

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian [4] yang berjudul “Analisis Sistem Kendali Daya Terpusat pada Jaringan *Homogen Femtocell*” membahas tentang bentuk kendali daya terpusat atau *Centralized Power Control* (CPC) dengan menguji kelayakan vektor daya *user* agar memberikan solusi pada saat *user* memiliki nilai *non-negative*. Hasil dari penelitian ini dikatakan bahwa saat kondisi sistem *feasible* maka semua nilai daya *user* pengguna bernilai positif dan pengguna dapat mencapai *Signal to Noise Ratio* (SINR) target yang telah ditentukan, yakni sebesar 13 dB untuk skema 5 pengguna dan 9,5 dB untuk skema 10 pengguna. Saat kondisi *feasible* maka daya pengguna pada *power control* akan bernilai negatif dan beberapa pengguna tidak mencapai SINR target.

Penelitian yang dilakukan oleh [5] yang berjudul “*Distributed Power Control for Spectrum-Sharing Femtocell Network Using Stackelberg Game*” membahas tentang alokasi metode daya terdistribusi untuk jaringan *femtocell* di berbagai spektrum dimana sel makro pusat dilapisi oleh beberapa sel femto. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa *macrocell* dapat melindungi dirinya dengan dengan menentukan nilai interferensi dari *femtocell*. Metode *Stackelberg Game* diformulasikan untuk memaksimalkan kepuasan *user* pada *macrocell* dan *femtocell*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma tersebut efektif untuk alokasi daya terdistribusi jaringan *femtocell*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [6] yang berjudul “*Downlink Power Control in Co-Channel Macrocell Femtocell Overlay*” menjelaskan bahwa mitigasi interferensi melalui kontrol daya *downlink* dipertimbangkan untuk *overlay macrocell femtocell*. Secara khusus, gangguan yang kuat pada *downlink* dari stasiun pangkalan rumah ke pengguna *macrocell* terdekat harus benar dikendalikan sedemikian rupa sehingga kualitas layanan dari kedua sel makro pengguna dan pengguna *femtocell* dapat dijamin. Karena *co-channel* dalam gangguan berasal dari sel heterogen, kontrol daya bersama, manajemen saluran dan prosedur kontrol

penerimaan disarankan sedemikian rupa sehingga prioritas pengguna sel makro selalu dipastikan. Hasil simulasi menunjukkan keefektifan skema yang diusulkan.

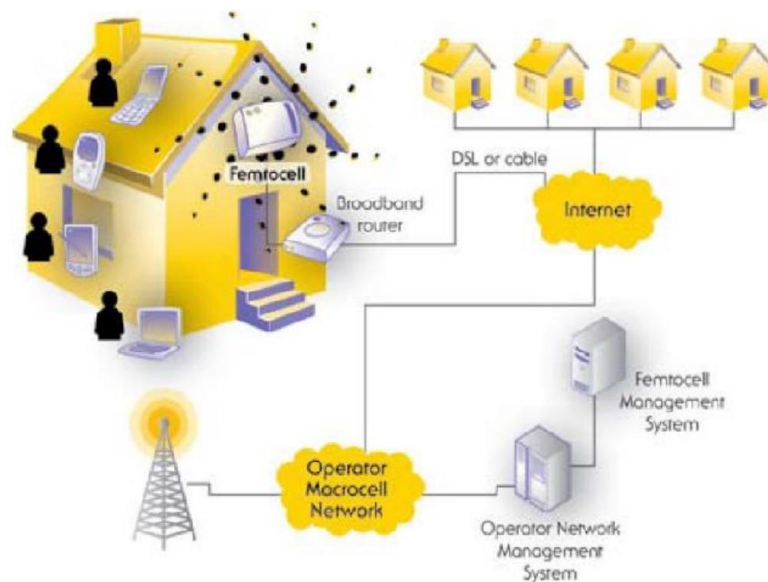
Pada penelitian [7] yang berjudul “*Autonomous Distributed Power Control in Multi-Channel Cognitive Femtocell Network: Feasibility and Convergence*” yang membahas tentang kondisi fisibel dan konvergen metode sistem kendali daya terdistribusi jaringan *femtocell*. Hasil dari penelitian dikatakan bahwa metode HDCPC dengan menggunakan 0,5 daya akan lebih efisien dalam penggunaan daya pada metode *Distributed Constrained Power Control* (DCPC) dan lebih efektif diterapkan daripada *Generalized Distributed Constrained Power Control* (GDCPC). Metode HDCPC yang diusulkan dilakukan ketika tidak ada opsi serah terima *channel*. Sedangkan setelah pengguna pindah ke saluran lain mampu pengguna mampu mencapai target SINR dan menggunakan daya yang lebih sedikit.

Penelitian yang dilakukan oleh [8] yang berjudul “*Feasibility Analysis of Distributed Power Control System in Cognitive Radio Network*” yang membahas tentang kondisi *user* yang terdistribusi sehingga diperlukan suatu teknik kendali daya yang disebut *Distributed Power Control* (DPC). Agar dapat terimplementasi kedalam *Cognitive Radio Network* (CRN) sehingga diperlukan sebuah sistem yang *feasible*, maka dari itu pengujian apakah *feasible* atau tidak. Hasil dari penelitian ini baik pada kondisi 5 *user* maupun kondisi 10 *user* menunjukkan bahwa nilai mutlak *eigenvalue* matriks *link gain* untuk semua *channel* bernilai kurang dari 1 dan kondisi semua pengguna telah memenuhi syarat *non-negative power vector*.

Pada penelitian [9] yang berjudul “*Co-tier and Co-channel Interference Avoidance Algorithm for Femtocell Networks*” membahas mengenai gangguan *co-tier* dan *co-channel Interference-Free Power and Resource Block Allocation* (IFPRBA) algoritma pada akses *femtocell* dekat, tertutup. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gangguan yang terjadi pada algoritma IFPRBA berada di bawah batas yang dapat ditoleransi daya interferensi. Sehingga untuk keberhasilan keseluruhan layanan, efisiensi *Power and Resource Block* (PRB) dan *throughput* jaringan maksimum jika dibandingkan dengan alokasi kerangka sumber daya konvensional untuk algoritma *femtocell*.

## 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 (*Transmitter Control Protocol/Internet Protocol*) yang disediakan oleh penyedia layanan internet untuk menyalurkan data dan suara dari *femtocell* ke jaringan milik penyedia layanan bergerak [10].

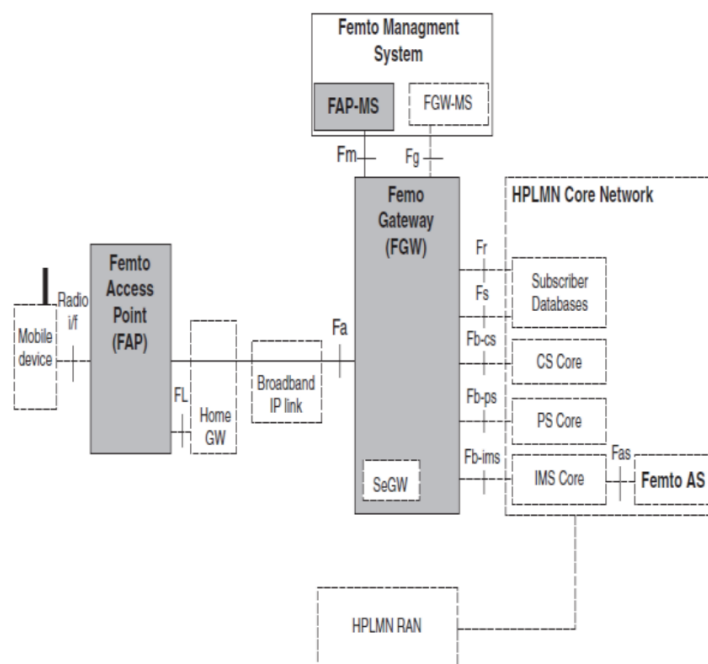


**Gambar 2. 1 Topologi Jaringan *Femtocell* [10]**

Gambar 2.1 menunjukkan persebaran jaringan femtocell dengan mendapatkan sinyal utama dari eNB hingga ke HeNB atau *femtocell* yang ada di dalam gedung melalui protocol jaringan TCP/IP. Teknologi *Femtocell* hadir untuk meningkatkan kapasitas pada jaringan *nirkabel* dan memperluas cakupan jaringan seluler [11]. Selain itu jaringan *femtocell* dapat mengatasi permasalahan pengguna jaringan seluler yang dipancarkan melalui BTS namun pengguna ini melakukan komunikasi di tempat yang sulit untuk dijangkau oleh sinyal dari BTS, seperti di dalam gedung yang bertingkat dan juga didalam ruangan yang terhalang oleh tembok beton [10].

*Femtocell* dapat bekerja efektif pada suhu: 32–104 °F (0–40 °C) dengan kelembaban 5 hingga 95% tanpa kondensasi dalam ruangan. Konsumsi daya *femtocell* 13,5 W dengan daya pancar LTE 50 mW per operator atau 10 MHz (0,0028 BTU)[12].

Femto Forum telah membuat arsitektur referensi *femtocell* yang mencakup semua elemen dari jaringan *femtocell* dan antarmukanya. Arsitektur referensi ini dapat berlaku secara umum untuk teknologi komunikasi bergerak. Diagram arsitektur referensi *femtocell* dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut [10].



**Gambar 2. 2 Arsitektur Dasar Jaringan *Femtocell***[10]

Adapun beberapa manfaat dari penerapan jaringan *Femtocell*, yaitu sebagai berikut:

- Cakupan dan peningkatan kapasitas: Karena operasi pada jarak kirim-terima pendek, rasio *signal-to-interference-plus-noise* (SINR) yang lebih tinggi bisa dicapai. Ini diterjemahkan ke dalam peningkatan penerimaan dan kapasitas yang lebih tinggi.
- Kecepatan data dan kualitas panggilan yang baik: Peningkatan kecepatan data memungkinkan *user* untuk berkomunikasi dengan lebih cepat.
- Peningkatan keandalan *macrocell*: *Femtocell* memungkinkan operator untuk menurunkan sejumlah besar lalu lintas jauh dari *macrocell*.

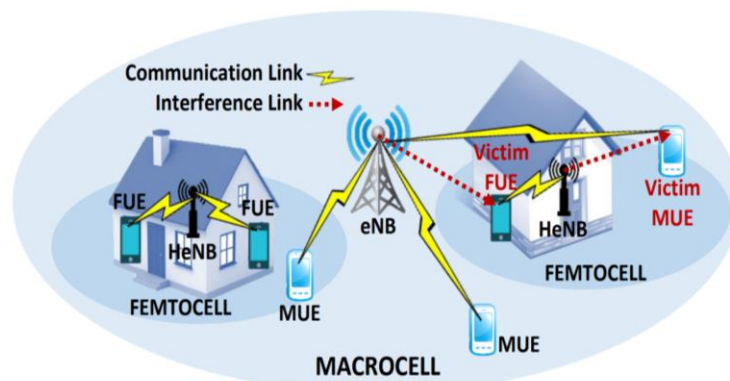
- Pengurangan biaya untuk operator seluler: *Femtocell* meminimalkan pengeluaran modal dan operasional dengan mengurangi waktu tambahan untuk pemasangan dan biaya operasi.
- Layanan *femtozone* baru yang menarik: Menggunakan pengetahuan khusus tentang lokasi *femtocell* pengguna dapat menawarkan manfaat tambahan seperti kontrol perangkat sekitar rumah.
- Penerapan sederhana: *Femtocell* dirancang untuk menjadi mudah dipasang, dikonfigurasi, dan dioperasikan (*zero touch instalasi*) [12].

### 2.3 Interference Femtocell

Interferensi adalah suatu gangguan yang terjadi pada suatu sistem. Pada setiap penggunaan jaringan *femtocell* sering kali terjadi permasalahan. Permasalahan yang sering kali timbul yaitu berkaitan dengan interferensi antar *cell*. Interferensi pada jaringan *femtocell* terbagi menjadi dua jenis yaitu *Cross-tier interference* dan *Co-tier interference*. Interferensi terjadi karena penggunaan kanal komunikasi secara bersama antara *user* HeNB dan eNB pada waktu yang sama (atau sebaliknya). Interferensi dapat terjadi pada arah *uplink* maupun *downlink* [13].

#### 1.3.1 Cross-tier Interference

*Cross-Tier Interference* merupakan salah satu jenis interferensi yang terjadi pada jaringan. Interferensi yang terjadi antara *makrocell* dan *mikrocell* karena perbedaan kekuatan antar node dan luas cakupan. Meskipun memiliki tingkatan dan kemampuan layanan yang berbeda, namun interferensi tetap dapat terjadi karena kedua *cell* ini tetap menggunakan frekuensi dan *bandwidth* yang sama seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.3.

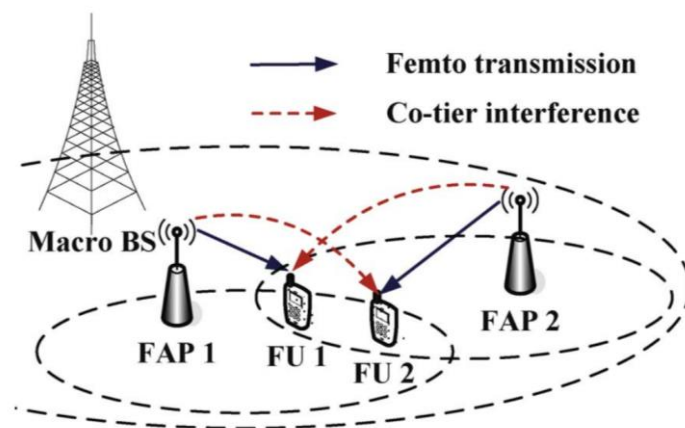


Gambar 2. 3 Topologi Inteferensi *Cross-Tier* Jaringan *Femtocell*[13]

Terdapat beberapa teknik dalam mengatasi *Cross-Tier Interference*, salah satunya dengan menggunakan metode *Fractional Frequency Reuse* (FFR). Metode ini menjadi salah satu teknik yang paling baik untuk mengelola interferensi yang terjadi pada *femtocell* jaringan *Long-Term Evolution* (LTE). Dalam menggunakan teknik ini bertujuan untuk menghindari terjadinya interferensi. Seluruh band frekuensi dibagi menjadi beberapa sub-band dengan masing-masing diantaranya dialokasikan secara beragam ke arah tengah dan area tepi dari sel [13].

### 1.3.2 Co-Tier Interference

Interferensi pada tipe *co-tier* ini terjadi di antara elemen-elemen jaringan yang memiliki *tier* atau tingkatan yang sama dalam suatu jaringan (*Network*). Interferensi ini dapat juga dikatakan sebagai sinyal yang tidak diinginkan dan diterima pada sebuah *femtocell* yang dikirimkan dari *femtocell* lainnya. Hal ini akan menyebabkan penurunan kualitas dari proses komunikasi yang berlangsung. Interferensi *co-tier* pada umumnya terjadi di antara *femtocell* yang bersebelahan misalnya diantara rumah dan apartemen ataupun berada dalam satu gedung yang sama [12].



**Gambar 2. 4 Topologi Interferensi Co-Tier Jaringan Femtocell [12]**

Gambar 2.4 menunjukkan skenario interferensi co-tier pada jaringan femtocell. Dapat dilihat bahwa terdapat dua *user* yaitu FU1 dan FU2 dimana kedua *user* ini berada pada wilayah *coverage femtocell* lain yang posisinya

bersebelahan[12]. Banyak skema telah diusulkan dalam literatur untuk meminimalkan efek interferensi *co-tier* [14]. Interferensi *Co-Tier* dapat menurunkan kualitas layanan *Quality of Service* (QoS) [9].

## 2.4 Power Control

Setiap perangkat telekomunikasi seperti telepon seluler, laptop dan sebagainya pasti membutuhkan daya agar perangkatnya tetap hidup dan dapat melakukan komunikasi dengan perangkat lain. Proses komunikasi yang dimaksud ini adalah pertukaran data antar perangkat dengan memancarkan daya yang berisi data atau informasi.

Kendali daya mengacu pada pengaturan daya pada *output* pemancar, berupa BTS pada arah *downlink* dan *mobile station* pada arah *uplink*, dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas sistem (*data rate*), cakupan dan kualitas pengguna, serta untuk mengurangi jumlah konsumsi daya yang digunakan. Untuk mencapai tujuan ini mekanisme kendali daya biasanya bertujuan untuk memaksimalkan daya yang diterima dari sinyal yang diinginkan dengan membatasi interferensi sinyal yang ditimbulkan [4].

*Power control* digunakan dalam upaya meningkatkan kinerja jaringan. Ada dua kategori utama *power control* dalam jaringan *Femtocell* yaitu *Centralized Power Control* (CPC) dan *Distributed Power Control* (DPC) [15] Algoritma *power control* secara umum digunakan untuk keperluan keperluan sebagai berikut:

- Mengurangi interferensi yang terjadi dalam upaya peningkatan kapasitas jaringan.
- Untuk menghemat konsumsi daya agar perangkat pengguna dapat digunakan lebih lama.
- Untuk menyalurkan sehingga mendukung *Quality of Service* (QoS) [1].

Algoritma *power control* sangat bermanfaat karena *macro-eNB* (MeNB) dan HeNB dapat menggunakan seluruh *bandwidth* saat kondisi interferensi. Penerapan pengaturan daya dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menerapkan skema *Open Loop Power Setting* (OLPS) dimana HeNB menyesuaikan daya transmisinya berdasarkan hasil pengukuran atau parameter sistem yang ditentukan. Skema yang

kedua yaitu skema *Close Loop Power Setting* (CLPS) dimana penyesuaian daya dilakukan oleh HeNB setelah simulasikan dengan MeNB [1].

Dalam penelitian ini, kendali daya yang diamati adalah pada komunikasi arah *uplink* (*uplink power control*) sehingga proses kendali dayanya dilakukan dengan cara mengatur daya pancar *user* supaya interferensi dapat diminimalisasi. Hal ini dikarenakan level interferensi yang tinggi dapat membatasi area cakupan *uplink* jika daya *user* yang menjadi sumber interferensi tersebut tidak dikontrol [4].

## **2.5 Uplink Power Control**

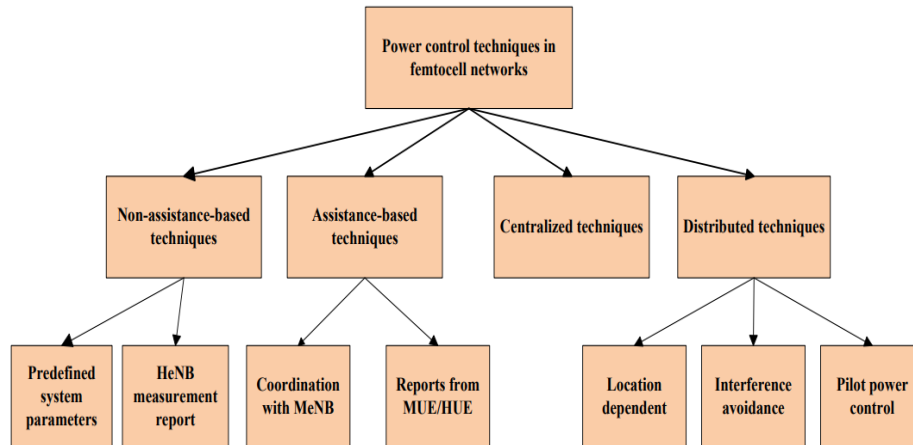
*Uplink* pada jaringan LTE mempunyai sifat yang ortogonal atau dengan kata lain tidak memiliki gangguan pada *user* didalam *cell* yang sama, namun gangguan yang hanya terjadi antar *cell* [16]. Jumlah interferansi yang ditimbulkan juga tergantung pada posisi terminal, khususnya pada *path gain* dari terminal ke *cell* tersebut. Terminal yang jaraknya lebih dekat dengan *cell* lain akan menghasilkan nilai gangguan yang lebih besar bila dibandingkan dengan terminal yang jaraknya lebih jauh dengan *cell* lain [17]. Jaringan LTE yang mempunyai sifat ortogonal ini akan memungkinkan untuk terjadinya proses *multiplexing* dari terminal dengan berbagai daya terima pada *cell* yang sama [16].

Pada waktu jangka pendek *multipath fading* dapat dimanfaatkan dengan melakukan penjadwalan dan melakukan adaptasi saluran agar dapat meningkatkan kecepatan transmisi data tanpa harus mengurangi daya. Sedangkan pada jangka panjang daya yang diterima berdasarkan gain menuju ke *cell* yang melayani sehingga akan mengakibatkan terminal yang memiliki interferensi lebih sedikit akan memiliki target daya terima yang lebih tinggi. Semua karakteristik ini digunakan pada kendali daya *uplink* pada jaringan LTE [18].

## **2.6 Klasifikasi Power Control**

*Power control* dalam *Femtocell* dibagi menjadi dua bagian utama yaitu *non-assistance-based vs assistance-based* dan *centralized vs distributed*. Namun dalam penelitian ini akan dibahas lebih lanjut mengenai *Distributed Power Control*. Untuk lebih jelas mengenai pembagian klasifikasi *power control* dapat dilihat pada Gambar 2.5.





**Gambar 2. 5** Klasifikasi *Power Control* [1]

Gambar 2.5 menunjukkan pembagian klasifikasi *power control*:

- a. *Non-assistance-based*, pada bagian ini HeNB menentukan daya yang di transisikan berdasarkan hasil pengukuran atau yang telah di tentukan oleh parameter pada sistem.
- b. *Assistance-based*, pada bagian ini HeNB menentukan daya yang di transmisikan berdasarkan hasil pengukuran MUE/HUE atau dari koordinasi dengan HeNB.
- c. *Centralized*, yaitu teknik pengontrol daya yang membutuhkan pengontrol pusat dan informasi dari semua *link gain*.
- d. *Distributed*, yaitu teknik *control* daya yang dapat menghindari kemacetan dari *centralized* [1].

## 2.7 *Distributed Power Control (DPC)*

*Distributed Power Control (DPC)* merupakan salah satu teknik kendali daya yang merupakan pengembangan dari sistem kendali daya terpusat atau dengan kata lain disebut *Centralized Power Control (CPC)*, dimana CPC merupakan acuan dari teknik kendali daya [4]. Skema kontrol daya terdistribusi diturunkan dengan membuat modifikasi sederhana untuk kontrol daya. Setiap dari terminal pada saluran menyesuaikan daya pancarnya secara serempak pada saat-saat waktu diskrit [19].

Teknik *Distributed Power Control (DPC)* merupakan suatu teknik pengendalian daya dimana dalam keadaan posisi *user* yang terdistribusi. Teknik *Distributed Power Control* bertujuan untuk mengatasi permasalahan penumpukan

data yang ditransmisikan oleh *user* pada sistem *Centralized Power Control* (CPC) dan juga dapat meningkatkan kualitas dengan meminimalisir efek kegagalan pada pusat sehingga sangat bermanfaat saat diimplementasikan. Dalam penerapan teknik *Distributed Power Control* (DPC) ini setiap *user* yang terhubung dijadikan sebagai pengontrol daya baik untuk dirinya sendiri dan juga pengguna lain. Pengontrol daya yang di maksud ini dilakukan oleh *user* pada perangkat telekomunikasi yang digunakannya. *Power update* dilakukan oleh setiap pengguna agar tercapai kondisi yang konvergen. Untuk menentukan daya yang baru saat kondisi *power update* tentu berkaitan dengan daya lama yang digunakan oleh pengguna. Untuk menentukannya, *power update* pada DPC didapatkan dari kondisi SINR pengguna dan dan daya yang digunakan sebelumnya yang dirumuskan sebagai berikut [20]:

$$p_i^{(t+1)} = \frac{\gamma_i^{tar}}{\gamma_i^{(t)}} p_i^{(t)} \quad (2.1)$$

dimana  $\gamma_i^{tar}$  merupakan SINR target dan  $\gamma_i^{(t)}$  adalah SINR yang dicapai oleh *user i* pada saat  $t$ , sedangkan  $p_i^{(t+1)}$  dan  $p_i^{(t)}$  adalah daya *user i* sebelum dan sesudah iterasi. Metode ini juga dikenal dengan nama *Power Balancing Algorithm* (PBA) [7].

## 2.8 Fisibilitas *Distributed Power Control*

Pada layer fisik, metode kendali daya dianggap dapat meminimalisir tergadinya gangguan pada jaringan. Sedangkan untuk tercapainya kelayakan sebuah sistem kendali daya semua *user* harus mencapai nilai *Signal to Interference Plus Noise Ratio* (SINR) yang telah ditentukan [8]. SINR merupakan sebuah indikator yang sangat baik untuk menentukan kualitas suatu sinyal. Untuk menentukan nilai SINR target juga cukup mudah menggunakan persamaan berikut [12].

$$\gamma_i = \frac{p_i g_{ii}}{\sum_{j=1, j \neq i}^N p_j g_{ij} + \sigma_0} \quad (2.2)$$

Dimana  $p_i$  adalah daya *user i* dan  $p_{ij}$  adalah daya yang digunakan oleh *user* lain di *channel* yang sama. Dengan  $g_{ii}$  merupakan nilai *link gain user i* dan  $g_{ij}$  merupakan nilai *link gain user* yang berbeda dan  $\sigma_0$  yang merupakan *noise* [21].

Fisibilitas atau kelayakan oleh metode *Distributed Power Control* (DPC) merupakan suatu kondisi saat setelah dilakukan pengujian atau pengukuran, suatu sinyal dengan keadaan dimana semua kontrol daya mampu mencapai kondisi yang konvergen pada nilai daya tertentu ( $p^*$ ) serta semua pengguna dapat mencapai nilai SINR pada saat nilai daya positif hingga nilai daya maksimum  $0 \leq P^* \leq P_{max}$ . Dengan dilakukannya uji kelayakan *Distributed Power Control* (DPC) akan diketahui bahwa nilai yang dihasilkan bernilai *negative*, maka kondisi *user* tidak mencapai nilai SINR target sehingga sinyal akan dikatakan tidak fisibel. Ada juga kondisi lain yaitu sinyal dikategorikan sebagai semi fisibel. Kondisi ini terjadi ketika *user* telah menggunakan daya maksimum sehingga daya yang digunakan telah melebihi nilai target yang telah ditentukan [8].

Berdasarkan pembahasan diatas, untuk menentukan fisibilitas DPC dapat ditentukan bila telah memenuhi kondisi berikut:

$$P_{min} \leq p_k^* \leq P_{max} \quad (2.3)$$

Dengan  $p_{min}=0$  W atau dengan nilai daya tertentu saat daya awal bukan 0 dalam proses *power update* [7]. Saat setelah diberikan nilai  $\gamma_i^{tar}$  atau SINR target, agar dianggap fisibel harus memenuhi persyaratan vektor daya *non-negative* atau bisa juga disebut (*non negative power vector*). Untuk memenuhi kondisi *non negative power vector* dapat menggunakan persamaan berikut [8]:

$$P^* = (I - H)^{-1}\eta \quad (2.4)$$

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 [8]:

$$h_{ij} = \gamma^{tar} \frac{G_{ij}}{G_{ii}} \quad (2.5)$$

Sedangkan  $\eta$  yaitu vektor *nois* yang ternormalisasi yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [20]:

$$\eta_i = \gamma^{tar} \frac{\sigma}{G_{ii}} \quad (2.6)$$

Dimana  $g_{ii}$  dan  $g_{ij}$  merupakan nilai *link gain user i* dan *user j*. Untuk menentukan nilai *gain user* dapat menggunakan persamaan berikut [21]:

$$G_{ii} = \frac{1}{d^\alpha} \quad (2.7)$$

Dengan  $d$  merupakan jarak antar *user* dan  $\alpha$  merupakan konstanta *pathloss* bernilai 4. Nilai *link gain* ini dipengaruhi oleh nilai jarak antar *user* [21]. Agar dapat dikatakan bahwa sistem kendali daya terdistribusi telah mencapai titik yang fisibel, maka harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Nilai dari  $p^*$  adalah *non-negative power vector*
2. Nilai mutlak dari matriks *link gain* memenuhi persamaan  $H < 1$  [8].

Selain dengan menggunakan cara-cara yang telah disebutkan diatas, cara menentukan fisibilitas sistem *Distributed Power Control* (DPC) juga berkaitan dengan daya maksimum *user*. Ketika kedua kondisi yang disebutkan di atas sudah memenuhi syarat namun penggunaan daya *user* melebihi batas yang ditentukan, maka kondisi ini dikatakan tidak fisibel. Saat dalam kondisi seperti ini agar tetap dalam keadaan fisibel, dapat dilakukan beberapa cara yaitu dengan melakukan penghapusan *Secondary User* (SU) atau bisa juga untuk mengurangi interferensi dengan memperlebar jarak antar pengguna [8].

## 2.9 Konvergensi *Disrtibuted Power Control*

Pada kontrol daya biasanya mencakup dua mode yaitu mode kendali tegangan dan mode kendali daya reaktif. Pengujian pada metode DPC berbeda dengan Metode lain. Contohnya pada metode CPC yang hanya mengandalkan pengujian pada fisibilitas sistemnya saja. Pada kendali daya terdistribusi karena setiap *user* menjadi pengontrol untuk dirinya sendiri dan juga untuk orang lain. Setiap pengguna akan melakukan pembaruan daya untuk dirinya secara terus menerus hingga mencapai kondisi konvergen. Dalam pembentukan daya baru, selalu betkaitan dengan daya sebelumnya yang dignakan oleh *user*. Kondisi SINR sebelumnya dan daya pengguna digunakan untuk pembaruan daya pada sistem DPC [21].

## 2.10 Modulasi

Proses pentransmisian data melalui sebuah kanal tidak akan lepas dari kendala yang berupa timbulnya eror. 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

bnentuk 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 [22].

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* [23]. 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*) [24].

**Tabel 2. 1 Nilai SIR Terhadap Modulasi [25]**

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

Modulasi QPSK merupakan salah satu modulasi dari M-PSK. Pada modulasi QPSK sinyal pembawa mempresentasikan keadaan fasa untuk menyatakan simbol dari bit sinyal informasi. QPSK memiliki empat symbol untuk merepresentasikan bit informasi, satu symbol QPSK terdiri dari dua bit yaitu “00”, “01”, “10” dan “11”. Setiap dua bit akan mengalami perubahan fasa sebesar  $90^\circ$ . Dengan teknik modulasi QPSK, sinyal dapat membawa informasi dua kali lebih banyak dari PSK biasa atau BPSK dengan menggunakan *bandwidth* yang sama.

Kualitas sinyal dapat diukur dengan melihat nilai eror atau dengan kata lain *Bit Error Rate* (BER) yang secara spesifik untuk melihat kualitas sinyal. Selain itu nilai

kemampuan mencapai SIR juga perlu untuk diperhatikan. Nilai SIR target dapat ditentukan sesuai dengan jenis modulasi yang digunakan. [25].