

## BAB II

### DASAR TERORI

#### 2.1. Long Term Evolution

*Long Term Evolution* (LTE) adalah jaringan akses radio evolusi jangka panjang keluaran dari *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). LTE merupakan kelanjutan dari teknologi generasi ketiga (3G) WCDMA-UMTS. Teknologi ini telah sukses diujicoba secara komersial sejak 2009 silam dan diharapkan menjadi standar evolusi komunikasi data pita lebar bergerak untuk dasawarsa mendatang. LTE diperkenalkan dalam satu rangkaian dengan *System Architecture Evolution* (SAE) sebagai inti jaringan generasi keempat menurut standar 3GPP. LTE dikenal juga sebagai *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) sementara SAE yang merupakan jantung dari sistem LTE juga memiliki nama lain *Evolved Packet Core* (EPC). Teknologi LTE dirancang untuk kecepatan akses data, LTE dapat memberikan *coverage* dan *capacity* dari layanan yang lebih besar, mengurangi biaya operasional, mendukung penggunaan *multiple-antenna*, fleksibel dalam penggunaan *band width*, dan dapat saling *internetworking* dengan jaringan *existing* yang sudah ada[2].

Pada UMTS kecepatan transfer data maksimum adalah 2 Mbps, pada HSPA kecepatan transfer data mencapai 14 Mbps pada sisi *downlink* dan 5,6 Mbps pada sisi *uplink*, pada LTE ini kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. Selain itu LTE ini mampu mendukung semua aplikasi yang ada baik *voice*, data, video, maupun IPTV. LTE diciptakan untuk memperbaiki teknologi sebelumnya. Kemampuan dan keunggulan dari LTE terhadap teknologi sebelumnya selain dari kecepatannya dalam transfer data tetapi juga karena LTE dapat memberikan *coverage* dan kapasitas dan layanan yang lebih besar, mengurangi biaya dalam operasional, mendukung penggunaan *multiple-antenna*, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* operasinya dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada [3].

##### 2.1.1. Kriteria Teknologi Jaringan Long Term Evolution (LTE) [2]

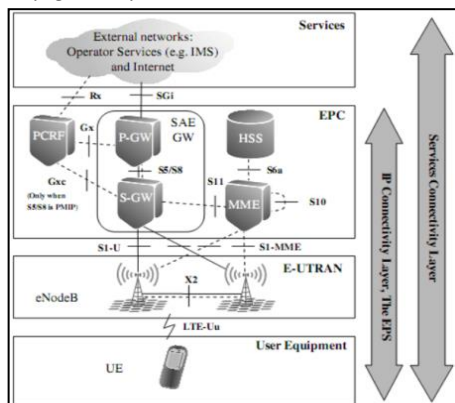
Organisasi 3GPP merumuskan kriteria teknologi LTE sebagai berikut:

1. Pesat data puncak *downlink* mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gps saat bergerak pelan atau diam. Sementara itu, untuk *uplink* pesat data puncak adalah 50 Mbps.
2. Tunda sistem berkurang hingga 10 ms.

3. Efisiensi spektrum meningkat 2 hingga 4 kali lipat dari teknologi 3,5 G *High Speed Packet Access (HSPA) Release-6*.
4. Migrasi sistem yang hemat biaya dari HSPA Release-6 ke LTE.
5. Meningkatkan layanan *broadcast*.
6. Menggunakan penyambungan *Packet Switch (PS)* sehingga memungkinkan sistem mengadopsi IP secara menyeluruh.
7. *Band width* yang fleksibel, mulai dari 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz hingga 20 MHz.
8. Dapat bekerja diberbagai spektrum frekuensi baik berpasangan (*paired*) maupun tidak berpasangan (*unpaired*).
9. Dapat bekerja sama (*inter-working*) dengan sistem 3GPP maupun sistem non-3GPP yang sudah ada.

### 2.1.2. Arsitektur Teknologi LTE

Arsitektur jaringan LTE dirancang untuk tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *Quality of Service (QoS)*, dan *Latency* yang kecil. Pendekatan *packet switching* ini memperbolehkan semua layanan termasuk layanan *voice* menggunakan koneksi paket. Oleh karena itu pada Arsitektur jaringan LTE dirancang sesederhana mungkin, yaitu hanya terdiri dari dua *node* yaitu *eNode B* dan *mobility management entity/gateway (MME/GW)*.



Gambar 2. 1 Arsitektur LTE [4]

LTE diperkenalkan dalam satu rangkaian dengan *system Architecture Evolution (SAE)* sebagai inti dari jaringan generasi keempat ini menurut standar 3GPP. LTE dikenal juga sebagai *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)* sementara SAE yang merupakan jantung dari sistem LTE juga memiliki nama lain *Evolved Packet Core*

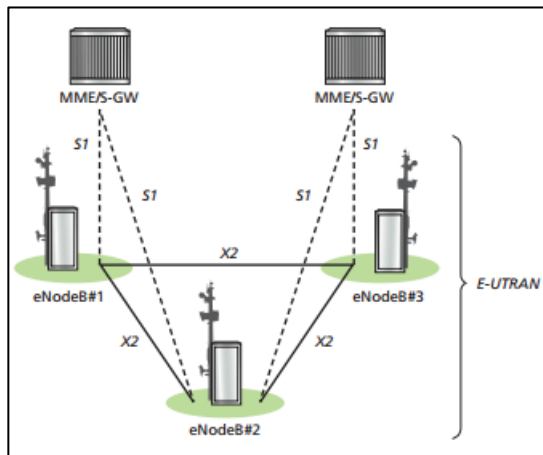
(EPC). Perbedaan EPC dengan sentral penyambungan generasi sebelumnya adalah bahwa EPC murni bekerja berdasarkan prinsip *Packet Switch* (PS), tidak ada lagi penyambungan *Circuit Switch* (CS).

Sisi Arsitektur LTE dikenal dengan menggunakan suatu istilah SAE (*System Architecture Evolution*) yang menggambarkan suatu evolusi Arsitektur di bandingkan dengan teknologi sebelumnya. Secara keseluruhan (*High Level Architecture*/Arsitektur tingkat tinggi), didalamnya terdapat tiga komponen penting yakni UE (*User Equipment*), E-UTRAN (*Evolved UMTS terrestrial radio access Network*), dan EPC (*Evolved Packed Core*) [2].

### A. *User Equipment (UE)*

*User Equipment* (UE) adalah perangkat komunikasi pengguna. Perangkat ini dapat berupa *smartphone* atau telepon seluler, tablet, komputer, maupun segala perangkat yang dapat terhubung dengan internet. UE berisi *Universal Subscriber Identity Module* (USIM) yang merupakan modul terpisah dari keseluruhan UE dan kadang disebut juga *Terminal Equipment* (TE). Pada bagian radio akses selain mengenai UE juga mengenal *Enode B* (*Evolved Node B*) yaitu adalah antar muka dari jaringan LTE dengan UE. Pada GSM dikenal sebagai BTS.

### B. *E-UTRAN (Evolved UMTS terrestrial radio access Network)*



Gambar 2. 2 Arsitektur E-UTRAN[8]

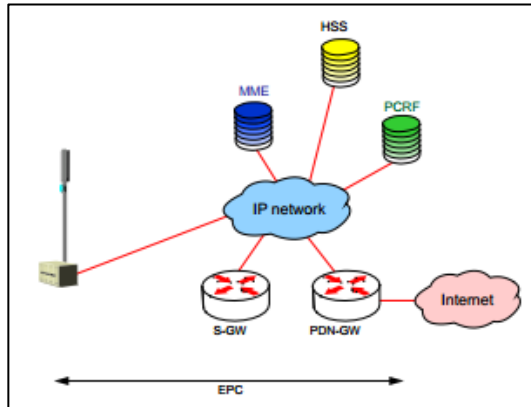
E-UTRAN adalah *system* Arsitektur LTE yang memiliki fungsi menangani sisi radio akses dari UE ke jaringan *core*. Berada seperti teknologi sebelumnya yang memisahkan *node B* dan RNC menjadi elemen tersendiri, pada *system* LTE E-UTRAN hanya dapat satu komponen yakni *Evolved node B* (*eNode B*) yang telah menggabungkan fungsi dari keduanya. *eNode B* secara fisik adalah suatu base station yang terletak dipermukaan bumi (*BTS Greenfield*) atau ditempatkan di atas gedung-gedung (*BTS Rooftop*).

Bila pada Arsitektur UTRAN *node B* ingin berkomunikasi dengan *node B* lainya harus melewati RNC. Hal tersebut menimbulkan ketidak efisienan karena menimbulkan *delay time*. Namun pada LTE hal tersebut dapat diminimalisir karena *eNodeB* langsung dapat berkomunikasi dengan *eNode B* lainya. *eNode B* memiliki dua *interface* sekaligus yakni *interface S1* untuk menghubungkan dengan EPC, dan *interface X2* untuk hubungan langsung antar *eNode B* lainya. Fungsi dari *X2* sendiri adalah untuk mendukung akses komunikasi dan penerusan paket trafik pada saat UE melakukan *handover*.

*eNode B* memiliki dua tugas penting, yang pertama adalah sebagai radio transmitter dan *receiver*. Dan yang kedua adalah untuk mengontrol *low-level operation* semua *mobile user* dengan cara mengirim suatu sinyal tertentu berupa pesan seperti pada saat proses *handover*

### **C. Evolved Packet Core (EPC)**

EPC adalah sebuah sistem yang baru dalam evolusi Arsitektur komunikasi seluler. Sebuah *system* dimana pada bagian *core network* menggunakan *all-IP* – sebuah kerangka konvergensi yang berbasis *packet real time* dan layanan *non-real time* yang dibentuk oleh 3GPP *release 8* standar. EPC menyediakan fungsionalitas *core mobile* yang pada generasi sebelumnya memiliki dua bagian yang terpisah yaitu *sub-domain: circuit-switched* (CS) untuk *voice* dan *packet-switched* (PS) untuk data. Pada LTE kedua *sub-domain* ini, dimana pengolahan dan *switching* antara *mobile voice* dan data, akan bersatu dalam sebuah domain IP tunggal. LTE akan menjadi sistem yang dari *end-to-end* nya akan menggunakan IP yaitu dari *eNode B* (*LTE Base Station*), EPC dan sampai kepada domain aplikasi (IMS atau non IMS).



Gambar 2. 3 Arsitektur EPC [8]

Dengan adanya EPC yang memiliki *high performance* dan mempunyai kapasitas yang besar pada *all-IP* di *core network* membuat memberikan layanan *real time* yang lebih baik dan menyajikan berbagai layanan media yang kaya dengan mengkatnya *Qualitas of Eperience* (QoE). EPC dengan sistem Arsitektur *all-IP* dalam *mobile network* akan berimplikasi pada:

- a. Layanan *mobile*, karena semua komunikasi suara, data dan video akan dibangun pada *protocol IP*
- b. *Internetworking* Arsitektur baru denegan generasi sebelumnya (2G/3G)
- c. Skalabilitas sangat dibutuhkan untuk mengatasi peningkatan dalam jumlah besar untuk koneksi langsung ke terminal pengguna, pelipatan penggunaan *bandwidth*, dan mobilitas terminal yang bergerak dinamis.
- d. Keandalan dalam *availability* setiap elemen untuk menjamin kelangsungan layanan untuk mengatasi perbedaan jaringan dan layanan.

Pada EPC ada 4 bagian utama yang terpenting dalam mendukung jaringan LTE, yaitu: MME, SGW, PGW dan PCRF.

### 1. *Mobility Management Entity* (MME)[2]

*Mobility Management Entity* (MME) merupakan elemen *control* utama yang terdapat pada EPC. Biasanya pelayanan

MME pada lokasi keamanan operator. Pengoperasiannya hanya pada *control plane* dan tidak meliputi data *user plane*. MME juga memiliki koneksi *control plane* secara langsung pada UE, dan koneksi ini digunakan *primary control channel* antara UE dan jaringan. Fungsi utama MME pada Arsitektur jaringan LTE adalah sebagai berikut

- a. *Authentication* dan *security*, ketika UE pertama kali melakukan registrasi ke jaringan, MME memulai autentikasi, diikuti performansinya; pada saat menemukan permanen UE berdasarkan identitas dari jaringan sebelumnya atau UE tersebut.
- b. MME menjaga jalur lokasi semua UE yang berada pada *service area*. Ketika UE pertama kali melakukan registrasi ke jaringan, MME akan membuat sebuah entry untuk UE, dan mengalokasikannya sinyal ke HSS pada UE *Home network*.
- c. *Managing Subscription Profile* dan *Service Connectivity*, saat UE melakukan registrasi ke jaringan, MME akan bertanggung jawab untuk mendapatkan kembali profile pelanggan dari *Home network*, MME akan mengirimkan informasi ini selama melayani UE.

## 2. *Serving Gateway (S-GW)*

*Gateway (GW* melayani dan PDN GW) menangani use *plane*. Mengangkut IP lalu lintas data antara UE dan jaringan eksternal. S-GW melayani titik interkoneksi antara sisi radio dan EPC. Seperti namanya menunjukkan, *gateway* ini menyajikan UE oleh *routing* paket-paket IP masuk dan keluar. Itu adalah titik *anchor* untuk mobilitas intra-LTE (yaitu dalam hal serah terima antara *eNode Bs*) antara LTE dan mengakses 3GPP lainnya. Logis terhubung ke *gateway* lain, PDN GW[10].

S-GW merupakan bagian dari infrastruktur jaringan sebagai pusat operasional dan *maintenance*. Ketika *interface S5/S8* berbasis GTB, S-GW akan menjembatani ke semua *interface* pada *user plane*. Peran S-GW sangat sedikit pada fungsi pengontrolan. Hanya bertanggung jawab pada sumber sendiri, dan mengalokasikannya berdasarkan permintaan MM, P-GW atau PCRF, yang memerlukan *set up*, memodifikasi

atau penjelasan pada UE. Jika permintaan diterima oleh P-GW atau PCRF, S-GW juga akan memberitahu MME sehingga dapat mengontrol hubungan dengan eNode B. Ketika MME menginisiasikan permintaan, S-GW akan memberikan sinyal pada P-GW atau PCRF, tergantung apakah S5/S8 berbasis GTP atau PMIP.

### **3. Packet Data Network Gateway (PDN-GW)**

Fungsi PDN-GW adalah sebagai pintu gerbang ke Internet. Menghubungkan ke SGW melalui *interface* S5-UP dan ke Internet melalui *interface* SGi. pada *forward direction* dibutuhkan paket data pengguna dari SGW dan transfer ke internet melalui *interface* SGi. pada *forward direction* data paket dikemas ke S5 GTP *tunnel* dan diteruskan kepada SGW yang bertanggung jawab untuk pengguna dimaksudkan. PDN *gateway* juga bertanggung jawab untuk menugaskan alamat IP untuk perangkat *mobile*. Hal ini terjadi ketika seorang pelanggan diaktifkan pada perangkat *mobile* mereka.

Bagian Ini memainkan peran penting dalam hal skenario roaming internasional. *interface roaming* yang digunakan untuk menghubungkan GSM/GPRS, UMTS/HSPA atau jaringan LTE operator jaringan yang berbeda dari berbagai negara. Misalnya, jika pelanggan telah pindah ke negara lain dan ingin terhubung ke internet maka jaringan asing akan query data pengguna di jaringan rumah untuk otentikasi purposes. *Authentication* pembawa didirikan dan GTP pengguna terowongan yang dibuat antara SGW pengunjung jaringan dan PDN-GW jaringan rumah pelanggan melalui *interface* yang disebut S8 [11]. Adapun PDN-GW ini mendukung:

- a. *Policy enforcement features*
- b. *Packet filtering*
- c. *Charging support*

### **4. Policy and Charging Rules Function (PCRF).**

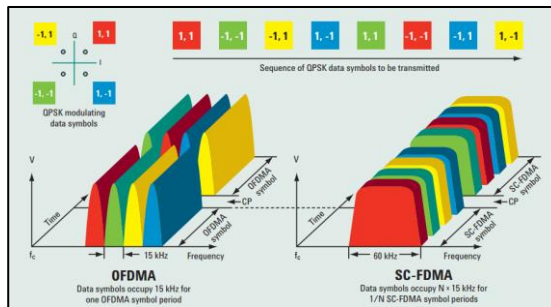
Kemajuan yang ada pada *release 7* dari 3GPP dalam hal policy dan charging melahirkan definisi baru untuk sebuah aturan dalam konvergensi antar Arsitektur jaringan untuk memungkinkan optimalisasi interaksi antara kebijakan dan aturan. Pada R7 evolusi ini melibatkan *node* jaringan baru,

yang dinamakan dengan PCRF, yang merupakan gabungan dari *Policy Decision Function* (PDF) dan *Charging Rules Function* (CR).

PCRF merupakan bagian dari Arsitektur jaringan yang mengumpulkan informasi dari dan ke jaringan, sistem pendukung operasional, dan sumber lain secara *real time*, yang mendukung pembentukan aturan dan kemudian secara otomatis membuat keputusan kebijakan untuk setiap pelanggan aktif jaringan.

### 2.1.3. Teknologi Akses Jamak Pada LTE

Akses jamak adalah metode untuk mengoptimalkan lebar spektrum (*bandwidth*) agar dapat digunakan oleh sebanyak mungkin pengguna namun dengan gangguan seminimal mungkin. Akses jamak pada LTE berdasarkan pada konsep *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Pada penerapannya, *downlink* yakni dari eNode B menuju UE menggunakan modifikasi OFDM yakni OFDMA. Sementara itu pada *uplink* yakni dari UE menuju eNode B digunakan varian OFDM yang lebih efisien yakni SC-FDMA.



Gambar 2. 4 Perbandingan ingan OFDMA dan SC-FDMA[12]

#### A. OFDMA[2]

*Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) bisa dikatakan merupakan gabungan konsep OFDM dengan FDMA. *Sub-carrier* yang saling orthogonal tidak hanya dipetakan berdasarkan waktu namun juga dapat dialokasikan secara terpisah. *Multiplexing* fisik dilakukan dengan mengalokasikan setiap *user* pada *slot* frekuensi-waktu dan dipilih berdasarkan kecepatan datanya. OFDMA sebelumnya telah dipergunakan oleh beberapa teknologi lain seperti *wifi*



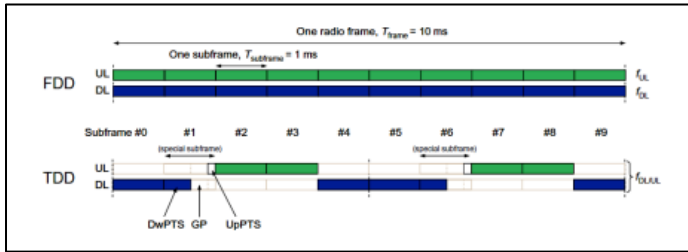
(IEEE 802.11 a, g, n) dan WIMAX (IEEE 802.16). Terdapat beberapa pandangan dimasyarakat yang menganggap OFDM sama dengan OFDMA. Keduanya memang memiliki beberapa persamaan namun dalam kenyataan sesungguhnya OFDM dan OFDMA merupakan dua hal yang berbeda. Hal yang berbeda itu terletak pada sisi penjadwalan (*Scheduling*).

### **B. SC-FDMA[2]**

Pada prinsipnya SC-FDMA memiliki kesamaan dengan OFDMA. Bila pada OFDMA simbol ditransmisikan dengan durasi yang lama dan berpita sempit, maka pada SC-FDMA merupakan kebalikan dari itu. Pada SC-FDMA simbol ditransmisikan pada durasi cepat (*bit rate* tinggi) namun dengan pita yang lebar. Pemilihan OFDMA pada LTE dirasa mampu mengakomodir kebutuhan layanan. Namun penggunaan OFDMA pada sisi *uplink* belum optimal, salah satu faktornya adalah tingginya nilai PAPR (*Peak average power ratio*). PAPR adalah tingkat perbandingan daya rata-rata dengan daya puncak. Dalam kondisi OFDMA suatu informasi dibawa oleh suatu symbol yang berisi bit-bit informasi. Symbol tersebut didefinisikan menurut diagram konstelasi berdasarkan skema modulasi yang digunakannya, bisa berupa QPSK, 16QAM atau 64QAM. Pengguna transmisi data berupa *bit rate* rendah dengan pita sempit akan sangat rentan terhadap variasi daya yang terjadi antara *carrier* yang disebabkan *noise*.

#### **2.1.4. Radio Frame Structure LTE**

*Frame radio structure* merupakan suatu susunan data dalam domain waktu yang memuat *Signal* informasi yang dikirimkan *transmitter* kepada *receiver* melalui kanal radio. Begitu pula halnya dengan LTE, pada LTE dikenal juga suatu *radio frame* yang masing-masing berbeda tergantung mode *duplex* yang digunakan. LTE dapat menggunakan *Time Division Duplex* (TDD) dan *Frequency Divison Duplex* (FDD) yang cukup fleksibel. Masing-masing mode tersebut menggunakan *frame structure* yang berbeda pula.



Gambar 2. 5 Radio frequency structure for FDD and TDD[13]

### A. Time Division Duplex (TDD)[13]

Prinsip utama dalam mode TDD adalah menggunakan frekuensi yang sama untuk transmisi *uplink* dan *downlink*. TDD memisahkan waktu untuk *uplink* dan *downlink*. Seperti pada FDD, TDD juga mendukung lebar *band with* yang sama, dari 1,4 MHz hingga 20 MHz. Dengan menggunakan frekuensi yang sama untuk *uplink* dan *downlink*, maka *throughput* maksimum yang dapat oleh LTE TDD dengan konfigurasi sama akan menjadi lebih rendah dibanding FDD.

Dalam kasus TDD operasi (Gambar 2.5), ada frekuensi *single carrier* hanya dan transmisi *uplink* dan *downlink* dipisahkan dalam domain waktu setiap sel. Seperti yang terlihat dalam gambar, beberapa *subframe* dialokasikan untuk transmisi *uplink* dan beberapa *subframe* untuk transmisi *downlink*, dengan beralih antara *downlink* dan *uplink* yang terjadi di *subframe* khusus (*subframe* 1 dan, dalam beberapa kasus, *subframe* 6).

Dengan cara ini kemampuan Penerima dan pemancar pengolahan yang sama dapat digunakan dengan kedua *duplexing* TDD dan FDD mode yang memungkinkan penggunaan lebih cepat pada LTE. Sistem TDD dapat diimplementasikan pada sebuah *band* berelektron (atau dua *band* dipasangkan secara terpisah) sementara sistem FDD selalu membutuhkan sepasang *band* dengan wajar pemisahan antara arah *uplink* dan *downlink*, dikenal sebagai pemisahan dupleks.

## **B. Frequency-division Duplex (FDD)[13]**

Mode operasi FDD memerlukan sepasang frekuensi untuk operasi dengan membedakan waktu untuk *uplink* dan *downlink*. LTE dengan mode kerja FDD akan menghasilkan *throughput* jaringan sama besar antara *uplink* dan *downlink* apabila parameter seperti modulasi, konfigurasi antena dan *overhead protocol* sama. Hal ini dikarenakan *resource* yang digunakan untuk *uplink* dan *downlink* sama besar. Dalam kasus FDD operasi (Gambar 2.5), ada dua frekuensi pembawa, satu untuk transmisi *uplink* (fUL) dan satu untuk transmisi *downlink* (GFDL). Selama setiap *frame*, itu terdapat sepuluh *subframes uplink* dan *downlink* sepuluh *subframes*, dan transmisi *uplink* dan *downlink* dapat terjadi secara bersamaan dalam sel [26].

### **2.1.5. Physical Cell Identity (PCI)[14]**

Untuk dapat mengakses jaringan diperlukan *Physical Cell Identity* (PCI) yang digunakan oleh UE untuk identifikasi *cell*, dengan sinkronisasi waktu dan frekuensi. Prinsip kerja dari PCI hampir sama dengan pengalokasian *scrambling code* (SC) yang digunakan untuk membedakan dan memberi identitas sel dalam sistem WCDMA. PCI memiliki 504 kode dengan pembagiannya terdapat 168 grup pada 3 identitas *cell*. Tiga identitas *cell* dalam 1 grup biasanya disebut *cell* sektor yang dikontrol dalam *eNode B* yang sama. Dengan pengalokasian PCI berkaitan erat dengan *Neighbour Cell Relation* (NCR) *list* yang dapat otomatis dapat diperbarui, salah satunya dengan melihat laporan pengukuran *handover* yang terjadi. PCI harus unik untuk mengidentifikasi *cell* tetangga dalam hal melayani trafik *eNode B*. Jarak penggunaan kembali kode tersebut harus cukup besar, sehingga UE tidak dapat menghitung dan memberi laporan kepada 2 *cell* dengan PCI yang sama, Tujuannya untuk mengetahui sinyal referensi untuk *downlink* dan *uplink*.

#### **A. Skema Pengalokasian PCI[14]**

PCI berfungsi sebagai pengidentifikasi utama dalam prosedur *handover*. Agar proses *handover* berjalan dengan sukses, maka alokasi PCI dalam jaringan LTE harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. *Collision-free*, berarti kode PCI harus unik dalam suatu area dimana suatu sel dicakup. Kondisi ini terjadi jika terdapat dua sel tetangga yang tidak memiliki kode PCI yang sama.
- b. *Confusion-free*, berarti sebuah sel tidak diperbolehkan memiliki sel tetangga dengan PCI sama yang berdekatan. Kondisi ini terjadi jika tidak ada satupun sel-sel yang memiliki 2 sel tetangga dengan PCI yang berdekatan.



Gambar 2. 6 *Collision* dan *Confusion* pada PCI[15]

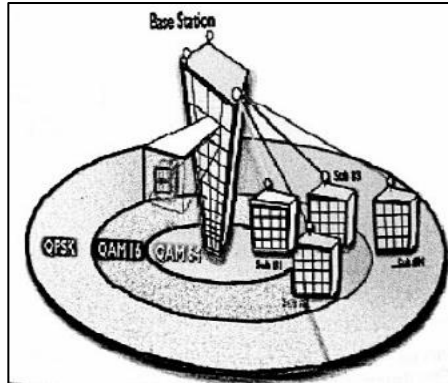
## B. Sinkronisasi Sinyal

Deteksi sinyal *broadcast* tiap *cell* yang dibawa oleh *Physical Broadcast Channel* (PBSCCH) akan didekodekan oleh UE. Selanjutnya dilakukan proses sinkronisasi frekuensi dan waktu yang didapat dengan menggunakan *Primary Synchronization Signal* (PSS) dan *Secondary Synchronization Signal* (SSS). Pendeteksian kedua sinyal tersebut tidak hanya untuk sinkronisasi waktu dan frekuensi, tapi juga untuk memberikan informasi ke UE dengan *physical layer identity*, informasi panjang dari *cyclic prefix* yang merupakan panjang simbol tambahan dalam sistem OFDM untuk mengatasi *inter symbol interference* (ISI), dan juga memberikan informasi kepada UE mengenai *cell* yang ditempati menggunakan sistem *frequency division duplex* (FDD) atau *time division duplex* (TDD).

### 2.2. Adaptive Modulation Coding (AMC)[16]

AMC merupakan sebuah teknologi untuk mendukung LTE yang berfungsi untuk membentuk link adaption dimana *feedback* dari *user* digunakan untuk menentukan skema *coding* dan modulasi yang akan digunakan berdasarkan CQI (*Channel Quality Indicator*). Secara efektif

dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas sambungan atau biasanya diukur dengan SINR.

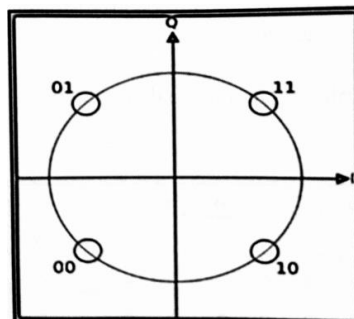


Gambar 2. 7 Adaptive Modulation[16]

Tujuan utama penerapan *adaptive modulation and coding* adalah meningkatkan performansi sistem dalam hal efisiensi *band width*, reduksi SNR dan BER. *Adaptif Coding* menggunakan *Turbo code* dan *Convolutional code* Berdasarkan 3GPP TS LTE mendukung skema modulasi QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing skema modulasi.

#### A. QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)

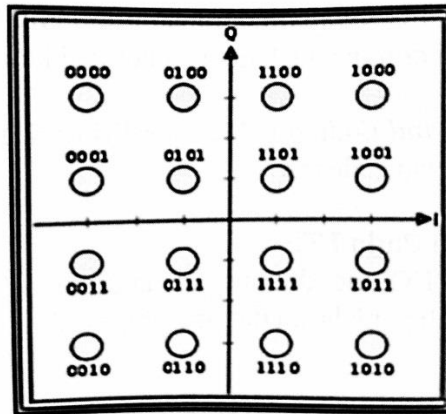
QPSK termasuk pada kategori *low order* modulasi dikarenakan QPSK hanya terdiri dari 4 simbol (Simbol yang berdekatan berbeda fasa 90 derajat) dan pada tiap symbol terdiri dari 2 bit. QPSK biasa digunakan pada kondisi kanal antara pengirim dengan penerima buruk (SINR Rendah).



Gambar 2. 8 Diagram Konstelasi Modulasi QPSK [16]

## B. 16 Quadrature amplitude modulation (16 QAM)

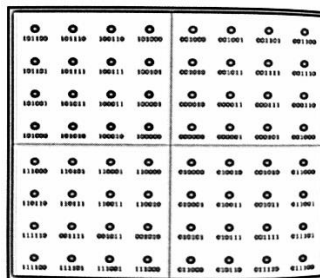
Modulasi ini terdiri dari 16 simbol dimana setiap *symbol* terdiri dari 4 bit. Berikut gambar merupakan ilustrasi dari modulasi jenis 16 QAM.



Gambar 2. 9 Diagram Konstelasi Modulasi 16 QAM [16]

## C. 64 Quadrature amplitude modulation (64 QAM)

Modulasi ini termasuk dalam kategori dari *high order* modulasi karena 64 QAM terdiri dari 64 simbol dimana setiap symbol terdiri dari 6 bit. 64 QAM digunakan pada kondisi kanal antara pengirim dan penerima cukup baik atau pada nilai SINR tinggi. Namun memiliki kekurangan yaitu rentan terhadap noise, interferensi dan kesalahan estimasi kanal.



Gambar 2. 10 Diagram Konstelasi Modulasi 64 QAM [16]

### 2.3. Radio Key Performance Indicator (KPI) Parameter[2]

#### 2.3.1. Reference Signal Received Power (RSRP)

Pada teknologi 2G RSRP dikenal dengan *RxLevel* dan pada teknologi 3G dikenal dengan RSCP. RSRP adalah daya sinyal dari

sinyal referensi. Pada *drive test* 4G parameter ini merupakan jenis parameter yang spesifik dan digunakan perangkat untuk melakukan *handover*. Pada table 1 2.1 menunjukkan *range* kategori dari kualitas RSRP.

Tabel 2. 1 Kategori RSRP[2]

Nilai	Keterangan
-70 dBm s.d -90 dBm	Baik
-91dBm s.d -110 dBm	Normal
-110 s.d -130 dBm	Buruk

### 2.3.2. Signal to Noise Ratio (SINR)

SINR adalah perbandingan kekuatan sinyal dengan interferensi. Nilai SINR merupakan hasil dari persamaan berikut.

$$SINR = \frac{S}{I+N}[2].....(2.1)$$

Dimana

S = Mengindikasikan daya dari sinyal yang diinginkan.

I= Mengindikasikan daya dari sinyal interferensi.

N= Mengindikasikan *noise background* yang berkaitan dengan perhitungan *bandwidth* dan koefisien *noise* yang diterima.

Tabel 2. 2 Kategori SINR[2]

Nilai	Keterangan
16 s.d 30 dB	Baik
1 dB s.d 15 dB	Normal
-10 dB s.d 0 dB	Buruk

SINR pada 2G dikenal dengan *RxQual* dan pada 3G dikenal dengan *Ec/No*. berikut merupakan range dari kategori kualitas SINR.

### 2.4. Komunikasi Selular Indoor

Komunikasi jaringan *Indoor* merupakan suatu sistem yang diterapkan dalam gedung untuk mendukung sistem luar gedung (makrosel dan mikrosel *outdoor*) dalam memenuhi layanan seluler dan *wireless*. Perencanaan sel dalam gedung (*Indoor coverage*) meliputi perencanaan area cakupan sesuai dengan komitmen area, kapasitas trafik sesuai kebutuhan dan kualitas sinyal yang memuaskan pelanggan, dan dengan interferensi yang kecil. Pemenuhan akan kebutuhan sinyal dalam gedung sudah merupakan sebuah kebutuhan mendasar. Aplikasi sistem ini sangat populer dikota megapolitan dimana banyak bangunan *superblock* terintegrasi, gedung tinggi, *tunnel* dimana kondisi di dalam gedung

tersebut sangat sulit menerima sinyal dari tower telekomunikasi bahkan tidak dapat menerima sinyal sama sekali [17].

Prinsip kerja sistem ini secara sederhana adalah memanfaatkan sistem distribusi antena *Indoor* untuk mendistribusikan sinyal dari BTS, sehingga semua sisi bangunan dapat terjangkau sinyal dengan baik. Secara sederhana, sebuah sistem *Indoor coverage* terdiri atas dua bagian yaitu yang pertama adalah sumber sinyal *Macrocell* BTS, *Picocell* BTS. Dan yang kedua adalah *Distributed Antenna System* yaitu *Passive Distribution Mode*, *Active Distribution Mode*, *Optical Fiber Distribution Mode*, *Leaky Cable Distribution Mode*.

Prosedur dari perencanaan sel antara lain adalah cakupan dan analisa interferensi, perhitungan trafik, perencanaan frekuensi, dan parameter sel. Beberapa hal yang harus diperhatikan di dalam membuat suatu perencanaan sel adalah[18]:

- a. Cakupan (*Coverage*)
- b. Kapasitas (*Capacity*)
- c. Kualitas

Tujuan dari pengembangan sistem jaringan selular *Indoor* hampir sama dengan perencanaan sel biasa atau outdoor yaitu untuk mendapatkan cakupan yang baik dan kapasitas yang sangat memadai sesuai dengan kebutuhan pelanggan dengan tetap mengusahakan tingkat interferensi yang kecil.

#### **2.4.1. Karakteristik Seluler *Indoor*[18]**

Sistem dalam gedung sangat berbeda dengan sistem luar gedung, hal yang paling mendasar adalah model perancangan sistem radio dan distribusi antenanya harus disesuaikan dengan karakteristik gedung tempat sel tersebut terpasang. Pada sistem sel dalam gedung dibutuhkan teknik khusus untuk mengatasi kondisi propagasi dalam ruangan. Tidak sama dengan area ruang kosong, sistem dalam gedung mengalami banyak rugi seperti kepadatan material dalam gedung, konstruksi gedung, kepadatan orang dalam gedung, dan terbatasnya celah antar ruangan seperti jendela dan pintu. Beberapa karakteristik sel dalam gedung sebagai berikut:

- a. Area cakupan sel kecil
- b. Sinyalnya terbatas sampai pada sisi gedung
- c. Daya pemancar yang digunakan rendah
- d. Antena dipasang di dalam gedung
- e. Ukuran antena kecil



### 2.4.2. Prinsip Kerja Komunikasi Seluler *Indoor*[19]

Sistem seluler jaringan *Indoor* yaitu suatu sistem dengan perangkat pemancar dan penerima (*transceiver*) yang dipasang di dalam gedung yang bertujuan untuk melayani kebutuhan telekomunikasi dalam gedung tersebut baik kualitas sinyal, cakupan (*coverage*) maupun kapasitas *traffic*-nya. Sebenarnya sistem ini memiliki prinsip yang sama BTS dengan sel standar, dengan perangkat pemancar dan penerima (*transceiver* Basis kapasitas trafik biasanya digunakan untuk:

1. *Public Access area* (mall, *band* ara, stadion hotel, rumah sakit dan lain lain) Merupakan tempat-tempat umum yang sering dikunjungi tiap harinya.
2. *Business/Offices area* (daerah perkantoran, pusat perbisnisan) Dituntut adanya *Indoor cell* yang memungkinkan tingkat telekomunikasi yang tinggi.

Penyaluran sistem komunikasi seluler *Indoor* dapat dibagi dua:

1. Penyaluran sistem antena menggunakan komponen pasif seperti *spliter*, *coupler*, dan kabel.
2. Penyaluran sistem antena menggunakan komponen aktif seperti *amplifier*, *Repeater*.

Keuntungan dari komunikasi seluler *Indoor* antara lain:

1. Meningkatkan *coverage* area dan meningkatkan layanan ke pelanggan.
2. Menyediakan konektivitas *wireless* ke pelanggan.
3. Meningkatkan kualitas suara Merupakan solusi alternatif lain dari jaringan *fixed* telekomunikasi.

### 2.4.3. Model Propagasi Dalam Bangunan

Model propagasi di dalam bangunan mendeskripsikan bahwa pemancar dan penerima berada pada bangunan yang sama. Sama halnya dengan model propagasi di luar bangunan, model propagasi di dalam bangunan juga banyak tersedia. Namun pada penelitian ini hanya membahas model propagasi empiris dengan pertimbangan bahwa model ini lebih cocok digunakan di dalam bangunan dari pada model deterministik. Kecocokan itu terlihat pada model empiris tidak memerlukan data yang erperinci mengenai keadaan di dalam bangunan yang dapat berupa perabot, kepadatan manusia dan lain sebagainya dimana kesemuanya itu merupakan data yang selalu berubah dan belum tentu sama dengan bangunan lain yang masih berada dalam satu cakupan pemancar yang sama. Hal ini disebabkan karena pada

model empiris rugi-rugi transmisi yang diakibatkan oleh penghalang-penghalang tersebut telah diwakili secara implisit oleh variabel tertentu di dalam formula model propagasi tersebut [20][12].

**A. Model Propagasi COST231 Multi Wall**

Model COST231 MW merupakan pengembangan dari model KeenanMotley. Perbedaan yang mencolok pada kedua jenis model ini terletak pada penjelasan formula rugi-rugi lintasan akibat penyerapan daya sinyal yang menembus beberapa lantai yang berada diantara pemancar dan penerima. Model *Keenan-Motley* menyatakan bahwa besarnya daya sinyal yang hilang akibat melalui beberapa lantai dapat digambarkan sebagai fungsi linear terhadap kenaikan jumlah lantai yang ditembus oleh sinyal. Sedangkan pada model *COST231 MW* besarnya daya yang hilang tersebut tidak dapat digambarkan sebagai fungsi linear melainkan sebagai fungsi eksponensial yang dipengaruhi oleh faktor empiris  $b_{mw}$  [20]. Telah diteliti bahwa total rugi-rugi gelombang radio akibat menembus beberapa lantai bukanlah merupakan fungsi linear terhadap peningkatan jumlah lantai. Melainkan merupakan fungsi eksponensial seperti yang diperlihatkan pada Persamaan 2.2 [20].

$$L_{MW} = L_{FSPLi} + L_C + \sum_{i=1}^I k_{wi} \cdot L_{WI} + k_f^{\left[ \frac{k_f+2}{k_f+1} b_{mw} \right]} L_f \quad [20] \dots (2.2)$$

$$L_{FSPLi} = 32,5 + \log(d_{in}) + 20 \log(f_c) \quad [20] \dots (2.3)$$

Dimana:

- $L_{MW}$  = Rugi-rugi lintasan total (dB)
- $L_{FSPLi}$  = Rugi-rugi ruang bebas di dalam bangunan (dB)
- $L_C$  = Konstanta rugi-rugi = 37 dB
- $k_{wi}$  = Jumlah dinding yang ditembus pada jenis ke-i
- $k_{fi}$  = Jumlah lantai yang ditembus pada jenis ke-i
- $L_{wi}$  = Rugi-rugi dinding yang ditembus pada jenis ke-i (dB)
- $L_{fi}$  = Rugi-rugi lantai yang ditembus pada jenis ke-i (dB)
- $b_{mw}$  = Faktor empiris
- $I$  = Jumlah jenis dinding

Rugi-rugi LC merupakan variabel yang besarnya ditentukan dari hasil pengukuran terhadap rugi-rugi akibat penyerapan oleh dinding yang dilalui sinyal dengan menggunakan metode regresi linear bertingkat. Biasanya besar nilai konstanta tersebut mendekati nol.

**B. Model Propagasi ITU-R**

Perhitungan rugi-rugi lintasan pada model propagasi ITU-R di dalam bangunan mengasumsikan bahwa pemancar dan penerima berada di dalam bangunan yang sama. Rugi-rugi lintasan gelombang radio dari pemancar menuju penerima di dalam bangunan dapat diperkirakan dengan dua model yaitu *site general model* (model dengan informasi keadaan yang umum) dan *site -specific model* (model dengan informasi keadaan yang spesifik). Namun pada penelitian ini hanya menggunakan *site -general model* sehingga teori mengenai *site -general model* lebih ditekankan [18]. Persamaan 2.4 merupakan persamaan prediksi rugi-rugi lintasan untuk model *site -specific* [21].

$$L_{ITU-R} = 20 \log_{10}(f_c) + N \cdot \log_{10}(d_{in}) + L_f(n) - 28 \quad [20] \quad (2.4)$$

Dimana:

N = Koefisien jarak rugi-rugi daya (*Distance Power Loss Coefficient*)

f = Frekuensi (MHz)

d<sub>in</sub> = Jarak pisah diantara pemancar dan penerima dimana pemancar dan penerima berada di dalam bangunan yang sama (dimana d>1m)

L<sub>f</sub> = Faktor rugi-rugi penyerapan oleh lantai (dB)

n = Jumlah lantai diantara pemancar dan penerima (n1)

**C. Keenan Motley Model[22]**

Model propagasi *Keenan Motley* memperhitungkan seluruh dinding yang ada pada sebuah bangunan pada bidang vertikal diantara *transmitter* dan *receiver*, dengan nilai attenuasi yang sama untuk seluruh lantainya. Selain itu jenis dinding dan material lain yang terdapat di suatu bangunan juga dapat diperhitungkan. Persamaan 2.5 merupakan bentuk persamaan dari *Keenan Motley Model*.

$$PL(d)_{dB} = PL_r + 10 \log(d) + \sum_{i=1}^{kw} k_{wi} L_{wi} 2^{\log \frac{ei}{3eoi}} \quad [22] \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

L<sub>r</sub> = *Reflection Loss*

d = menunjukkan jarak

k<sub>wi</sub> = jumlah penghalang/loss

L<sub>wi</sub> = nilai dari *wall type loss*

#### 2.4.4. Redaman Berbagai Penyekat Ruangan

Sebuah bangunan mempunyai jenis penghalang atau penyekat dengan bentuk dan bahan material yang berbeda – beda komponennya. Misalnya, penyekat ruangan pada sebuah rumah ada yang menggunakan penyekat dengan kayu untuk dinding-dinding ruang didalamnya. Sedangkan penyekat ruangan di perkantoran umumnya menggunakan penyekat ruang kantor yang dapat dipindah-pindahkan. Model penyekat dari ruangan tersebut pun bermacam-macam, ada model penyekat ruangan yang tingginya penuh sampai kelangit – langit, dan ada pula yang tingginya hanya setinggi orang. Jenis penyekat yang hanya setinggi orang, biasanya dapat dipindah – pindahkan letaknya. Berdasarkan hal tersebut, para peneliti telah berhasil membuat data redaman untuk penyekat ruangan dengan berbagai bahan material seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 3 Nilai Redaman Terhadap Berbagai Bahan Material[23][24]

Material	Redaman (dB)
<i>Glass</i>	0,8
<i>Wood</i>	2,8
<i>Metal</i>	6
<i>Metal door in brick wall</i>	12,4
<i>Bullet Proof Glass</i>	10
<i>Window</i>	2
<i>Wood Door</i>	4
<i>Steel Fire Door</i>	13

#### 2.4.5. Aspek Perancangan Jaringan *Indoor*

Aspek yang perlu diperhatikan pada saat melakukan perancangan jaringan *Indoor* yaitu terdiri dari :

##### 1. Informasi Tentang Gedung

Setiap gedung memiliki karakteristik yang berbeda-beda, hal tersebut dipengaruhi oleh *desain* gedung. Dari analisa kondisi gedung, maka dapat diperoleh data-data seperti lokasi gedung, luas bangunan, desain eksterior gedung, desain interior gedung, jumlah lantai, dan konstruksi.

##### 2. Menentukan Penempatan Antena

Tujuan utama dari proses perencanaan dan perancangan jaringan *Indoor* yaitu untuk mendapatkan cakupan dengan level penerimaan

sinyal yang baik di dalam gedung. Hal yang sangat penting dari suatu perencanaan *Indoor* adalah menentukan letak antena pada bagian dalam gedung yang ingin dijangkau.

### 3. Menentukan Tipe Antena

Pada penggunaan *Indoor* biasanya digunakan dua tipe antena yaitu:

#### a. Antena *Omnidirectional*

Antena jenis *omni* ini paling banyak digunakan da lam perencanaan *Indoor*. Antena *omni* memiliki propagasi melingkar

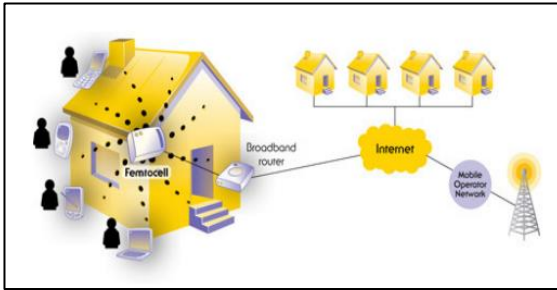
#### b. Antena *Directional*

Antena *directional* memiliki karakteristik sektoral yang memiliki peningkatan *gain* pada satu atau beberapa arah. Tetapi mengalami pengurangan *gain* pada arah yang lain. Antena *directional* pada perencanaan *Indoor* biasanya digunakan pada bangunan yang memiliki lorong – lorong.

## 2.5. Femtocell

*Femtocells* adalah sebuah miniatur BTS yang diinstal pada pelanggan lokal untuk menyediakan layanan seluler dalam rumah atau lingkungan perusahaan. Biasanya *Femtocells* terhubung ke Internet dan jaringan operator seluler melalui DSL *router* atau kabel modem. Akses ke sebuah *Femtocell* dapat terbuka untuk setiap pelanggan, dibatasi ke serangkaian pengguna, atau kombinasi keduanya dengan prioritas untuk pilihan pengguna. *Femtocell* menawarkan keuntungan bagi pelanggan dan operator. Pelanggan mengalami lebih baik cakupan layanan suara dan data *throughput* yang lebih tinggi.

Rencana layanan khusus dapat memberikan tambahan insentif untuk digunakan di rumah (*gratis panggilan dari rumah*). Operator ini mampu memberikanlalu lintas dari jaringan yang baik dari selular makro, sehingga mengurangi biaya infrastruktur. Selain itu, masalah cakupan dalam ruangan dapat diselesaikan tanpa pengeluaran BTS makro mahal. Operator juga memiliki minat dalam memastikan perangkat *mobile* mereka digunakan di rumah Meskipun ketersediaan teknologi (misalnya *Wi-Fi*). Seperti "lengket" dengan fitur dan layanan mereka membantu mengurangi *churn*. Akhirnya, mendukung transisi dari kawat garis layanan untuk penggunaan eksklusif perangkat nirkabel di rumah [25].



Gambar 2. 11 Penyebaran selular dengan *Femtocells*[18]

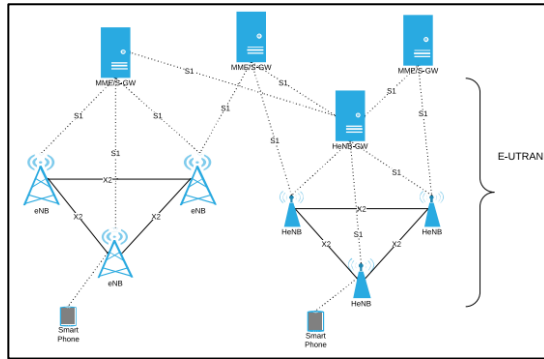
Pemasangan pada *Femtocell* dilakukan secara *auto configuration*, cara tersebut bertujuan bahwa setiap operator tidak akan memantau dalam melakukan pemasangan dan memelihara perangkat di lapangan yang jumlahnya semakin banyak. Maka dari itu pada perangkat *Femtocell* yang telah terpasang akan menjadi tanggung jawab kepada pelanggan dalam pelaksanaan pemeliharaan pada perangkat tersebut. *Femtocell* sendiri sering disebut dengan istilah *Femtocell Access Point* (FAP).

### 2.5.1. Arsitektur Jaringan *Femtocell* LTE

Arsitektur jaringan *Femtocell* telah menggunakan jaringan internet, misal ADSL, kabel, *fiber*, modem yang digunakan untuk menghubungkan subsistem jaringan dengan sistem selular, berbeda dengan perangkat BTS atau *Repeater* yang dihubungkan ke perangkat BSC atau RNC. Tentu saja pada jaringan *Femtocell* di sisi *core network* di bagian penyedia jaringan selular terdapat perangkat *server* manajemen FAP yang akan menangani segala keperluan yang dibutuhkan pada perangkat *Femtocell* [18].

Arsitektur jaringan LTE sistem terdiri dari *macrocells* dengan *eNode Bs* pada penyediaan *user plane* dan *control plane* untuk UEs, *Femtocells* menjadi tambahan baru untuk komponen yang ada. *ENode Bs* saling berhubungan satu sama lain oleh *X2 interface* yang terutama digunakan untuk tujuan penyerahan inter-*eNode B* dan juga terhubung ke mobilitas manajemen entitas MME yang fungsi terkait dengan *handover* dan *Serving Gateway* (S-GW). Mobilitas manajemen entitas MME adalah kunci *node* kontrol untuk akses jaringan LTE yang proses sinyal antara UE dan CN, hal ini juga bertanggung jawab untuk otentikasi pengguna dan untuk generasi dan alokasi sementara identitas ke UEs, MME juga berakhir *S6a interface* terhadap rumah HSS *roaming* UEs, juga menangani mengontrol pesawat sinyal, terutama untuk mobilitas

manajemen. S-GW adalah mobilitas penahan untuk *inter-3GPP* mobilitas dan *route* dan meneruskan paket [26].



Gambar 2. 12 Arsitektur Femtocell LTE[27]

Pada gambar 2.13 memperlihatkan arsitektur EPC dan E-UTRAN pada LTE . EPC merupakan bagian pada *core network* yang secara umum bertugas untuk pengalamanan dan konektivitasnya berbasis IP sedangkan E-UTRAN mengambil bagian disini *radio access network* salah satu bagian dari Arsitektur E-UTRAN adalah *enhanced Node B* (eNB). eNB menyediakan konektivitas dengan *user* melalui *air interface* dan menjadi terminasi *control plane* terhadap UE. Secara logika setiap eNB melayani satu atau beberapa sel E-UTRAN dan satu dengan yang lainnya saling berhubungan dengan *X2 interface* . Penambahan beberapa akses jaringan seperti *picocell*, *Femtocell*, dan *relay* pada *macrocell* dapat mempertahankan *data rate* yang tinggi dan menambah performa karena sistem tersebut dapat memberikan daya terima yang baik bagi *user* agar pelanggan dapat menerima *QoS* yang baik.

Dalam hal ini secara logika jaringan HeNB tidak terlepas dari Arsitektur LTE karena seluruh HeNB terkoneksi pada *gateway* yang terhubung pada EPC. Kendati penggunaan *Femtocell* merupakan langkah efektif untuk meningkatkan kapasitas dan cakupan area layanan, keberadaan *Femtocell* dengan konsep CSG terdapat kelemahan. *Femtocell* dianggap sebagai sumber interferensi bagi UE yang tidak mempunyai hak akses HeNB. *Macro UE* yang berada dalam cakupan *Femtocell* dan menerima daya terima *Femtocell* lebih besar dari daya *macrocell* akan dipaksa bergabung kepada *macrocell*, keadaan seperti ini tidak baik

karena kualitas sinyal terima macro UE menjadi tidak baik sehingga akan mengalami outage.

#### **A. Home Node B**

*LTE Home Node B (Hnode B/HNB)* adalah perangkat yang dipasang untuk pengguna lokal, melayani sebagai sebuah *Femtocell*. HNB mampu beroperasi dengan cukup banyak UE dan menawarkan layanan yang sama seolah-olah mereka beroperasi di bawah *Base Station* biasa. Perangkat biaya rendah dan relatif kecil dalam ukuran dan dapat dipasang untuk pengguna rumah atau kantor ke lokasi ia memilih. Operator memiliki kontrol tidak tepat lokasi. HNB adalah powered from pengguna listrik jaringan menggunakan kemungkinan *adaptive* daya eksternal

#### **B. Home Node B Gateway**

*Home Node B Gateway (HNB-Gw)* adalah perangkat yang digunakan untuk menghubungkan HNBs ke jaringan LTE. Hal ini diperlukan karena telah setuju untuk tidak menggunakan standar antarmuka Iu-b untuk koneksi ke HNB. HNB-GW berkonsentrasi koneksi dari sejumlah besar *Femtocells*. Antarmuka Iu-h baru digunakan antara HNB dan HNB-GW. HNB GW terhubung CN menggunakan antarmuka Iu standar dan jaringan melihatnya sebagai RNC standar. HNB-GW dapat berada di mana saja di tempat operator.

### **2.5.2. Layanan Femtocell**

Layanan yang dapat diberikan perangkat FAP pada dasarnya adalah layanan paket data, karena itu koneksi jaringan ini langsung terhubung ke internet. Meskipun demikian layanan suara tetap juga dapat dinikmati yaitu melalui *voice over packet*. Aplikasi-aplikasi seperti *security, instant messaging, virtual fridge note* melalui *faceback*, monitoring dan lain-lain dapat dikembangkan dan diintegrasikan dengan FAP [18].

### **2.5.3. Spesifikasi Femtocell Access Point (FAP)[28]**

*Femtocell Access Point (FAP)* adalah *node* utama dalam suatu jaringan *Femtocell* yang berada disisi pengguna (misalnya dirumah, dikampus, dikantor dan gedung lainnya). FAP mengimplementasikan fungsi dari *Base Station (BS)* dan terhubung ke jaringan operator melalui jaringan backhaul yang aman melalui internet.



Cara penggunaan perangkat FAP yaitu dihubungkan ke jaringan internet yang menggunakan *link* jaringan akses data dan terhubung ke jaringan dari provider yang bersangkutan, maka akan langsung dapat berkomunikasi dengan beragam perangkat yaitu telepon selular, laptop atau komputer. Standar yang digunakan untuk jaringan *Femtocell* sendiri yaitu standar protokol nirkabel yang berfungsi untuk komunikasi dengan perangkat bergerak, pada standar tersebut yang dimaksudkan di antaranya yaitu GSM, W-CDMA, LTE, *Mobile WIMAX*, CDMA, dan standar lain yang terdapat pada teknologi selular [26].

Pada skripsi ini menggunakan *Femtocell Access Point* (FAP) tipe *Universal Small Cell* (USC) 8718 karena FAP USC 8718 menyediakan akses yang tepat disetiap lingkungan perkantoran, perusahaan, kampus maupun pertokoan serta mampu untuk menyediakan *band width* dan frekuensi yang flexibel yang digunakan pada LTE.



Gambar 2. 13 Cisco USC 8718[28]

Kelebihan dari *Universal Small Cell* (USC) 8718 ini ialah dapat memberikan layanan *mobile* dalam ruangan secara efisien ketika lalu lintas dari jaringan makro mengalami *offloading* atau tidak dapat mencakup *mobile station* yang berada di dalam ruangan. Gambar 2.17 merupakan tampilan FAP USC 8718 dan spesifikasi dari FAP USC 8718 terdapat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 4 Spesifikasi dari USC 8718

<i>Item</i>	<i>Spesification</i>
<i>Performance</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paeak rates :100 Mbps DL and 50 Mbps UL(with 20 MHz)</li> <li>2. 128 RRC-Connected users</li> </ol>
<i>Channel band width</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 5 MHz</li> <li>2. 10 MHz</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. 15 MHz</li> <li>4. 20 MHz</li> </ol>
<i>Radio and antenna</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2x50mW</li> <li>2. Two internal antennas</li> </ol>
<i>Mobility</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inter Cisco USC 8000 series small cell handover anchored at USC 8088 Controller</li> <li>2. Handover to/from macro (interfrequency and ininterfrequency)</li> <li>3. Inter-RAT handover to UMTS</li> </ol>
<i>RF management</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. LTE and UMTS network monitor</li> <li>2. Inter and ininterfrequency neighbor-cell detection</li> <li>3. Auto detection of Physical Cell Identity (PCI)</li> <li>4. Automatic Neighbour Relation (ANR) management</li> </ol>
<i>Voice Service</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Voice over LTE (VoLTE)</li> <li>2. Circuit switched fall back</li> </ol>
<i>Quality of Service (Qos) features</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Support for LTE QCI</li> <li>2. Multiple data radio bearers per UE</li> <li>3. Guaranteed bit rate (GBR)</li> <li>4. Maximum bit rate (MBR)</li> <li>5. Aggregate maximum bit rate (AMBR)</li> </ol>
<i>3GPP Release</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Release 8 with support for some higher release 9 function</li> </ol>
<b><i>Ciphering</i></b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. SNOW 3G and Advanced Encryption Standard (AES) air-interface encryption</li> </ol>

## 2.4. Perhitungan *Link Budget*[29]

### 2.4.1. Menentukan Jumlah *Access Point*

Proses menentukan jumlah *access point* yang diperlukan dalam perancangan jaringan *Indoor* ini dibagi dan dikategorikan menjadi dua macam, yakni analisis berdasarkan kapasitas dan analisis berdasarkan cakupan wilayah (*coverage*).

#### a. Analisis Berdasarkan Kapasitas

Tujuan dari analisis kapasitas ini yaitu untuk menentukan jumlah *user* yang dapat dicakup dalam satu *cell*.

- Menghitung nilai throughput persession menggunakan persamaan 2.6

$$\text{Throughput} = \text{Bearer rate} \times \text{Session time} \times \text{Sessionduty ratio} \times [1/(1-\text{BLER})] \quad [30] \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

*Bearer rate* = Application layer bit rate

*Session time* = Duration per service

*Session duty ratio* = Data transmission ratio per session

*BLER* = Tolerated Block Error Rate

- Menghitung *single user throughput* menggunakan persamaan 2.7  
**Single User Throughput =**

$$\frac{\sum \left( \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \right) \times \text{BHSA} \times \text{Penetration Ratio} \times (1 + \text{PAR})}{3600} \quad [30] \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

*BHSA* = Busy Hour Service Attempt

*Penetration Rate* = Pelayanan yang baik untuk customer

*PAR* = Peak to Average Ratio = 35%

- Menghitung nilai *network throughput uplink* dan *downlink* menggunakan persamaan 2.8 dan 2.9.

$$\text{Uplink Network Throughput (IP)} = \text{Total User Number} \times \text{UL Single Throughput} \quad [30] \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\text{Downlink Network Throughput (IP)} = \text{Total User Number} \times \text{DL Single User Throughput} \quad [30] \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

*UL Single User Throughput* = Total uplink throughput single user pada area layanan

*DL Single User Throughput* = Total downlink throughput single user pada area layanan

*Total user number* = Jumlah pengguna di masa depan

- Menghitung *cell capacity uplink* dan *downlink* menggunakan persamaan 2.10 dan 2.11.

$$DL \text{ Cell Capacity} + CRC = (168-36-12) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code rate}) \times Nrb \times C \times 1000 \quad [30] \dots \dots \dots (2.10)$$

$$UL \text{ Cell Capacity} + CRC = (168-24) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code rate}) \times Nrb \times C \times 1000 \quad [30] \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

- CRC = 24
- Code bits = Efisiensi modulasi
- Code Rate = Channel Coding Rate
- Nrb = Jumlah RB
- C = Model antena MIMO

- Menghitung total *Femtocell Access Point* (FAP) menggunakan persamaan 2.12 dan 2.13.

$$\text{Jumlah FAP} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Site Capacity}} \quad [30] \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{Jumlah User Tiap Sel} = \frac{\text{Jumlah User}}{\text{jumlah User tiap sel}} \quad [30] \dots \dots \dots (2.13)$$

**b. Analisis Berdasarkan Coverage**

Menentukan jumlah *Femtocell Access Point* (FAP) berdasarkan *coverage* terlebih dahulu menghitung radius sel dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$L_p = FSL = 32,45 + 20 \log f + 20 \log d \quad [29] \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana: F = frekuensi operasi (MHz) d = jarak antara pengirim dan penerima (km) Kemudian menghitung radius dengan menggunakan persamaan :

$$L_{TMultiwallModel} = L_{FSPLi} + L_C + \sum_{i=1}^I k_{wi} \cdot L_{wi} + k_f \left[ \frac{k_f + 2}{k_f + 1} b_{mw} \right] L_f \quad [29] \dots (2.15)$$

Keterangan :

- L<sub>MW</sub> = Rugi-rugi lintasan total (dB)
- L<sub>FSPLi</sub> = Rugi-rugi ruang bebas di dalam bangunan (dB)
- L<sub>C</sub> = Konstanta rugi-rugi = 37 dB

- $k_{wi}$  = Jumlah dinding yang ditembus pada jenis ke-i
- $k_{fi}$  = Jumlah lantai yang ditembus pada jenis ke-i
- $L_{wi}$  = Rugi-rugi dinding yang ditembus pada jenis ke-i (dB)
- $L_{fi}$  = Rugi-rugi lantai yang ditembus pada jenis ke-i (dB)
- $b_{mw}$  = Faktor empiris
- $I$  = Jumlah jenis dinding

Dimana

*Indoor loss* :

$$\sum_{i=1}^M nwi. Lwi + nf^{\left[\frac{nf+2}{nf+1}-b\right]} Lf[29].....(2.16)$$

Untuk menentukan luas area yang akan dicakup *femtocell* yaitu dengan menghitung pada persamaan 2.17

$$L = 2,6. d^2.....(2.17)$$

Tahap terakhir perhitungan yaitu menghitung jumlah *femtocell* yang dibutuhkan dalam perencanaan *coverage* area dengan menggunakan persamaan 2.18.

$$\text{Jumlah FAP} = \frac{\text{Luas area yang direncanakan}}{\text{Luas cakupan sel}}.....(2.18)$$

#### 2.4.2. Menentukan *Link Budget*

Perhitungan link budget dilakukan untuk menjaga keseimbangan gain dan loss agar mencapai SNR yang diinginkan disisi penerima. Parameter – parameter dalam

perhitungan linkbudget yaitu:

**a. Propagasi *Free Space Loss***

Redaman ruang bebas atau *free space loss* yakni penurunan daya gelombang radio selama merambat di ruang bebas. Besarnya redaman ruang bebas yaitu:

$$Lp = FSL=32,45+20\log f+20 \log d [29] .....(2.19)$$

**b. Perhitungan *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)***

EIRP adalah besaran yang menyatakan kekuatan daya pancar suatu antena, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$EIRP = Ptx + Gtx - Ltx [29].....(2.20)$$

**c. Perhitungan *Receive Signal Level (RSL)***

RSL ialah level sinyal yang diterima disisi penerima dan nilainya harus lebih besar dari sensitivitas perangkat redaman. Nilai RSL dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{RSL} = \text{EIRP} - \text{Lpropagasi} + \text{Grx} - \text{Lrx} [29] \dots \dots \dots (2.21)$$

d. *Thermal Noise*

Untuk dapat menghitung sinyal minimum yang dapat dideteksi, perlu di hitung terlebih dahulu *noise* lantai pada receiver dengan persamaan berikut:

$$\text{Noise Floor} = 10\text{Log} ( K \times T_0 \times 1000 ) + \text{NF} + 10\text{Log} \text{ BW}$$

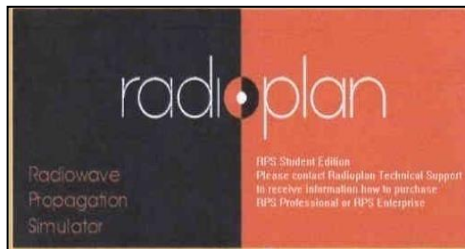
Yaitu:

$$10 \times \text{Log}10 ( 1.38 \times 10^{-20} \times 290 \times 20 \times 10^6 ) \dots \dots \dots [29] (2.22)$$

**2.5. RADIOWAVE PROPAGATION SIMULATOR[18]**

*Radiowave Propagation Simulator* (RPS) merupakan sebuah perangkat lunak buatan dari organisasi *development software* dengank arakteristik:

- a) *State-of-the-art graphical interface* (GUI) dengan analisis yang ekstensif dan fungsi presentasi.
- b) Sangat cepat dan akurat RPS adalah program aplikasi *desktop* yang berfungsi untuk analisis propagasi gelombang radio atau prediksi *coverage* BTS telekomunikasi untuk menampilkan bentuk 3D *ray tracing* algoritma propagasi empiris
- c) *Load balancing* yang tinggi dan menggunakan modus *hybrid* untuk memprediksi kinerja simulasi belum pernah ada sebelumnya.
- d) Arsitektur sistem terbuka untuk berbagai data impor atau ekspor untuk konfigurasi jaringan, lingkungan, dan data kinerja jaringan, propagasi berdasarkan algoritma dari *user*, *COM interface* untuk kontrol aplikasi *remote* dan integrasi sistem perencanaan.



Gambar 2. 14 Tampilan Radiowave Propagation Simulator[18]