti frekuensi kerja, daya pancar, skema modulasi, diagram pancar antena, penggunaan baterai, penggunaan prosesor, dan lain sebagainya. Adaptasi sistem juga bisa berlangsung secara direncanakan atau juga tidak direncanakan. Sistem akan mempelajari pola penyesuaian kondisi di lapangan, kondisi-kondisi yang berulang kali terjadi dan pengalaman yang lalu, akan digunakan untuk mengantisipasi kejadian yang akan datang [2].



**Gambar 2.1 Proses *Cognitive* pada Sistem Radio [2]**

Radio kognitif adalah sebuah sistem yang memiliki empat jenis masukan (*input*), yaitu kondisi lingkungan, kondisi sistem itu sendiri, kebijakan regulasi yang berlaku, dan tuntutan telekomunikasi (Gambar 2.1). Sistem radio kognitif harus benar-benar mengenal posisi dan kondisi kerjanya. Keempat masukan tadi akan menjadi bahan pemikiran sistem tersebut untuk mengambil suatu tindakan secara mandiri, yaitu berupa konfigurasi sistem untuk menyesuaikan dengan tuntutan yang ada dengan tetap memperhatikan batasan-batasan dan konflik (*interferensi*) yang mungkin akan muncul akibat keputusan tadi [2].

Gambar 2.2 menunjukkan siklus radio kognitif yang terdiri dari tiga langkah penting: *observation – decision – act*.



**Gambar 2.2 Siklus Sistem Kognitif [2]**

**a) Pengamatan Kondisi (*Observation*)**

Untuk melakukan pen-*settingan* secara terarah terhadap parameter-parameter diperlukan masukan yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Informasi mengenai regulasi didapatkan dari lembaga yang berwenang, di mana sistem radio kognitif akan digunakan, informasi mengenai kemampuan piranti radio kognitif harus diketahui dan disimpan dari produsen piranti tersebut. Dua informasi lainnya, yaitu tuntutan komunikasi dan Informasi mengenai lingkungan tempat sistem radio kognitif didapatkan dengan pengamatan berupa pengukuran dari sinyal dan karakternya. Dalam realitanya, sangat mungkin semua informasi ini bukan didapatkan secara mandiri oleh sistem radio kognitif, tetapi dapat bantuan pemberian informasi dari pihak eksternal [2].

Salah satu faktor pemicu munculnya sistem radio kognitif adalah kebutuhan yang mendesak akan spektrum frekuensi, sebagai sumber daya dasar dari sebuah komunikasi nirkabel. Kelangkaan spektrum ini menyebabkan naiknya harga perMHz dan terhambatnya perkembangan aplikasi-aplikasi komunikasi lainnya. Cara alokasi (*allocation*) dan penyerahan (*assignment*) spektrum yang konvensional juga menyebabkan penggunaan yang tidak efisien dan kaku [2].

**b) Pengambilan Keputusan (*Decision*)**

Pengambilan keputusan pada sistem radio kognitif adalah proses memilih, parameter mana yang akan di-*setting*. Pada dasarnya yang dilakukan radio kognitif pada langkah ini ada dua hal [2]:

- 1) Sistem radio kognitif membentuk profil transmisinya dengan men-*setting* beraneka ragam parameter, sehingga spektrum frekuensi bisa dimanfaatkan secara maksimal tanpa menimbulkan interferensi.
- 2) Jika terjadi perubahan pada kondisi spektrum yang ada, maka sistem radio kognitif akan kembali membentuk profil baru.
- c) Konfigurasi Sistem Kognitif (*Taking Action*)

Dalam melakukan konfigurasi sistem *cognitive* dilakukan pengaturan parameter pada sistem tersebut. Ada banyak pengaturan yang dapat dilakukan, mulai dari frekuensi, lebar pita frekuensi (*bandwidth*), teknik modulasi, kuat sinyal, daya pancar, dan sebagainya [2].

- 1) Konfigurasi Berdasarkan Sudut Pandang Frekuensi

Komponen penerima dari sistem radio kognitif harus mampu untuk bisa mendeteksi wilayah spektrum yang kosong secara akurat, di mana dan seberapa lebar. Sistem radio kognitif ini kemudian menggunakan wilayah yang kosong tersebut untuk suatu waktu tertentu, sampai ia harus kembali meninggalkannya.

- 2) Konfigurasi dari sudut pandang lokasi geografis

Dalam beberapa kondisi, sangat mungkin spektrum yang bisa digunakan hanya berlaku untuk suatu wilayah atau *sector* arah tertentu. Hal ini dikarenakan adanya beberapa skema posisi antar *user* baik *user* utama ataupun *user* sekunder terkait dengan catuan oleh stasiun pengendali (misalnya BTS).

- 3) Konfigurasi dari sudut pandang ketahanan sinyal

Pada bagian sebelumnya, ditunjukkan konfigurasi frekuensi kerja, daya pancar dan bentuk pancaran antena dari sistem radio kognitif. Selain itu diharapkan juga sistem ini bisa mengubah bentuk modulasinya. Misalnya sistem *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM), bisa menjadi suatu pilihan utama, jika sistem komunikasi berada di lingkungan *multipath*.

Jenis modulasi dan orde pemodulasian juga menentukan resistensi dari sinyal tersebut terhadap *derau*. Diketahui modulasi orde tinggi sangat mudah untuk diganggu *derau*, yang akan mengakibatkan bertambahnya *bit error rate* (BER).

Penggunaan pengkodean saluran dengan *coding rate* yang rendah akan menaikkan resistensi sinyal dari gangguan, karena di dalam sinyal tersebut terdapat cukup *parity* yang bisa membantu piranti penerima dalam melakukan proses *error detection and correction*.

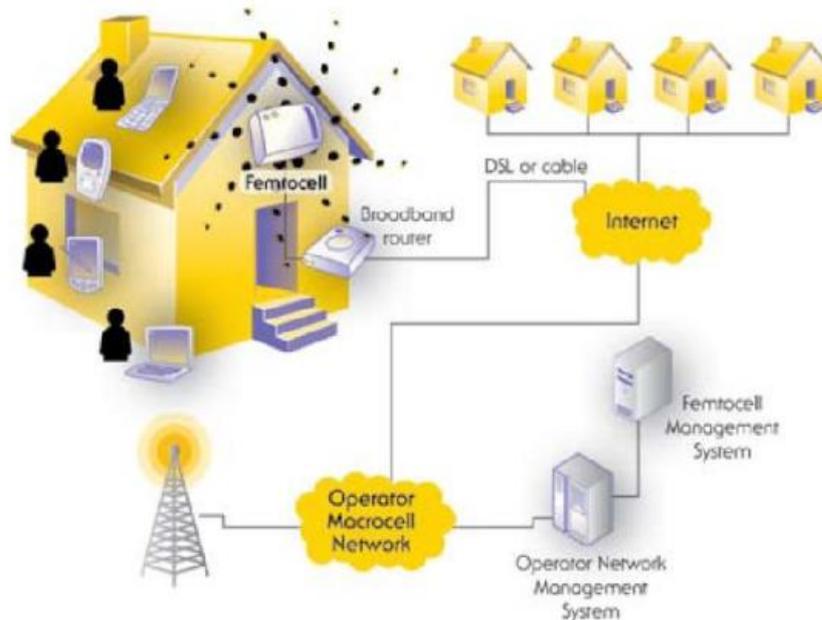
#### 4) Konfigurasi dari sudut pandang kecepatan transfer data

Konfigurasi sistem yang akan mengubah kecepatan transfer data telah diceritakan sebahagian pada bagian 3. Modulasi dan koding merupakan proses yang langsung bisa menaikkan atau menurunkan kecepatan transfer data. Terjadi kompromis (*trade-off*) antara kecepatan transfer data dengan rentanitas sinyal dari gangguan.

### **2.2.2 Femtocell**

*Femtocell* merupakan sebuah *access point* berdaya pancar rendah dengan berbasiskan teknologi komunikasi bergerak yang dapat memberikan layanan suara dan data nirkabel kepada para pengguna jaringan komunikasi bergerak di dalam lingkungan rumah atau lingkungan perkantoran. *Femtocell* menggunakan jaringan *broadband* standar berbasis teknologi TCP/IP yang disediakan oleh penyedia layanan internet (seperti ADSL, HFC atau jaringan optik) untuk menyalurkan data dan suara dari *femtocell* ke jaringan milik penyedia layanan bergerak [13].

Umumnya, sebuah *femtocell* akan menyediakan layanan suara secara simultan kepada minimal 4 (empat) orang pengguna di dalam rumah, disamping itu juga memungkinkan pengguna lain untuk terhubung ataupun dilayani untuk mengakses layanan lain seperti SMS. Selain itu, *femtocell* juga dapat menyediakan layanan data kepada beberapa pengguna, umumnya pada laju data puncak tergantung dengan teknologi *air interface* yang digunakan [13].



**Gambar 2.3 Diagram Umum Jaringan *Femtocell* [13]**

Pada Gambar 2.3 menggambarkan bagaimana *femtocell* dapat terintegrasi dengan infrastruktur jaringan. Aliran data-data dari banyak *femtocell* dikonsentrasikan bersama di dalam sebuah *gateway*, yang diatur oleh operator seluler dan kemudian disalurkan ke jaringan inti operator tersebut untuk diproses bersama dengan aliran data dari sel makro lain. Jaringan inti operator juga memiliki sistem manajemen yang menyediakan layanan-layanan pada *femtocell* untuk memastikan bahwa layanan-layanan yang dinikmati oleh pengguna memiliki tingkat keamanan dan kualitas yang tinggi dan dapat beroperasi bersama dengan sinyal-sinyal dari *femtocell* lain maupun jaringan luar [13].

Pada prakteknya, *femtocell* dapat berupa perangkat mandiri yang terhubung ke router jaringan *broadband* pelanggan, atau dapat berupa salah satu bagian dari perangkat *home gateway* pelanggan yang menggabungkan fungsi-fungsi router dengan teknologi-teknologi lain, seperti *broadband modem*, internet router dan *Wi-Fi access point*. *Femtocell* secara teknologi diposisikan sebagai perangkat konsumen sehingga secara desain disesuaikan dengan lingkungan instalasi rumah dan dapat diproduksi dalam jumlah yang bersamaan bersamaan dengan produk konsumen lain. Dari sisi pandang tersebut, maka *femtocell* dapat disamakan

dengan perangkat *nirkable* rumah lain seperti *cordless telephone* dan *Wi-fi access point* [13].

*Femtocell* memiliki keunggulan dan kekurangan yang perlu dipertimbangkan ketika memutuskan apakah akan menggunakannya dalam jaringan seluler. Berikut adalah beberapa keunggulan dan kekurangan *femtocell* [13]:

**a) Keunggulan *Femtocell***

1) Meningkatkan Cakupan di Area Dalam

Salah satu keunggulan utama *femtocell* adalah kemampuannya untuk meningkatkan cakupan sinyal seluler di area dalam, seperti rumah atau gedung perkantoran. Ini membantu mengatasi masalah cakupan yang buruk di dalam ruangan.

2) Meningkatkan Kualitas Panggilan

*Femtocell* meningkatkan kualitas panggilan telepon dan mengurangi masalah panggilan yang terpotong atau putus-putus karena sinyal yang lemah.

3) Kecepatan Data yang Lebih Tinggi

*Femtocell* juga dapat meningkatkan kecepatan data seluler di dalam ruangan, sehingga pengguna dapat mengakses internet dengan lebih cepat.

4) Pengaturan Mudah

Biasanya, pengaturan dan konfigurasi *femtocell* adalah proses yang relatif mudah, dan sebagian besar perangkat dilengkapi dengan panduan yang jelas.

5) Keamanan

*Femtocell* sering dilengkapi dengan mekanisme keamanan yang kuat untuk melindungi panggilan dan data pengguna.

6) Koneksi ke Internet

*Femtocell* biasanya menggunakan koneksi internet yang ada untuk menghubungkan panggilan dan data ke jaringan seluler. Ini dapat membantu mengurangi beban jaringan operator seluler.

**b) Kekurangan *Femtocell***

1) Biaya

*Femtocell* awalnya memerlukan investasi dalam perangkat kerasnya. Anda perlu membeli perangkat *femtocell* dan menghubungkannya ke koneksi internet yang ada.

2) Konfigurasi dan Kompatibilitas

Beberapa pengguna mungkin mengalami kesulitan dalam mengonfigurasi *femtocell* atau menemukan bahwa perangkat mereka tidak kompatibel dengan jaringan atau operator seluler tertentu.

3) Ketergantungan pada Koneksi Internet

*Femtocell* bergantung pada koneksi internet yang stabil. Jika koneksi internet terputus, *femtocell* mungkin tidak berfungsi dengan baik.

4) Pemeliharaan

*Femtocell* memerlukan pemeliharaan yang teratur, seperti pembaruan perangkat lunak, untuk memastikan kinerjanya tetap optimal.

5) Kapasitas Terbatas

Kapasitas *femtocell* terbatas, dan jumlah pengguna yang dapat terhubung secara bersamaan mungkin dibatasi. Ini dapat menjadi masalah dalam lingkungan dengan banyak pengguna.

6) Pemakaian Energi

*Femtocell* terus beroperasi dan menggunakan daya listrik selama aktif. Meskipun penggunaan daya biasanya rendah, ini bisa memengaruhi tagihan listrik.

7) Lokasi Fisik

*Femtocell* hanya berfungsi di lokasi di mana perangkat tersebut terpasang. Jika ingin cakupan yang lebih baik di luar area tersebut, maka perlu memasang *femtocell* tambahan.

Keputusan untuk menggunakan *femtocell* harus didasarkan pada kebutuhan spesifik dan kondisi lingkungan. Ini adalah solusi yang berguna untuk meningkatkan cakupan dan kualitas sinyal di dalam ruangan, tetapi juga perlu

mempertimbangkan biaya, kompatibilitas, dan faktor lainnya sebelum memutuskan untuk menggunakannya.

### **2.2.3 Power Control**

*Power control* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam melakukan manajemen interferensi komunikasi jaringan seluler. Metode ini bekerja dengan mengatur atau mengontrol besaran daya yang digunakan perangkat dalam transmisi baik oleh perangkat eNB maupun perangkat *user equipment* (UE) sehingga daya interferensi dapat diminimalisasi karena level interferensi yang tinggi dari sel tetangga dapat membatasi area cakupan jika yang menjadi sumber interferensi tersebut tidak dikontrol dayanya. Metode ini memperbaiki beberapa parameter seperti SINR, *throughput*, dan BER. Kontrol daya dalam transmisi yang dilakukan *user equipment* (UE) merupakan hal yang dibutuhkan. Agar daya pancar sesuai dengan kebutuhan dan meningkatkan parameter QoS sehingga pengaruh interferensi yang diterima dapat diminimalisir. Selain itu metode ini juga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum dan kualitas layanan [14].

#### **a) Mekanisme Uplink Power Control**

Mekanisme *uplink power control* adalah serangkaian langkah dan aturan yang digunakan dalam sistem komunikasi seluler untuk mengatur daya transmisi dari perangkat seluler (*mobile device*) ke stasiun dasar (*base station*) dalam arah *uplink* (dari perangkat seluler ke stasiun dasar). Tujuan utama dari mekanisme ini adalah untuk menjaga kualitas layanan yang baik, mengurangi interferensi, dan menghemat energi. Berikut adalah beberapa aspek utama dari mekanisme *uplink power control* [15]:

##### 1) Pengukuran Saluran

Perangkat seluler dan stasiun dasar biasanya melakukan pengukuran terus-menerus terhadap kualitas sinyal yang diterima. Ini termasuk mengukur daya sinyal yang diterima, tingkat interferensi, dan berbagai parameter lain yang relevan.

## 2) Umpan Balik

Stasiun dasar memberikan umpan balik (*feedback*) ke perangkat seluler tentang kualitas sinyal yang diterima. Umpan balik ini dapat berupa perintah untuk menaikkan atau menurunkan daya transmisi, tergantung pada kondisi jaringan dan kualitas sinyal.

## 3) Algoritma Pengendalian Daya

Algoritma pengendalian daya digunakan di perangkat seluler untuk menghitung daya transmisi yang sesuai berdasarkan umpan balik yang diterima dan kondisi saluran komunikasi saat itu. Algoritma ini dapat berbeda-beda tergantung pada sistem komunikasi dan kebutuhan jaringan.

## 4) Dinamis dan Terdistribusi

Mekanisme *uplink power control* seringkali bersifat dinamis, di mana daya transmisi dapat diubah secara otomatis seiring perubahan kondisi jaringan atau jarak antara perangkat seluler dan stasiun dasar. Selain itu, setiap perangkat seluler dapat mengatur daya transmisinya sendiri berdasarkan umpan balik yang mereka terima.

## 5) Pengoptimalkan Kualitas Layanan

Tujuan utama adalah menjaga kualitas layanan yang memadai, seperti tingkat *Bit Error Rate* (BER) atau *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dengan mengatur daya transmisi sesuai dengan kondisi jaringan. Hal ini dapat mencakup peningkatan daya transmisi saat sinyal lemah atau pengurangan daya saat sinyal kuat.

## 6) Penghematan Energi

Mekanisme *uplink power control* juga dapat membantu menghemat energi pada perangkat seluler dengan mengurangi daya transmisi saat tidak diperlukan. Ini dapat membantu memperpanjang masa pakai baterai perangkat seluler.

Mekanisme *uplink power control* adalah bagian penting dari teknologi seluler modern yang membantu memastikan kualitas layanan yang baik, efisiensi spektrum, dan penghematan energi dalam jaringan seluler. Hal ini memungkinkan jaringan seluler untuk beroperasi secara efisien dalam berbagai kondisi dan mengoptimalkan pengalaman pengguna.

Mekanisme *uplink power control* dibagi menjadi 2 jenis yakni *open loop power control*, dan *closed loop power control* [15].

1) *Open Loop Power control*

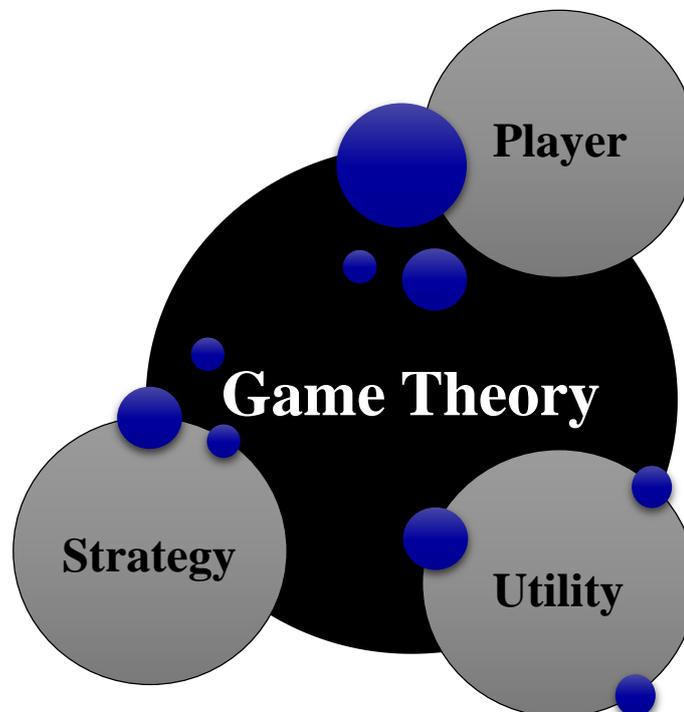
*User equipment* (UE) menentukan daya transmisi dengan algoritma pengaturan daya sendiri. Algoritma pengaturan daya ini menerima banyak masukan, tetapi semua masukan ini berasal dari pengaturan internal *user equipment* (UE) atau data pengukuran oleh *user equipment* (UE), tidak ada masukan umpan balik dari eNB.

2) *Closed Loop Power control*

Sedangkan dalam *close loop power control* terdapat umpan balik dari eNB ke *user equipment* (UE) untuk mengoreksi daya pancar *user*.

#### 2.2.4 *Game Theory*

Teori permainan adalah metode pengambilan keputusan yang optimal dikombinasikan dengan model matematika terapan yang bertujuan untuk mengidentifikasi interaksi antara individu atau struktur lain (seperti tim atau institusi) dari situasi persaingan yang berbeda.



Gambar 2.4 Konsep Teori Permainan [16]

Gambar 2.4 merupakan pemodelan dari tiga konsep teori permainan yaitu, *player*, *strategy*, dan *utility*. Teori permainan juga dapat dikatakan sebagai suatu algoritma untuk menganalisis strategi antar pemain dalam situasi persaingan untuk mencapai kondisi kesetimbangan nash. Kesetimbangan nash adalah kondisi terbaik dengan strategi yang digunakan oleh masing-masing pemain [16].

**a) Konsep Dasar *Game Theory***

Sebuah model *game theory* memiliki komponen dasar dalam menyelesaikan suatu persaingan. Model *game theory* meliputi tiga elemen utama yakni (1) pengambil keputusan/ pemain (*player*), (2) strategi permainan (*strategy*) dan (3) fungsi utilitas (*utility function/ payoff*). Pemodelan *game theory* secara umum dituliskan pada persamaan [17].

$$G = [P, S, U] \tag{2.1}$$

Keterangan:

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$  adalah pengambil keputusan/ pemain pada model *game theory*.

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$  adalah strategi permainan setiap pemain pada model *game theory*.

$U = \{U_1(s), U_2(s), \dots, U_N(s)\}$  adalah fungsi utilitas pada model *game theory*.

Berikut merupakan penjelasan singkat mengenai masing-masing konsep dasar teori permainan [17]:

1) *Player* (Pemain)

*Player* atau pemain adalah individu atau entitas yang terlibat dalam permainan atau interaksi strategis. Pemain membuat keputusan berdasarkan tujuan dan preferensi mereka dalam upaya untuk mencapai hasil yang diinginkan. Dalam teori permainan, pemain sering diberi label sebagai Pemain 1, Pemain 2, dan seterusnya, untuk mempermudah analisis.

2) *Strategy* (Strategi)

Strategi adalah serangkaian tindakan yang dipilih oleh pemain dalam permainan. Setiap pemain memiliki seperangkat strategi yang tersedia untuk mereka. Strategi menggambarkan cara pemain berperilaku atau bertindak dalam situasi permainan tertentu. Pemain memilih strategi berdasarkan informasi yang mereka miliki, preferensi, dan tujuan mereka. Contoh strategi

dalam permainan sederhana adalah "Kooperatif" dan "Tidak Kooperatif" dalam permainan tawar-menawar, atau "Lari" dan "Bertahan" dalam permainan sepak bola.

### 3) *Utility* (Utilitas)

Utilitas adalah ukuran atau nilai yang digunakan untuk mewakili kepuasan atau manfaat yang diperoleh oleh pemain dari hasil permainan berdasarkan kombinasi strategi yang dipilih oleh semua pemain. Utilitas adalah cara mengukur preferensi pemain terhadap hasil yang mungkin terjadi dalam permainan. Semakin besar utilitas, semakin diinginkan hasilnya oleh pemain. Dalam matriks bayaran (*payoff matrix*) dalam teori permainan, utilitas digunakan untuk menentukan seberapa menguntungkan atau merugikan hasil dari kombinasi strategi yang berbeda bagi setiap pemain. Contoh: Dalam permainan "*The Prisoner's Dilemma*," dua narapidana ditangkap dan diberi pilihan untuk memberikan kesaksian atau bungkam. Pada dasarnya, setiap narapidana memiliki dua strategi: "Bungkam" atau "Memberi Kesaksian." Utilitasnya dapat diukur dengan seberapa lama mereka dihukum penjara. Jika keduanya memilih "Bungkam," mereka akan mendapat hukuman yang lebih ringan. Namun, jika satu narapidana memilih "Memberi Kesaksian" dan yang lainnya "Bungkam," yang memberi kesaksian akan mendapat hukuman yang lebih ringan sementara yang lain akan mendapat hukuman yang lebih berat. Dalam hal ini, utilitas digunakan untuk mengukur keuntungan atau kerugian masing-masing narapidana tergantung pada strategi yang mereka pilih.

Dengan demikian, player, strategi, dan utilitas adalah konsep-konsep yang mendasar dalam analisis teori permainan yang membantu menggambarkan interaksi dan pengambilan keputusan pemain dalam berbagai situasi strategis.

#### **b) Jenis *Game Theory***

Model permainan dikembangkan untuk digunakan pada berbagai jenis aplikasi. Model permainan juga bertujuan untuk menemukan kondisi kesetimbangan (*equilibrium*) dan memutuskan kapan kondisi-kondisi ini dapat diterima untuk aplikasi dan mendapatkan parameter optimasi yang memaksa sistem untuk mencapai kondisi setimbang yang diinginkan. Di bawah ini adalah beberapa jenis permainan dari teori permainan yang umum [17]:

1) *Cooperative Game*

Adalah permainan yang semua pemain cenderung memikirkan manfaat secara keseluruhan dan tidak memikirkan tentang keuntungan pribadi. Dengan demikian, pemain sepenuhnya bekerja sama satu sama lain untuk mencapai kemungkinan manfaat secara keseluruhan tertinggi, seperti halnya pemain dalam sebuah pertandingan sepak bola. Pada prakteknya, *cooperative game* memerlukan *signalization* tambahan atau persetujuan antara para pengambil keputusan dan karena solusinya berdasarkan pada kedua unsur tersebut sehingga mungkin akan lebih sulit untuk diwujudkan.

2) *Non-Cooperative Game*

Adalah permainan yang setiap pemain cenderung memikirkan tentang hasil pribadinya dan karena itu semua keputusan dibuat kompetitif dan egois. Dengan demikian, *game* ini juga disebut sebagai *competitive game*.

3) Permainan *Zero-Sum*

Dalam permainan *zero-sum*, keuntungan satu pemain selalu sebanding dengan kerugian pemain lainnya. Artinya, jumlah total keuntungan dan kerugian dalam permainan ini selalu nol. Poker adalah contoh permainan *zero-sum* karena setiap keuntungan yang dimenangkan oleh satu pemain adalah kerugian bagi pemain lain.

4) Permainan *Non-Zero-Sum*

Permainan *non-zero-sum* adalah jenis permainan di mana hasilnya bisa bersifat saling menguntungkan atau merugikan antara pemain. Dalam situasi ini, tidak ada jaminan bahwa keuntungan satu pemain akan sebanding dengan kerugian pemain lain.

5) Permainan Statis dan Dinamis

Permainan statis adalah permainan di mana pemain membuat keputusan hanya sekali, sedangkan dalam permainan dinamis, pemain berinteraksi berulang kali dan membuat keputusan seiring berjalannya waktu. Contoh permainan dinamis adalah "*The Prisoner's Dilemma*" yang dimainkan secara berulang.

6) Permainan Nol, Satu, dan Banyak Pemain

Permainan nol pemain adalah permainan yang melibatkan satu pemain yang berusaha mencapai tujuannya tanpa ada pemain lain yang terlibat. Permainan satu pemain adalah permainan di mana satu pemain harus membuat keputusan strategis tanpa ada pemain lain yang terlibat. Permainan banyak pemain melibatkan lebih dari satu pemain dalam interaksi strategis.

7) Permainan Simetris dan Asimetris

Dalam permainan simetris, pemain memiliki peran dan strategi yang serupa, sementara dalam permainan asimetris, pemain memiliki peran dan strategi yang berbeda. Poker adalah contoh permainan simetris, sementara perang adalah contoh permainan asimetris.

8) Permainan Berdasarkan Informasi Penuh dan Tidak Penuh

Dalam permainan berdasarkan informasi penuh, setiap pemain memiliki akses ke seluruh informasi tentang permainan, sementara dalam permainan berdasarkan informasi tidak penuh, pemain mungkin memiliki informasi terbatas atau tidak lengkap tentang situasi permainan.

9) Permainan Sequential dan Simultan

Dalam permainan sequential, pemain membuat keputusan secara bergantian berdasarkan tindakan pemain sebelumnya. Dalam permainan simultan, semua pemain membuat keputusan secara bersamaan tanpa mengetahui tindakan pemain lain.

10) Permainan dengan Informasi Privat

Dalam permainan dengan informasi privat, pemain memiliki informasi rahasia yang hanya mereka ketahui, dan ini dapat memengaruhi strategi mereka. Contoh permainan seperti lelang adalah contoh dari permainan ini.

11) Permainan dengan Informasi Berulang

Beberapa permainan melibatkan interaksi berulang antara pemain, dan strategi jangka panjang dapat berbeda dari strategi dalam permainan tunggal. Salah satu contohnya adalah "*The Iterated Prisoner's Dilemma*."

### 2.2.5 Power Control Game (PCG)

*Power control game* adalah jenis permainan yang digunakan dalam konteks jaringan nirkabel atau seluler, khususnya dalam komunikasi seluler seperti jaringan seluler generasi ke-3 (3G) dan ke-4 (4G). Tujuan utama dari *power control game* adalah mengatur daya transmisi dari stasiun dasar (*base station*) dan perangkat seluler (*mobile device*) dalam jaringan seluler untuk memaksimalkan kualitas layanan, efisiensi spektrum, atau keuntungan individu pemain sambil meminimalkan interferensi yang dapat merusak kinerja jaringan [18].

Dalam *power control game*, pemain utama adalah stasiun dasar (*base station*) dan perangkat seluler (*mobile device*) yang berkomunikasi satu sama lain dalam jaringan seluler. Setiap pemain (baik stasiun dasar maupun perangkat seluler) memiliki beberapa strategi yang dapat mereka pilih, dan strategi ini berkaitan dengan seberapa besar daya transmisi yang mereka gunakan untuk mengirimkan dan menerima sinyal. Strategi ini mempengaruhi seberapa baik mereka dapat menerima sinyal, berkomunikasi dengan pemain lain, dan mendapatkan layanan yang diinginkan [18].

Penerapan *game theory* pada sistem kendali daya atau yang dikenal dengan nama *Power Control Game* (PCG) ini merupakan *power control* yang didasarkan pada pendekatan metode *game theory* dengan mengusulkan suatu fungsi utilitas tertentu. Dengan membangun fungsi utilitas yang mengakomodasi SINR target, maka proses iterasi dapat diturunkan dari persamaan tersebut. SINR target yang terakomodasi pada fungsi utilitas dimaksudkan supaya nilai daya yang didapatkan mampu mencapai SINR target yang sudah ditentukan [18].

Beberapa hal penting dalam *power control game* meliputi [18]:

#### 1) Optimal

Tujuan utama dari *power control game* adalah mencapai pengaturan daya transmisi yang optimal yang memaksimalkan kualitas sinyal, efisiensi spektrum, atau keuntungan individu pemain dalam jaringan.

#### 2) Interferensi

Salah satu masalah utama dalam jaringan seluler adalah interferensi, di mana sinyal dari beberapa perangkat seluler atau stasiun dasar dapat saling

mengganggu. *Power control game* berusaha mengelola interferensi ini dengan mengatur daya transmisi agar sekecil mungkin.

### 3) Pengambilan Keputusan

Pemain dalam *power control game* harus membuat keputusan strategis tentang seberapa besar daya transmisi yang harus mereka gunakan berdasarkan informasi yang mereka miliki tentang saluran komunikasi, kondisi lingkungan, dan aktivitas jaringan lainnya.

### 4) Algoritma Pengaturan Daya

Untuk mencapai tujuan optimal, algoritma pengaturan daya kompleks digunakan dalam *power control game*. Algoritma ini dapat berupa algoritma distribusi daya atau algoritma pengaturan daya berdasarkan umpan balik.

### 5) Sistem Terdistribusi

*Power control game* seringkali merupakan permainan terdistribusi di mana setiap pemain membuat keputusan berdasarkan informasi yang terbatas dan berusaha mencapai tujuan individu mereka.

### 6) Koordinasi dan Efisiensi Jaringan

*Power control game* dapat membantu meningkatkan efisiensi jaringan seluler secara keseluruhan dengan mengelola penggunaan daya secara cerdas dan mengurangi interferensi.

*Power control game* adalah komponen penting dalam pengelolaan jaringan seluler modern dan menjadi bagian dari teknologi seluler yang memungkinkan jaringan bekerja lebih efisien, mengoptimalkan kualitas layanan, dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik.

## 2.2.6 Fungsi Utilitas Pada PCG Koskie Gajic

Pemilihan fungsi utilitas dan fungsi *pricing* digunakan untuk menentukan efisiensi daya transmit *user*, sebagai contoh *user* yang dekat dengan FAP harus dibuat *pricing* yang rendah (*low pricing factor*) karena asumsi daya yang digunakan juga rendah. Begitu pula sebaliknya untuk *user* yang jauh harus diberikan *pricing* yang tinggi (*high pricing factor*), karena asumsi daya yang digunakan oleh *user* yang jauh dari *femtocell access point* (FAP) tersebut tinggi [18].

Fungsi utilitas dari suatu PCG ditentukan berdasarkan pada faktor yang mempengaruhi unjuk kerja sistem, seperti halnya SINR target, SINR *user* yang ingin dicapai, daya maksimum *user* yang diperbolehkan, daya *user*, dan parameter lain yang mempengaruhi baik buruknya kualitas layanan QoS. Seperti *utility function* dari penelitian Koskie Gajic atau yang lebih dikenal dengan *algoritme* KG berikut [19]:

$$U_i = b_i p_i + c_i (\gamma^{tar} - \gamma_i)^2 \quad (2.2)$$

Keterangan :

- $U_i$  = Fungsi utilitas pemain  $i$
- $b_i, c_i$  = Konstanta
- $p_i$  = Daya *user*  $i$  (watt)
- $\gamma^{tar}$  = SINR target (dB)
- $\gamma_i$  = SINR *user*  $i$  (dB)

### 2.2.7 Power Update Pada PCG Koskie Gajic

*Power update* (pembaruan daya) dalam konteks permainan kontrol daya (*power control game*) dalam jaringan seluler atau komunikasi nirkabel adalah tindakan yang diambil oleh pemain (misalnya, perangkat seluler atau stasiun dasar) untuk mengubah daya transmisi mereka. Tujuan dari *power update* adalah untuk mencapai pengaturan daya yang optimal yang dapat memaksimalkan kualitas layanan, mengurangi interferensi, dan mengoptimalkan penggunaan spektrum komunikasi. Berikut adalah beberapa hal yang perlu dipahami tentang *power update* dalam *power control game* [19]:

#### 1) Evaluasi Hasil

Sebelum melakukan *power update*, pemain mengevaluasi hasil dari pengaturan daya transmisi mereka saat ini. Ini melibatkan penilaian tentang sejauh mana hasil sesuai dengan tujuan mereka, seperti kualitas layanan yang diterima atau tingkat interferensi yang mereka hasilkan.

#### 2) Perhitungan Strategi Baru

Berdasarkan evaluasi hasil, pemain dapat memutuskan untuk mengubah daya transmisi mereka. Ini melibatkan perhitungan strategi baru yang dapat mencapai tujuan yang lebih baik. Perhitungan ini bisa sangat kompleks dan

melibatkan berbagai faktor seperti kekuatan sinyal, interferensi, dan target kualitas layanan.

### 3) Implementasi *Power Update*

Setelah pemain menghitung strategi daya yang baru, mereka mengimplementasikannya dengan mengubah daya transmisi mereka sesuai dengan perhitungan tersebut. Ini dapat berarti meningkatkan atau mengurangi daya transmisi, tergantung pada strategi yang diinginkan.

### 4) Iterasi

Proses evaluasi, perhitungan, dan implementasi *power update* dapat berulang-ulang dalam permainan. Pemain dapat mengubah strategi daya mereka pada setiap iterasi untuk mencapai hasil yang lebih baik.

### 5) Konvergensi

Tujuan akhir dari permainan kontrol daya adalah mencapai konvergensi, di mana tidak ada pemain yang memiliki insentif untuk mengubah strategi daya mereka lagi. Pada titik ini, permainan mencapai solusi keseimbangan di mana semua pemain berjalan seiring satu sama lain.

Persamaan *power update* pada PCG diperoleh dari persamaan fungsi utilitas yang sudah ditentukan sebelumnya sesuai dengan *proposed* model dari suatu penelitian. Dari persamaan fungsi utilitas tersebut kemudian dilakukan proses derivatif terhadap fungsi daya sehingga diperoleh nilai daya untuk proses iterasi. Secara matematis dapat diformulasikan sebagai berikut [19]:

$$\frac{dU_i}{dp_i} = 0 \quad (2.3)$$

Hasil dari proses derivatif tersebut menunjukkan nilai respon terbaik (*best response*). Dari persamaan fungsi utilitas pada persamaan (2.2) dan dengan menggunakan persamaan (2.3) maka dapat diperoleh persamaan *power update* sebagai berikut [19]:

$$p_i^{(t+1)} = \left( \frac{p_i^{(t)}}{\gamma_i^{(t)}} \gamma_i^{tar} \right) - \frac{b_i}{2c_i} \left( \frac{p_i^{(t)}}{\gamma_i^{(t)}} \right)^2 \quad (2.4)$$

Keterangan :

$p_i^{(t+1)}$  = Daya pada waktu ke  $t + 1$  (watt)

$p_i^{(t)}$  = Daya pada waktu ke  $t$  (watt)

$\gamma_i^{(t)}$  = SINR *user i* pada waktu *t* (dB)

$\gamma_i^{tar}$  = SINR target (dB)

$b_i, c_i$  = Konstanta

### 2.2.8 Fisibilitas Pada PCG

Pada layer fisik, metode kendali daya dianggap dapat meminimalisir terjadinya gangguan pada jaringan. Sedangkan untuk tercapainya kelayakan sebuah sistem kendali daya semua *user* harus mencapai nilai *Signal Interference to Noise Ratio* (SINR) yang telah ditentukan. SINR merupakan sebuah indikator yang sangat baik untuk menentukan kualitas suatu sinyal. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai SINR *user* [20]:

$$\gamma_i = \frac{p_i g_{ii}}{\sum_{j=1, j \neq i}^N p_j g_{ij} + \sigma^2} \quad (2.5)$$

dimana  $p_i$  adalah daya *user i* dan  $p_j$  adalah daya yang digunakan oleh *user* lain. Dengan  $g_{ii}$  merupakan nilai *gain* dari *user transmitter i* (Tx) dan *user receiver i* (Rx) dan  $g_{ij}$  merupakan nilai *gain user transmitter j* dan *user receiver i* dan  $\sigma^2$  yang merupakan rata-rata *noise* untuk semua *receiver*.

Fisibilitas pada sistem PCG dilakukan dengan menghitung *eigenvalue matrix H*. Setelah melakukan perhitungan *eigenvalue matrix H* hasilnya harus kurang dari 1 ( $|eigenvalue H| < 1$ ) dan vektor daya non-negatif. Dalam hal ini jika terbukti bahwa *eigenvalue* memenuhi persyaratan ini, maka kondisi vektor daya non-negatif akan tercapai, yang berarti sistem termasuk fisibel. Begitu juga sebaliknya jika kondisi *eigenvalue* tidak memenuhi syarat, maka kondisi vektor daya akan negatif, yang berarti sistem tidak fisibel. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai *power vector* ( $P^*$ ) [21]:

$$P^* = (I - H)^{-1} \eta \quad (2.6)$$

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

$$h_{ij} = \gamma^{tar} \frac{G_{ij}}{G_{ii}} \quad (2.7)$$

Dimana  $G_{ij}$  dan  $G_{ii}$  merupakan nilai *link gain user i ke user j* dan *link gain user i terhadap i itu sendiri*. Sedangkan  $\eta$  yaitu vektor *noise* yang ternormalisasi yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [21]:

$$\eta_i = \gamma^{tar} \frac{\sigma}{G_{ii}} \quad (2.8)$$

Dengan  $\sigma$  adalah *noise* yang diterima *user*. Sedangkan untuk menentukan nilai  $g_{ii}$  dapat menggunakan persamaan berikut [22]:

$$g_{ii} = \frac{A}{d^\alpha} \quad (2.9)$$

dimana  $A$  adalah konstanta yang sama dengan 1 sedangkan  $\alpha$  merupakan konstanta *pathloss* bernilai 4 dan  $d$  merupakan jarak antar *user*.

### 2.2.9 Konvergensi Pada PCG

Pada *Power Control Game* (PCG) selain melakukan fisibilitas juga diperlukan adanya pengujian konvergensi. Konvergensi ini terkait dengan metode iterasi yang dilakukan oleh masing-masing *user* dalam mentransmisikan dayanya berdasarkan skema *power update* yang ditentukan. Setiap pengguna akan melakukan pembaruan daya untuk dirinya secara terus menerus hingga mencapai kondisi konvergen. Terdapat dua parameter yang perlu diuji konvergen agar sistem jaringan yang dibuat memiliki kualitas yang baik. Parameter yang perlu dalam kondisi yang konvergen yaitu parameter *power* dan parameter SINR. Dalam melakukan uji konvergensi *power* pada sistem PCG dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.4) sedangkan untuk melakukan uji konvergensi pada SINR target dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.5) untuk menguji bahwa sistem yang dibuat memiliki *power* dan SINR yang konvergen maka perlu dilakukan beberapa kali perlakuan atau iterasi dengan menggunakan persamaan yang sama hingga nilai *power* dan SINR yang dihitung mencapai titik konvergen [24].

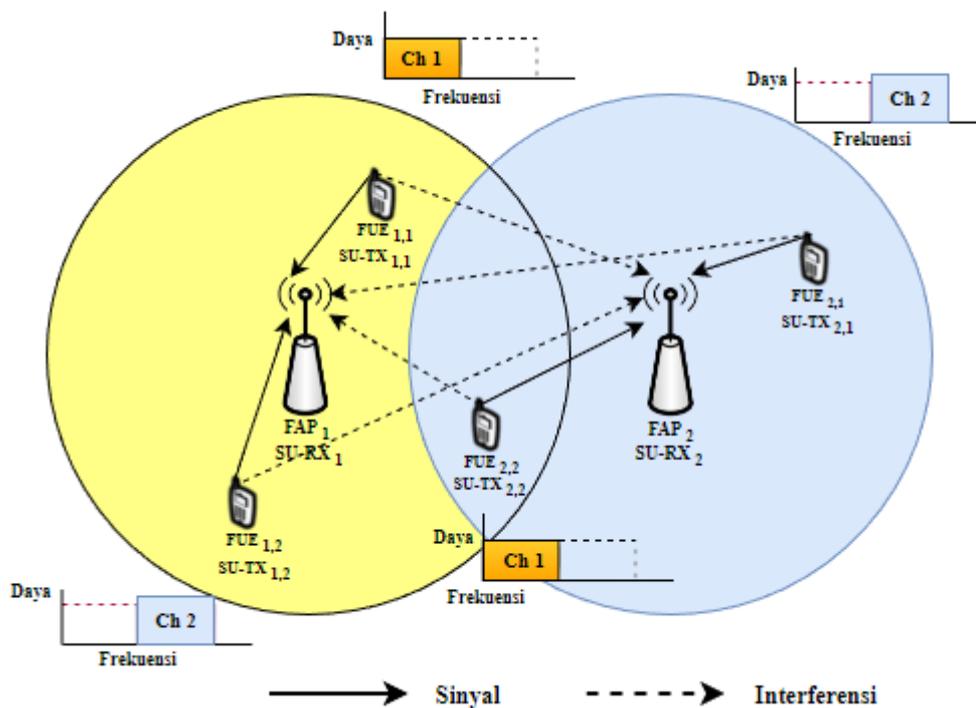
### 2.2.10 Jaringan Cognitive Femtocell

*Cognitive Femtocell* adalah penggunaan teknologi kognitif dalam pengaturan dan operasi jaringan *femtocell* yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja, efisiensi, dan pengalaman pengguna dalam lingkungan seluler yang padat.

Dengan memanfaatkan pemahaman lingkungan dan kemampuan pengambilan keputusan yang cerdas, *cognitive femtocell* dapat meningkatkan cakupan, *throughput*, dan kualitas layanan di dalam gedung atau area yang tercakup. Di dalam jaringan *cognitive femtocell* terdiri dari 2 macam jaringan yaitu [23]:

**a) Jaringan Co-tier**

Jaringan *co-tier* merupakan jaringan dengan karakteristik sistem yang sama (*homogeneous network*), dalam hal ini merupakan jaringan yang setipe misalnya antar jaringan *macrocell*, *picocell* dan *femtocell*. Gambar 2.5 menunjukkan sistem pemodelan kendali daya *cognitive femtocell* pada jaringan *co-tier* yang mengutamakan komunikasi antar *secondary user* (SU). Pada sistem model tersebut terdapat beberapa *secondary user* yang mempunyai fungsi sebagai *transmitter* (SU-TX) berupa *femto user equipment* (FUE) dan *secondary user* sebagai *receiver* (SU-RX) berupa *femto access point* (FAP) [23].



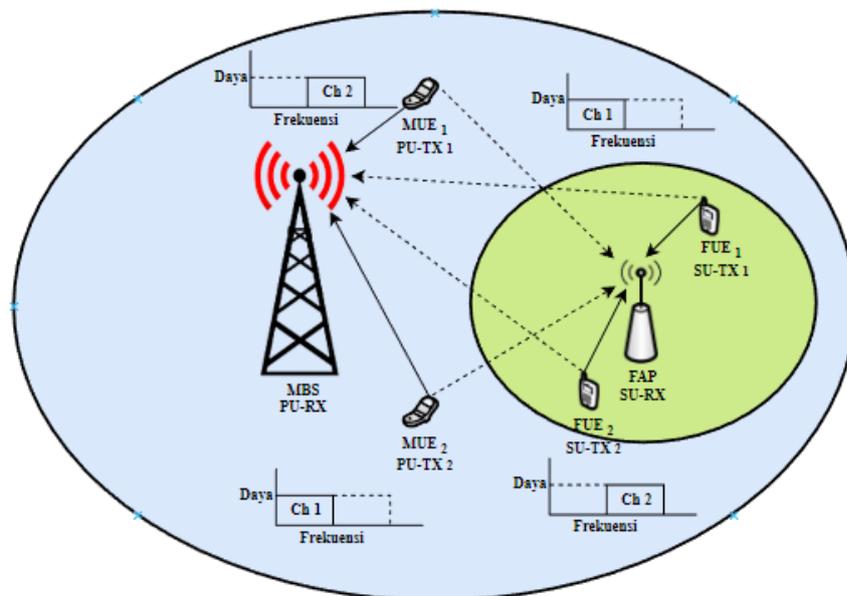
**Gambar 2.5 Model Cognitive Femtocell pada Jaringan Co-tier [23]**

Interferensi yang dirasakan oleh *user* pada dasarnya dikarenakan adanya penggunaan *channel* yang sama. Interferensi ini dapat juga dikatakan sebagai sinyal yang tidak diinginkan dan diterima pada sebuah *femtocell* yang dikirimkan dari *femtocell* lainnya. Berdasarkan Gambar 2.4 dapat dijelaskan tipe interferensi

yang terjadi saat proses komunikasi *uplink*. Pada kasus *uplink*, FAP adalah sebagai *victim* (terinterferensi) yang disebabkan oleh *user* yang berada pada sel tetangga. Untuk *channel 1* (Ch 1) pada saat *transmitter*  $FUE_{1,1}(SU - TX)_{1,1}$  mengirimkan sinyal ke *receiver*  $FAP_1(SU - RX)_1$  maka akan terjadi interferensi pada *receiver*  $FAP_2(SU - RX)_2$ . Hal ini akan menyebabkan penurunan kualitas pada *transmitter*  $FUE_{2,2}(SU - TX)_{2,2}$ . Kondisi ini akan berkelanjutan, maka dari itu perlu adanya *power control* untuk dapat menaikkan daya pancar agar SINR target dapat tercapai [23].

#### b) Jaringan *Cross-tier*

Jaringan *cross-tier* merupakan jaringan kombinasi atau gabungan (*heterogeneous network*) yang menyatukan teknologi radio atau tipe *cell* yang berbeda. Dalam penelitian ini difokuskan pada dua jaringan yang berbeda tipe yaitu jaringan *macrocell* dengan *femtocell*. Gambar di bawah menunjukkan sistem model kendali daya *cognitive femtocell* pada jaringan heterogen yang ditekankan pada *secondary user* (SU) berupa *femto user equipment* (FUE) sebagai *secondary transmitter* (SU-TX) dengan *primary user* (PU) berupa *macro base station* (MBS) sebagai *primary receiver* (PU-RX), dan sistem komunikasi antar *macro user equipment* (MUE) sebagai *primary transmitter* (PU-TX) dengan *femto access point* (FAP) sebagai *secondary receiver* (SU-RX) [24].



**Gambar 2.6 Model *Cognitive Femtocell* pada Jaringan *Cross-tier* [24]**

Berdasarkan Gambar 2.6 dapat dijelaskan pada saat *transmitter* MUE<sub>1</sub> (PU – TX<sub>1</sub>) mengirimkan sinyal ke *receiver* MBS (PU-RX) maka terjadi interferensi pada FAP (SU-RX). Dengan adanya interferensi yang tinggi memaksa FUE<sub>2</sub> (SU – TX<sub>2</sub>) menaikkan daya pancar untuk menjaga SINR target agar tetap tercapai. Hal ini akan memperbesar interferensi yang diterima oleh MBS (PU-RX), sehingga memicu MUE<sub>1</sub> (PU – TX<sub>1</sub>) menaikkan daya pancarnya kembali. Keadaan ini juga berlaku saat komunikasi berawal dari FUE<sub>1</sub> (SU – TX<sub>1</sub>) ke FAP (SU-RX) [24].

### 2.2.11 *Signal to Interference and Noise Ratio (SINR)*

SINR merupakan nilai dari rasio antara daya sinyal yang diterima oleh *user equipment* (UE) atau eNB terhadap jumlah daya interferensi dan daya *noise* yang terjadi. Besarnya nilai dari daya interferensi dan *noise* akan menyebabkan SINR pada suatu komunikasi tidak memenuhi standar QoS. Nilai SINR akan semakin membaik ketika nilai daya yang diterima oleh pengguna semakin besar. Namun daya yang diterima harus masih dalam ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan [15].

SINR adalah salah satu faktor yang paling penting dalam menentukan kualitas layanan seluler. Semakin tinggi SINR, semakin baik kualitas layanan dan kecepatan data yang dapat dinikmati oleh pengguna. Kualitas panggilan telepon, kecepatan unduh dan unggah data, serta performa aplikasi berbasis data seperti streaming video atau permainan online sangat dipengaruhi oleh SINR. Dalam jaringan seluler, operator bekerja untuk mengoptimalkan SINR untuk memastikan kualitas layanan yang baik dan penggunaan spektrum yang efisien. Dalam menentukan besarnya SINR maka digunakan persamaan berikut [15].

$$SINR = \frac{P}{I + N} \quad (2.10)$$

Keterangan:

SINR = *Signal to interference Noise Ratio* (dB)

P = Daya yang diterima (watt)

I = Daya Interferensi (watt)

N = Daya *Noise* (watt)

Berikut adalah standar parameter yang baik, untuk SINR ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Parameter SINR [25]**

Kategori	SINR (dB)
Sangat Bagus	15 s/d 30
Bagus	0 s/d 15
Sedang	-5 s/d 0
Buruk	-11 s/d -5
Sangat buruk	-20 s/d -11

Pada Tabel 2.1 menunjukkan kategori-kategori yang umumnya digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas sinyal berdasarkan parameter *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio* (SINR) dalam komunikasi nirkabel.

#### **2.2.12 Modulasi**

Proses pentransmisi data melalui sebuah kanal tidak akan lepas dari kendala yang berupa timbulnya *error*. Pengiriman data dalam sistem komunikasi bisa dalam bentuk analog maupun bentuk digital. Bila sinyal yang dikirimkan dalam bentuk analog maka diperlukan *converter* untuk merubah bentuk sinyal analog menjadi bentuk sinyal digital atau dengan kata lain *Analog Digital Converter* (ADC). Selain itu, modulator sistem sebagai transmisi *baseband* dapat juga menjadi formator atau sebagai penggambaran bentuk gelombang dari simbol data digital yang dikirimkan [26].

Modulasi merupakan penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carier*. Sinyal informasi tersebut dapat ditumpangkan dengan cara mengubah amplitudo, frekuensi maupun fasa yang dibawa oleh sinyal *carier*. Ada beberapa macam modulasi pada sistem komunikasi yaitu modulasi analog seperti AM (*Analog Modulation*), FM (*Frequency Modulation*), PM (*Phase Modulation*) dan modulasi digital seperti FSK (*Frequency Shift Keying*), PSK (*Phase Shift Keying*), QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) [26]. Berikut adalah tabel nilai SIR terhadap modulasi.

**Tabel 2.2 Nilai SIR Terhadap Modulasi [26]**

Model Modulasi	SIR (dB)
1024 QAM	35,5
256 QAM	29,4
64 QAM	23,3
16 QAM	16,9
QPSK	9,9
BPSK	6,8

Berikut penjelasan untuk setiap model modulasi pada Tabel 2.2 [26].

- 1) 1024 *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) Model modulasi dengan kompleksitas tinggi yang mampu mentransmisikan banyak bit per simbol. Nilai SIR yang tercantum adalah 35,5 dB, menunjukkan tingkat kekuatan sinyal yang relatif tinggi dibandingkan dengan tingkat interferensi.
- 2) 256 QAM adalah model modulasi dengan tingkat lebih rendah dibanding 1024 QAM, tetapi masih mampu untuk mentransmisikan banyak bit per simbol. Nilai SIR yang tercatat adalah 29,4 dB, menunjukkan tingkat kekuatan sinyal yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan 1024 QAM.
- 3) 64 QAM adalah model modulasi dengan kemampuan yang lebih rendah dibandingkan dengan 256 QAM, dengan jumlah bit yang lebih sedikit per simbol. Nilai SIR adalah 23,3 dB, menandakan bahwa kekuatan sinyal relatif lebih rendah dibandingkan dengan model modulasi yang lebih kompleks.
- 4) 16 QAM adalah modulasi dengan lebih sedikit bit per simbol dibandingkan dengan 64 QAM. Nilai SIR yang tercatat adalah 16,9 dB, menandakan tingkat kekuatan sinyal yang lebih rendah.
- 5) *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) adalah modulasi yang lebih sederhana dengan dua bit per simbol. Nilai SIR adalah 9,9 dB, menunjukkan kekuatan sinyal yang lebih rendah dibandingkan dengan modulasi QAM .
- 6) *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) adalah modulasi yang paling sederhana dengan satu bit per simbol. Nilai SIR yang tercatat adalah 6,8 dB, menandakan tingkat kekuatan sinyal yang lebih rendah daripada modulasi lainnya.