

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengurangi interferensi antar *user* agar SINR dapat tercapai. Penelitian [4] yang berjudul “Pengaruh Posisi Penyebaran Femtocell Pada Implementasi LTE Femto yang Terintegrasi Dengan Jaringan GSM” melakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh posisi penyebaran *femtocell* terhadap kinerja GSM makro dan LTE femto. Penelitian tersebut menggunakan model sistem dan formulasi koeksistensi, yang dimana penyebaran LTE *femtocell* tidak boleh menurunkan kinerja pada jaringan GSM, akan tetapi harus tetap memberikan layanan yang tepat dalam LTE femtocell. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa SINR GSM menurun karena jarak *femtocell* yang jauh terhadap GSM BS, hal ini disebabkan oleh peningkatan interferensi dari *femtocell* itu sendiri.

Penelitian [5] yang berjudul “Perencanaan Cakupan untuk Jaringan *Femtocell Co-Tier* Menggunakan Diagram Voronoi dan Metode Optimasi Berbasis Gradien” membahas bagaimana perencanaan cakupan jaringan *femtocell* dengan menggunakan diagram voronoi untuk menghitung radius optimal. Untuk mendapatkan area yang proporsional dilakukan dengan cara meminimalkan area tumpang tindih antara lingkaran yang berdekatan. Hasil dari simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dengan menggunakan metode optimasi, penurunan paling curam dan gradien konjugat. Dengan menggunakan metode tersebut dapat menghasilkan area cakupan yang lebih baik. Karena metode tersebut mempertahankan area jaringan yang konstan dan stabil.

Penelitian [6] yang berjudul “*Power Control Approaches in Femtocell Networks*” membahas tentang kontrol daya yang berada pada jaringan *Femtocell*, dengan standarisasi. Serta membandingkan antara berbagai macam teknik dengan dua parameter yang berupa (*Femtocell User Equipment*) FUEs SINR dan FUEs *Throughput* dengan melakukan simulasi menggunakan MATLAB dengan kontrol daya yang berbeda. Dari penelitian tersebut dapat menghasilkan peningkatan kapasitas dan mengurangi pengeluaran modal dan biaya operasi. Serta daya yang

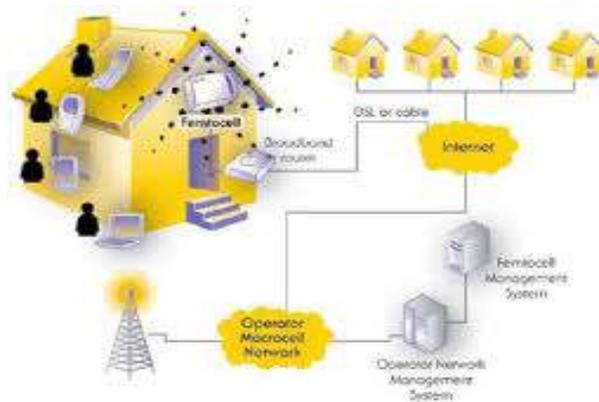
dihasilkan pada sistem transmisi HeNB dapat mempengaruhi jangkauan cakupannya.

Penelitian [7] yang berjudul “*Feasibility Analysis of Distributed Power Control System in Cognitive Radio Networks*” membahas tentang bagaimana kelayakan sistem DPC pada jaringan radio kognitif untuk memenuhi kebutuhan daya pancar yang efisien. Dari penelitian tersebut mendapatkan hasil yang menunjukkan bahwa nilai eigen total matriks pengutatan untuk semua saluran memenuhi persyaratan vektor daya non-negatif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa skema yang digunakan layak untuk diterapkan pada sistem kendali daya terdistribusi (DPC). Akan tetapi, semakin banyak *user* yang menggunakan saluran dan semakin dekat jarak antar *user*, maka semakin banyak juga daya yang digunakan karena interferensi yang tinggi. Sehingga memerlukan kompensasi daya yang tinggi untuk menstabilkan nilai dari SINR.

Penelitian yang dilakukan oleh [8] yang berjudul “*Feasibility of Power Control for Multi-Channel User in Inter-Femtocell Network*” membahas tentang kondisi *user* yang terdistribusi sehingga diperlukan pengujian kelayakan pengendalian daya untuk user multi-saluran dan diperlukan suatu teknik kendali daya *Distributed Power Control* (DPC). Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa metode yang digunakan selalu menghasilkan nilai yang positif dan mencapai target SINR untuk semua *user*. Namun, nilai SINR akan berkurang meningkat jika bertambahnya saluran pada *user* dan daya rata-rata setiap *user* akan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah saluran.

2.2 Femtocell

Femtocell merupakan salah satu teknologi *access point* dengan daya pancar yang rendah sehingga dapat meningkatkan konektivitas, mobilitas, serta performansi layanan jaringan. Bagi operator, kehadiran *femtocell* dapat menurunkan biaya pembangunan infrastruktur serta memberikan layanan yang lebih performansi yang lebih baik kepada *user* untuk daerah yang tidak terjangkau oleh sinyal BTS, salah satunya adalah didalam gedung bertingkat. Dalam proses pemasangannya secara *auto* konfigurasi, karena operator tidak mungkin memantau dan memelihara perangkat yang jumlahnya banyak[9].



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

Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana terjadinya penyebaran jaringan *femtocell* mulai dari sinyal utama (eNB) sampai menuju ke *user* (HeNB). Dalam fungsinya sendiri, *femtocell* dapat memberikan layanan data nirkabel dan suara kepada *user* jaringan komunikasi bergerak yang berada dalam lingkup jangkauan sinyal BTS maupun yang tidak terjangkau oleh sinyal BTS. *Femtocell* sendiri menggunakan jaringan *broadband* standar berbasis teknologi TCP/IP yang disediakan oleh penyedia layanan internet, seperti ADSL, HFC, atau jaringan optik untuk menyalurkan data nirkabel dan suara[10].

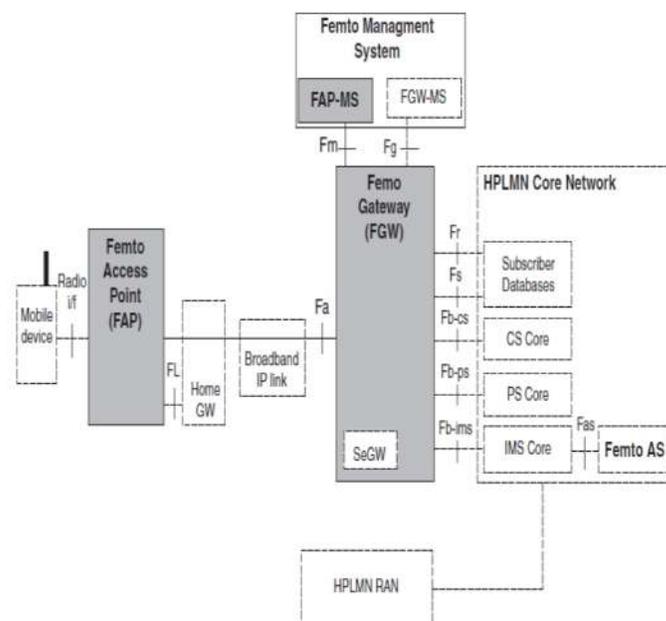
Femto forum telah mendefinisikan beberapa karakteristik keunggulan *femtocell* yang harus dimiliki oleh setiap perangkat *femtocell* itu sendiri. Beberapa karakteristik tersebut adalah sebagai berikut.

1. *Femtocell* mampu memberikan cakupan koneksi bagi pengguna seluler didalam ruangan.
2. *Femtocell* dapat meningkatkan kapasitas pengguna dibandingkan *microcell*.
3. Memiliki banyak pilihan layanan yang berpotensi untuk didapat melalui hanya satu perangkat telepon.
4. Penggunaan *backhaul* dengan protokol internet (TCP/IP)[11].

2.3 Arsitektur *Femtocell*

Femtocell menggunakan sebuah *home gateway* sebagai antarmuka koneksi IP. Arsitektur *femtocell* ini mencakup semua elemen dari jaringan *femtocell* dan antarmukanya, sehingga arsitektur ini dapat berlaku secara umum untuk teknologi-teknologi komunikasi bergerak lainnya. *Femtocell Access Point* (FAP) mendukung antarmuka radio ke perangkat bergerak dan terhubung melalui jaringan *broadband*

backhaul ke jaringan inti operator jaringan bergerak. FAP sendiri dapat berupa perangkat yang mandiri atau perangkat yang terintegrasi dengan *home gateway*, salah satunya adalah router. *Femtocell Gateway* (FGW) merupakan sebuah perangkat yang menyediakan berbagai macam fungsi, seperti keamanan, kendali, agregasi, dan antarmuka standar dengan jaringan inti operator jaringan bergerak. *FAP Management System* (FAP-MS) bertugas sebagai menangani banyak FAP dan harus dapat bekerja untuk FAP multi-vendor, sehingga persyaratan untuk elemen FAP-MS ini harus distandarisasi terlebih dahulu[11].



Gambar 2. 2 Arsitektur Dasar Jaringan *Femtocell*

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

1. 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.
2. Kecepatan data dan kualitas panggilan yang baik: Peningkatan kecepatan data memungkinkan *user* untuk berkomunikasi dengan lebih cepat.

3. Peningkatan keandalan *macrocell*: *Femtocell* memungkinkan operator untuk menurunkan sejumlah besar lalu lintas jauh dari *macrocell*.
4. Pengurangan biaya untuk operator seluler: *Femtocell* meminimalkan pengeluaran modal dan operasional dengan mengurangi waktu tambahan untuk pemasangan dan biaya operasi.
5. Layanan *femtozone* baru yang menarik: Menggunakan pengetahuan khusus tentang lokasi *femtocell* pengguna dapat menawarkan manfaat tambahan seperti kontrol perangkat sekitar rumah.
6. Penerapan sederhana: *Femtocell* dirancang untuk menjadi mudah dipasang, dikonfigurasi, dan dioperasikan (*zero touch instalasi*)[12].

2.4 Interferensi pada *Femtocell*

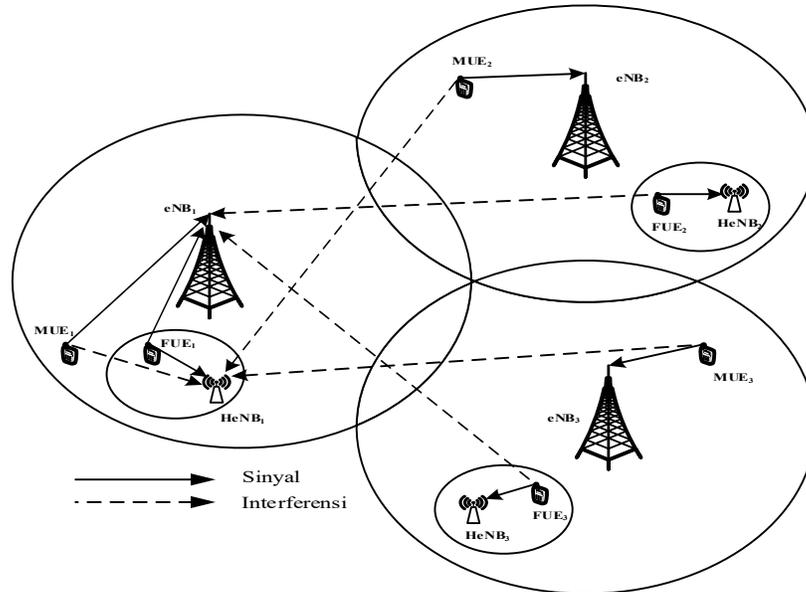
Dalam jaringan *femtocell* pasti ada yang namanya gangguan, gangguan tersebut adalah interferensi. Interferensi sendiri merupakan suatu penghambat dalam sebuah proses pengiriman sinyal yang disebabkan oleh adanya pencampuran sinyal dalam waktu yang bersamaan. Interferensi terjadi karena penggunaan kanal komunikasi secara bersama antara *user* HeNB dan eNB pada waktu yang sama (atau sebaliknya). Interferensi pada jaringan *femtocell* terbagi menjadi dua jenis, yaitu *Cross-tier Interference* dan *Co-tier Interference*. Interferensi sendiri dapat terjadi pada arah *uplink* maupun *downlink*[13].

1.4.1 *Cross-tier Interference*

Interferensi pada jenis *cross-tier* ini terjadi antara elemen-elemen jaringan yang memiliki tingkatan yang berbeda dalam suatu jaringan, seperti interferensi antara *femtocell* dan *microcell*. Interferensi jenis ini dapat terjadi jika *aggressor* (penginterferensi) dan *victim* (terinterferensi) berada pada tingkatan yang berbeda dalam suatu jaringan. Walaupun pada tingkatan yang berbeda, interferensi dapat terjadi dikarenakan *femtocell* dan *microcell* menggunakan *bandwidth* dan frekuensi yang sama[14].

Ketika HeNB terletak jauh dari MUE, maka interferensi yang disebabkan oleh MUE ke HeNB akan berkurang. Sedangkan apabila HeNB terlalu dekat dengan MUE, maka daya interferensi dari MUE ke HeNB akan

meningkat. Pada situasi ini kualitas dari sinyal HeNB akan kuat hanya ketika *femtocell user* sangat dekat dengan cakupan HeNB[12].



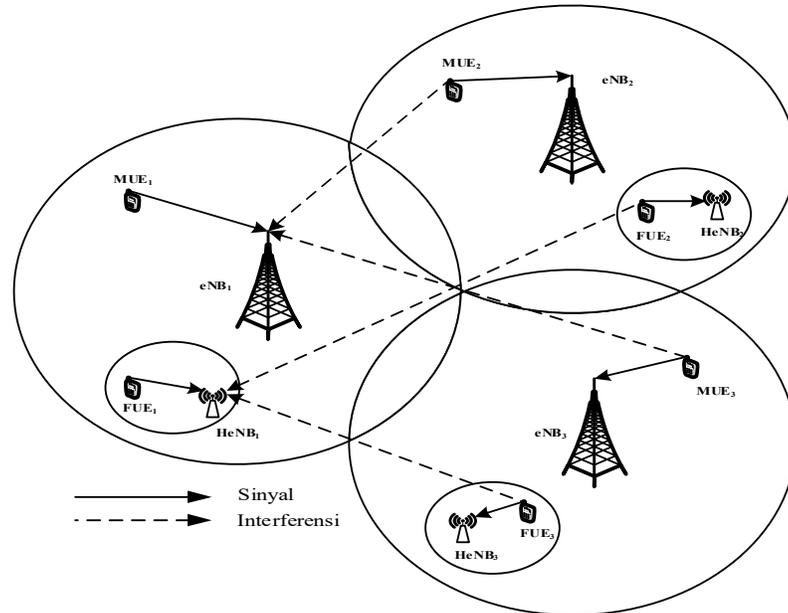
Gambar 2. 3 Interferensi *Cross-tier* jaringan *femtocell*[12]

1.4.2 *Co-tier Interference*

Interferensi pada jenis *co-tier* ini berbanding terbalik dengan interferensi jenis *cross-tier*, yaitu terjadi diantara elemen-elemen jaringan yang memiliki tingkatan yang sama dalam suatu jaringan. Interferensi ini pada umumnya terjadi pada sebuah *femtocell* yang satu dengan *femtocell* lainnya dalam jarak yang berdekatan atau dalam satu lokasi yang sama, misalnya diantara rumah dan apartemen ataupun dalam satu gedung yang sama. Tipe interferensi ini dapat terjadi saat proses komunikasi *uplink* maupun *downlink*. Pada kasus *uplink*, HeNB dan eNB adalah sebagai *victim* (terinterferensi) yang disebabkan oleh *user* yang berada pada sel tetangga.

Pada gambar 2.3 dibawah menunjukkan skenario simulasi *multicell* untuk interferensi *co-tier* yang terjadi saat semua *user* transmisi arah *uplink*. *Femto User Equipment* (FUE₁) melakukan transmisi ke HeNB₁ dan *Macro User Equipment* (FUE₁) melakukan transmisi ke eNB₁. Pada waktu yang bersamaan FUE₂, FUE₃, MUE₂, dan MUE₃ melakukan transmisi *uplink* ke HeNB₂, HeNB₃, eNB₂, dan eNB₃. Sehingga HeNB₁ akan menerima sinyal

interferensi secara *co-tier* dari FUE₂ dan FUE₃, sedangkan eNB₁ akan mengalami interferensi *co-tier* dari MUE₂ dan MUE₃[12].



Gambar 2. 4 Interferensi *Co-tier* jaringan *femtocell*[12]

2.5 *Power Control*

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

Power control mengacu pada pengaturan tingkat daya *output* pemancar, berupa BTS pada arah *downlink* dan *mobile station* pada arah *uplink* dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas sistem, jangkauan dan kualitas *user* (*data rate*), dan untuk meminimalisir penggunaan konsumsi daya. Untuk mencapai tujuan ini, mekanisme kendali daya biasanya bertujuan untuk memaksimalkan daya yang diterima dari sinyal yang diinginkan dengan membatasi interferensi yang ditimbulkan[15].

Dalam penelitian ini, kendali daya yang diamati adalah pada komunikasi arah *uplink* (*uplink power control*), sehingga proses kendali dayanya dilakukan dengan cara mengatur daya pancar *user* supaya interferensi dapat diminimalisasi.

Hal ini dikarenakan level interferensi yang tinggi dapat membatasi area cakupan *uplink* jika daya *user* menjadi sumber interferensi tersebut tidak dikontrol[15].

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)[16]. Algoritma *power control* secara umum digunakan untuk keperluan keperluan sebagai berikut:

1. Mengurangi interferensi yang terjadi dalam upaya peningkatan kapasitas jaringan.
2. Untuk menghemat konsumsi daya agar perangkat pengguna dapat digunakan lebih lama.
3. Untuk menyalurkan sehingga mendukung *Quality of Service (QoS)*[17].

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 simulasi dengan MeNB[17].

2.6 *Uplink Power Control*

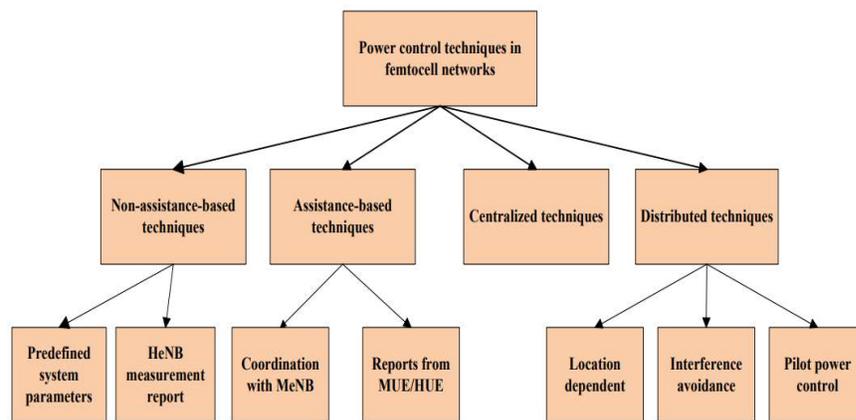
Uplink pada jaringan LTE mempunyai sifat yang ortogonal atau dengan kata lain tidak memiliki gangguan pada *user* didalam *cell* yang sama, namun gangguan yang hanya terjadi antar *cell*. Jumlah interferansi yang ditimbulkan juga tergantung pada posisi terminal, khususnya pada *path gain* dari terminal 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. Jaringan LTE yang mempunyai sifat ortogonal ini akan memungkinkan untuk terjadinya proses *multiplexing* dari terminal dengan berbagai daya terima pada *cell* yang sama[18].

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[19].

2.7 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 sebagai berikut.



Gambar 2. 5 Klasifikasi *Power Control*[17]

Gambar 2.5 menunjukkan pembagian klasifikasi *power control*:

1. *Non-assistance-based*, pada bagian ini HeNB menentukan daya yang di transisikan berdasarkan hasil pengukuran atau yang telah di tentukan oleh parameter pada sistem.
2. *Assistance-based*, pada bagian ini HeNB menentukan daya yang di transmisikan berdasarkan hasil pengukuran MUE/HUE atau dari koordinasi dengan HeNB.
3. *Centralized*, yaitu teknik pengontrol daya yang membutuhkan pengontrol pusat dan informasi dari semua *link gain*.
4. *Distributed*, yaitu teknik *control* daya yang dapat menghindari kemacetan dari *centralized*[17].

2.8 *Distributed Power Control (DPC)*

Distributed Power Control (DPC) merupakan suatu teknik pengendalian daya yang dilakukan secara terdistribusi agar tidak terjadi penumpukan daya yang ditransmisikan oleh *user* pada sistem *Centralized Power Control (CPC)*. DPC sendiri bertujuan untuk menghindari efek *bottleneck* yang dihasilkan pada entitas terpusat dan dapat meningkatkan kualitas dengan menghilangkan efek kegagalan pada kendali daya terpusat sehingga cukup menguntungkan jika diimplementasikan.

Dalam penerapan teknik *Distributed Power Control (DPC)* ini, setiap *user* yang terhubung dijadikan sebagai pengontrol daya baik untuk dirinya sendiri maupun untuk pengguna lain. Pengontrol daya yang dimaksud ini dilakukan oleh *user* pada perangkat telekomunikasi yang digunakannya. *Power update* dilakukan oleh setiap *user* agar mencapai kondisi yang konvergen. Untuk menentukan daya yang baru saat kondisi *power update* sangat berkaitan dengan daya lama yang digunakan oleh *user*. Untuk menentukannya, *power update* pada DPC didapatkan dari kondisi SINR *user* dan daya yang digunakan sebelumnya yang dirumuskan sebagai berikut[7]:

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

dimana $y_{i^{tar}}$ merupakan SINR target dan $y_{i(t)}$ 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)*[20].

2.9 *Fisibilitas Distributed Power Control*

Metode *power control* diharapkan dapat mengurangi terjadinya interferensi pada jaringan. Untuk mencapai hasil yang fisibel pada sebuah sistem kendali daya maka semua *user* harus memenuhi batas nilai SINR yang telah ditentukan. *User* dapat menyesuaikan nilai daya transmisi melalui kontrol daya terdistribusi untuk memastikan bahwa semua *user* yang sedang berbagi saluran yang sama memenuhi kualifikasi nilai target SINR kepada penerima yang dituju. Untuk *user* yang sedang berbagi saluran yang sama, daya transmisi akan mempengaruhi kualitas interferensi pada saluran tertentu. Oleh karena itu, tujuan dari kontrol daya adalah untuk

menyinkronkan daya transmisi semua *user* untuk meningkatkan kualitas koneksi[7]. Untuk menentukan nilai SINR target juga cukup dengan menggunakan persamaan berikut:

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

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 σ_0 yang merupakan *noise*[21].

Fisibilitas pada metode *Distributed Power Control* (DPC) merupakan suatu kondisi dimana semua kontrol daya mampu mencapai kondisi yang konvergen setelah dilakukan pengujian suatu sinyal pada nilai daya tertentu (p^*) serta pada saat yang sama, semua *user* dapat mencapai nilai target SINR pada saat nilai daya positif hingga nilai daya maksimum $0 \leq P^* \leq P_{\max}$. Dengan melakukan uji kelayakan pada metode DPC dapat dikatakan tidak fisibel jika nilai power pada *user* bernilai negative, karena kondisi *user* tidak mencapai target nilai SINR yang diinginkan oleh suatu jaringan. Fisibilitas pada metode ini juga dapat dilihat berdasarkan penggunaan daya maksimum pada *user* sehingga daya yang digunakan telah melebihi nilai target SINR yang telah ditentukan, kondisi ini disebut sebagai kondisi semi fisibel[7].

Berdasarkan pembahasan tersebut, untuk menentukan fisibilitas pada metode DPC ini dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

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

Dengan $P_{\min} = 0$ W atau dengan nilai daya tertentu terkait saat daya awal bukan nol dalam proses pembaruan daya. Setelah diberikan nilai y_i^{tar} atau SINR target, supaya dapat dikatakan fisibel harus memenuhi persyaratan *vector* daya *non-negative* atau disebut dengan *non-negative power vector*. Untuk memenuhi kondisi *non-negative power vector* bisa dengan menggunakan persamaan berikut[7]:

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

Dengan P^* merupakan daya total yang digunakan oleh *user*, $H = (h_{ij})$ yang merupakan matriks *link gain* yang ternormalisasi sehingga dapat diketahui nilainya menggunakan persamaan berikut[7]:

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

Sedangkan η yaitu vektor *noise* yang ternormalisasi sehingga dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut[22]:

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

Dimana G_{ii} dan G_{ij} merupakan nilai *link gain user i* dan *user j*. untuk menentukan nilai *gain user* bisa didapatkan menggunakan persamaan berikut ini[21]:

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

Dengan d merupakan jarak antar *user*, sedangkan α merupakan konstanta *pathloss* bernilai 4. Agar dapat dikatakan bahwa sistem kendali daya terdistribusi telah mencapai kelayakan maka harus memenuhi dua persyaratan, yaitu nilai dari p^* adalah *non-negative power vector* dan nilai mutlak dari matriks *link gain* memenuhi persamaan $H < I$ [7].

$$h_{ij} = |h - \lambda i| \quad (2.8)$$

Dimana h_{ij} merupakan matriks *link gain user i* dan *user j* yang ternormalisasi, sedangkan λi merupakan hasil dari matriks h_{ij} tersebut.

Selain dengan menggunakan cara yang telah dijelaskan diatas, cara untuk menentukan fisibilitas sistem *Distributed Power Control* (DPC) juga berkaitan dengan daya maksimum *user*. Kondisi dapat dikatakan tida fisibel apabila penggunaan daya *user* melebihi batas yang telah ditentukan. Agar kondisi tetap dalam keadaan fisibel, dapat melakukan beberapa cara, yaitu dengan melakukan penghapusan *Secondary User* (SU) atau bisa melakukan pengurangan interferensi dengan memperlebar jarak antar *user*[7].

2.10 Konvergensi *Distributed 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[22].

2.11 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 bnetuk 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[23].

Modulasi merupakan penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carier*. Sinyal informasi tersebut dapat ditumpangkan dengan cara mengubah amplitudo, frekuensi maupun fasa yang dibawa oleh sinyal *carrier*. 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].

Gambar 2. 6 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

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].