

## BAB II DASAR TEORI

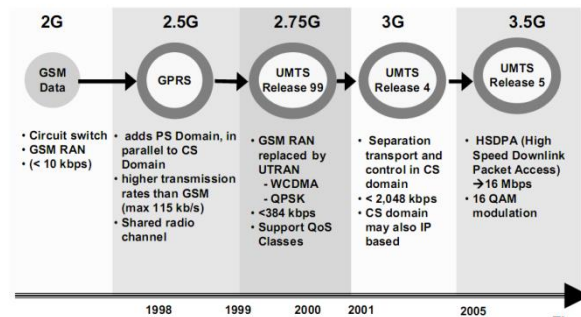
### 2.1 SISTEM KOMUNIKASI SELULAR

Sistem komunikasi selular merupakan suatu sistem telekomunikasi tanpa kabel (*wireless*) yang mampu memberikan mobilitas yang baik pada *user*. Daerah layanan yang dibagi-bagi menjadi daerah kecil-kecil yang disebut dengan sel, maka sistem ini kemudian disebut dengan selular. Sistem komunikasi selular disebut juga sebagai sistem komunikasi bergerak karena sistem ini digunakan untuk memberikan layanan bagi pelanggan yang bergerak. Pelanggan dapat bergerak bebas di dalam area layanan tanpa terjadi pemutusan hubungan.<sup>[2]</sup>

Perkembangan teknologi telekomunikasi *wireless* semakin berkembang dengan cepat . Gambar 2.1 merupakan proses evolusi teknologi *wireless*.<sup>[11]</sup>

1. 1G (Generasi Pertama) merupakan teknologi yang pertama kali diperkenalkan tahun era-80an dan masih menggunakan sistem analog. Pada generasi pertama hanya bisa melayani komunikasi suara saja dan tidak dapat melayani komunikasi data. Pada generasi pertama ini menggunakan teknik komunikasi *Frequency Division Multiple Access* (FDMA).

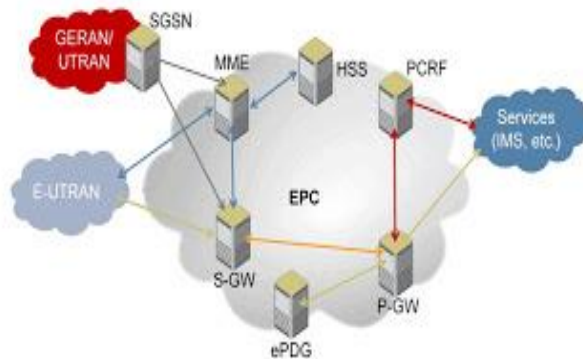
2. 2G (Generasi Kedua) muncul karena kebutuhan akan kualitas yang semakin baik. Pada generasi kedua menggunakan teknologi *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan *Code Division Multiple Access* (CDMA). Pada generasi kedua tidak hanya melayani komunikasi suara melainkan dapat mengirim pesan pendek yang disebut *Short Message Service* (SMS).
3. 2,5G merupakan peningkatan dari teknologi 2G terutama dalam platform besar GSM yang telah mengalami penyempurnaan khususnya untuk aplikasi data.
4. 3G (Generasi ketiga) merupakan kelanjutan dari standart teknologi telekomunikasi yang sebelumnya. 3G merupakan nama yang diberikan untuk sebuah generasi yang menggunakan teknologi WCDMA. Standart 3G yang ditemukan pertama kali adalah *Universal Mobile Telecommunication Union* (UMTS).



Gambar 2.1 Perkembangan Komunikasi Selular

## 2.2 LTE (*Long Term Evolution*)<sup>[3]</sup>

LTE (*Long Term Evolution*) merupakan perkembangan dari teknologi generasi ketiga (3G) WCDMA-UMTS keluaran dari *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). LTE diperkenalkan dalam satu rangkaian dengan *System Architecture Evolution* (SAE) atau dikenal dengan nama lain *Evolved Packet Core* (EPC) sebagai inti jaringan generasi keempat berdasarkan standart 3GPP. Selain itu, LTE dikenal juga sebagai *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-ULTRAN).



Gambar 2.2 Arsitektur LTE<sup>[1]</sup>

Seperti pada gambar 2.2 LTE mengadopsi teknologi *Evolved Packet System* (EPS) dimana di dalamnya terdapat tiga komponen penting antara lain:

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

UE merupakan perangkat yang terletak paling dekat dengan *user*. UE pada LTE tidak berbeda dengan UE yang digunakan untuk UMTS atau teknologi sebelumnya. Terdapat dua penyusun pada bagian UE yaitu *Mobile Equipment (ME)* dan *Universal Integrated Circuit Card (UICC)*.

### 2. *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-ULTRAN)*

E-ULTRAN merupakan bagian dari arsitektur LTE yang berfungsi untuk menangani sisi radio akses dari UE menuju ke jaringan *core*. Berbeda dengan teknologi sebelumnya pemisahan yakni *NodeB* dengan RNC menjadi satu elemen sendiri, pada sistem LTE E-ULTRAN hanya terdapat satu komponen yaitu *Evolved Node B (eNodeB)* yang menggabungkan antara keduanya. Pada teknologi sebelumnya apabila ULTRAN *NodeB* ingin berkomunikasi dengan *NodeB* lainnya harus melewati RNC terlebih dahulu yang menimbulkan efek tidak efisien. Namun, pada teknologi LTE hal tersebut dapat diminimalisir karena *eNodeB* dapat langsung berkomunikasi dengan *eNodeB* lainnya tanpa melalui RNC. *eNodeB* mempunyai dua tugas utama yaitu sebagai radio *transmitter* dan *receiver* serta mengontrol *low-level*

operasi semua *mobile user* dengan cara mengirim suatu sinyal tertentu berupa pesan seperti pada proses *handover*.

Prinsip *handover* pada E-ULTRAN antara lain :

- a. Proses *handover* sepenuhnya dikendalikan oleh jaringan, maka E-ULTRAN yang memastikan kapan dan siapa target *call handover*nya.
- b. *Handover* berbasis pada UE *measurement*, maka UE *measurement* dan *measurement report* dihasilkan berdasarkan nilai parameter khusus yang diberikan oleh E-ULTRAN.
- c. *Handover* pada E-ULTRAN bertujuan untuk mengurangi *packet loss* yang dikirimkan dengan meneruskan paket dari *eNodeB* lama ke *eNodeB* baru.
- d. EPC melalui *interface* S1 akan mengupdate ketika proses *handover* telah selesai.

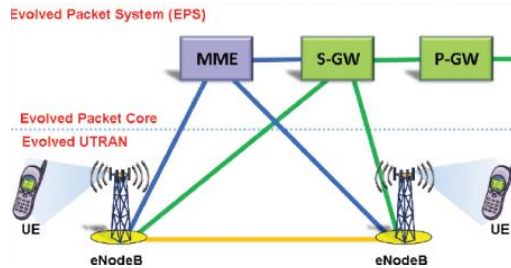
### 3. Evolved Packet Core (EPC)

EPC merupakan sebuah sistem yang baru dalam evolusi arsitektur komunikasi selular dimana pada bagian *core network* menggunakan *all-IP* yang berbasis paket *realtime* dan layanan *non realtime* yang dibentuk oleh 3GPP *release* 8. Generasi ponsel sebelumnya 2G atau 3G, EPC menyediakan fungsi *core mobile* yang dibagi menjadi dua bagian yang terpisah yaitu *Circuit Switch* (CS) untuk *voice* dan *Packet Switch* (PS) untuk data.

Sedangkan untuk LTE kedua *sub domain* (CS dan PS) dalam pengolahan antara *mobile voice* dan data akan bersatu menjadi bentuk IP tunggal. LTE akan menjadi sistem *end-to-end* nya menggunakan IP yang disebut *Evolved NodeB*.

Dengan adanya EPC yang mempunyai performansi yang tinggi dan kapasitas yang besar pada *all-IP* di *core network* membuat LTE dapat memberikan layanan *realtime* yang lebih baik dan layanan media yang dapat meningkatkan *Quality of Experience* (QoE). EPC dengan arsitektur jaringan *all-IP* dalam *mobile network* akan berimplikasi pada:

- a. Layanan *mobile*, karena semua komunikasi baik suara, data, dan media akan menjadi satu pada protokol IP.
- b. *Interworking* arsitektur baru.
- c. Skalabilitas yang besar untuk mengatasi peningkatan jumlah besar untuk koneksi langsung ke pengguna, pelipatan penggunaan *bandwidth*, serta mobilitas terminal yang bergerak dinamis.

Gambar 2.3 Bagian Pada EPC<sup>[1]</sup>

Pada gambar 2.3 merupakan bagian – bagian utama yang terdapat pada EPC. Penjelasan bagian – bagian tersebut antara lain :

a. *Mobility Management Entity (MME)*

MME merupakan elemen kontrol utama yang terdapat pada EPC dan biasanya layanan MME pada lokasi keamanan operator. Pengoperasian MME terdapat pada *control plane* dan tidak meliputi data *user plane*. Koneksi *control plane* MME dilakukan secara langsung pada UE dan koneksi tersebut menggunakan *primary control channel* antara UE dan jaringan. MME mempunyai fungsi – fungsi yaitu *authentication and security*, *mobility management* (menjaga jalur lokasi semua user yang berada pada *service area*), dan *managing subscription profile and service connectify* (bertanggung jawab untuk

mendapatkan kembali profil pelanggan dari *home network*).

b. *Serving Gateway (S-GW)*

S-GW berfungsi sebagai jembatan antara *management* dan *switching user plane* dan merupakan bagian dari infrastruktur jaringan sebagai pusat operasional dan *maintenance*. MME memerintahkan S-GW untuk membangun hubungan dari suatu *eNodeB* ke *eNodeB* yang lainnya selama terjadi perpindahan *eNodeB*. Selain itu MME juga memerintahkan S-GW untuk menyediakan *tunneling resources* untuk data *forwarding* ketika dibutuhkan *forward* data dari *eNodeB* sumber ke *eNodeB* tujuan selama UE melakukan proses *handover*.

c. *Packet Data Network Gateway (P-GW)*

P-GW merupakan komponen pada LTE yang berfungsi untuk melakukan terminasi dengan *Packet Data Network (PDN)*. P-GW mempunyai level tertinggi pada sistem dan biasanya bertindak sebagai pelengkap IP *point* pada UE. P-GW mengalokasikan IP *address* ke UE untuk melakukan komunikasi dengan IP host lain pada *external* jaringan seperti internet. P-GW berfungsi sebagai monitoring data *flow* untuk tujuan *accounting*. P-GW merupakan level



*mobility* paling tinggi pada sistem. Ketika UE bergerak dari satu S-GW ke yang lain, maka *bearer* akan *switch* pada P-GW. P-GW akan menerima informasi untuk men-*switch* aliran tersebut dari S-GW baru

d. *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*

PCRF merupakan bagian dari arsitektur jaringan yang mengumpulkan informasi dari dan ke jaringan, sistem pendukung operasional, dan sumber lainnya secara *real time* yang mendukung pembentukan aturan dan secara otomatis akan membuat keputusan kebijakan untuk setiap pelanggan aktif di jaringan. PCRF dapat menyediakan jaringan *wireline* maupun *wireless* selain itu, dapat mengaktifkan pendekatan multidimensi yang membantu dalam menciptakan platform inovatif untuk operator.

e. *Home Subscription Service (HSS)*

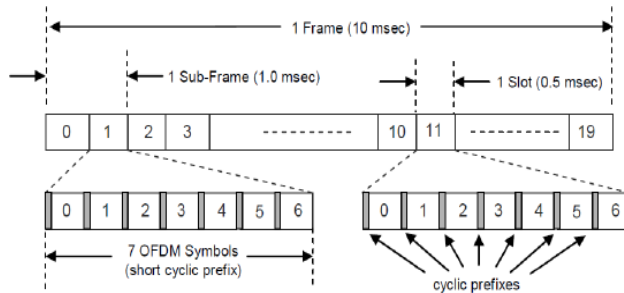
HSS merupakan tempat penyimpanan data pelanggan secara permanen. HSS juga menyimpan lokasi *user* pada level yang dikunjungi oleh *node* pengontrol jaringan (MEE). HSS menyimpan *copy* master profil pelanggan yang berisi informasi tentang layanan yang layak untuk *user*, termasuk informasi koneksi PDN apakah *roaming* ke jaringan tertentu atau tidak. Kunci permanen yang digunakan untuk

menghitung pada arah *authentication* yang dikirim ke jaringan yang dituju untuk *authentication user* dan memperoleh serangkaian kunci untuk enkripsi dan perlindungan secara integritas yang disimpan pada *Authentication Center* (AuC).

### 2.2.1 Teknologi Transmisi LTE<sup>[6]</sup>

Teknologi transmisi LTE menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) untuk *downlink*, sedangkan untuk *uplink* menggunakan teknologi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA). Sementara untuk antena LTE menggunakan *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) yang memungkinkan antena untuk melewati data berukuran besar setelah sebelumnya dipecah dan dikirim secara terpisah. LTE memberikan pemakaian *bandwidth per channel* dalam rentang 1,4 – 2 MHz dengan efisiensi spektrum lebih dari 8 bit/Hz. Band frekuensi yang bisa diimplementasikan pada LTE antara lain 2100 MHz, 1900 MHz, 1700 MHz, 2600 MHz, 900 MHz, 800 MHz, dan 450 MHz. *Channel bandwidth* yang bisa digunakan antara lain 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz. Transmisi LTE dibagi

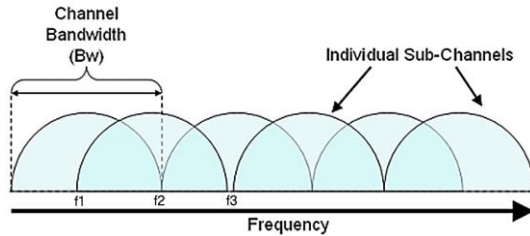
dalam *frame* dimana satu durasinya 10 ms. Satu *frame* tersebut terdiri dari 20 slot dengan durasi 0,5 ms.



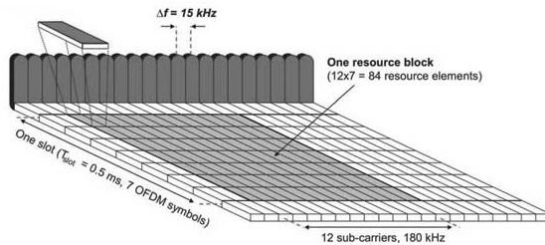
Gambar 2.4 : LTE Frame Structure <sup>[6]</sup>

### 2.2.2 Prinsip Dasar *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*<sup>[3]</sup>

OFDM adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa frekuensi yang saling tegak lurus. Simbol OFDM dikelompokkan menjadi *resource block*. Satu *Resource Block* besarnya 180 KHz dalam domain frekuensi dan 0,5 ms dalam domain waktu. Pada satu *Resource Block* terdapat 12 *subcarrier* dan setiap *subcarrier* terdapat 7 symbol. *Resource Block* mempunyai hubungan dengan *bandwidth* yang dipakai. Jumlah *Resource Block* mempengaruhi besarnya *bandwidth* yang digunakan. Perbandingan jumlah *resource block* dengan *bandwidth* dapat dilihat dalam Tabel 2.1.



Gambar 2.5 OFDM<sup>[9]</sup>



Gambar 2.6 Resource Block<sup>[9]</sup>

Tabel 2.1 Hubungan Resource Block dengan Bandwidth<sup>[9]</sup>

Total Bandwidth	Resource Block	Occupied Bandwidth	Bandwidth Efficiency
1,4 MHz	6	1,08 MHz	77,10%
3 MHz	15	2,7 MHz	90%
5 MHz	25	4,5 MHz	90%
10 MHz	50	9 MHz	90%
15 MHz	75	13,5 MHz	90%
20 MHz	100	18 MHz	90%

Prinsip OFDM adalah membagi *bandwidth* menjadi beberapa *subcarrier* yang dibuat saling tegak lurus

(*orthogonal*) dengan spasi frekuensi yang tepat sehingga dapat dilakukan *spectral overlap* antar *subcarrier* yang berdekatan tanpa menimbulkan efek *Inter Symbol Interference* (ISI) dan *Inter Carrier Interference* (ICI) yang akan menimbulkan penghematan *bandwidth*. Pada OFDM terdapat *Cyclic Prefix* (CP) yang merupakan pengulangan bagian akhir dari simbol OFDM, kemudian ditambahkan kebagian depan dari simbol. Adanya *Cyclic Prefix* dapat ISI dan ICI dengan syarat durasi CP lebih besar dari *delay spread*.

### 2.2.3 *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*<sup>[3]</sup>

OFDMA adalah sebuah teknik *multiple access* yang merupakan kombinasi dari OFDM dan CDMA. Prinsip OFDMA adalah membagi sumber pada OFDM agar dapat digunakan oleh banyak *user*. Struktur *sub-carrier* OFDMA dibagi menjadi tiga jenis yaitu data *sub-carrier*, *pilot sub-carrier*, dan *null sub-carrier*. OFDMA mempunyai beberapa keuntungan diantaranya yaitu:

- a. Dapat melawan efek yang ditimbulkan dengan adanya *multipath*.
- b. Mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi karena antar frekuensi saling *orthogonal*

- c. Tahan terhadap *frequency selective fading*.
- d. Mampu mendukung aplikasi multimedia karena mempunyai *data rate* yang tinggi.
- e. Adanya kesesuaian dengan MIMO.
- f. Dapat menghilangkan ISI dengan penggunaan *guard time* yang lebih panjang dari nilai *delay spread*.
- g. Dapat menghilangkan ICI dengan penambahan *cyclic prefix* tiap simbol OFDM.

Selain kelebihan yang dimiliki, OFDMA juga mempunyai beberapa kekurangan diantaranya yaitu :

- a. Lebih sensitif terhadap kesalahan sinkronisasi waktu dan frekuensi pada saat terjadi frekuensi *offset* akibat adanya *Peak to Average Power Ratio* (PAPR).
- b. Sulit diimplementasikan pada *Digital to Analog Converter* (DAC) atau *Analog to Digital Converter* (ADC).

#### 2.2.4 *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*<sup>[3]</sup>

Pada LTE teknologi SC-FDMA digunakan di sisi *uplink* karena teknologi ini mempunyai nilai PAPR yang lebih kecil dibandingkan dengan OFDM. *Peak Average Power Ratio* (PAPR) merupakan tingkat perbandingan daya rata-rata dengan daya puncak.

Untuk mengatasi PAPR dilakukan dengan pengaturan titik kompresi tinggi pada *power amplifier*. Cara tersebut dilakukan dengan mengatur *power* sedemikian rupa pada beberapa titik yang menjadi nilai *power* tertinggi. Hal tersebut tidak terlalu bermasalah untuk komunikasi *downlink* karena alokasi yang digunakan tidak terbatas (*disupply* oleh tegangan listrik). Sedangkan untuk *uplink* yang *disupply* daya hanya melalui baterai dengan kapasitas baterai yang terbatas oleh waktu sehingga sangat bermasalah untuk mengirimkan informasi. Untuk mengatasi hal tersebut *uplink* pada LTE menggunakan teknologi SC-FDMA.

SC-FDMA merupakan teknik *multiple akses single carrier* seperti pada OFDM, namun ditambah dengan operasi DFT yaitu perubahan simbol data berupa domain waktu ditransformasikan ke domain frekuensi. Dalam SC-FDMA terjadi ISI karena modulasi yang digunakan modulasi *single carrier*, sehingga untuk mengatasinya membutuhkan *equalization*.

Pada prinsipnya SC-FDMA memiliki kesamaan dengan OFDMA, namun pada kenyataannya berbeda. Bila pada OFDMA symbol yang ditransmisikan dengan durasi waktu yang lama dan mempunyai lebar

pita yang sempit, maka pada SC-FDMA symbol yang ditransmisikan dengan durasi waktu yang cepat (bit rate tinggi) dan dengan lebar pita yang lebar.

### 2.3 KONSEP JARINGAN *INDOOR*

Jaringan *indoor* merupakan suatu sistem jaringan yang diterapkan di dalam gedung seperti sekolah, rumah sakit, pertokoan, dll. Jaringan *indoor* yang diterapkan di dalam ruangan digunakan untuk mendukung sistem luar gedung dalam memenuhi layanan selular. Sel merupakan bagian dari komunikasi selular yang paling dasar dalam sistem komunikasi bergerak yang menunjukkan daerah cakupan sinyal.<sup>[4]</sup> Terdapat tiga macam struktur sel seperti pada gambar 2.4 antara lain :<sup>[5]</sup>

#### 1. *Macro Cell*

*Macro cell* merupakan sel yang digunakan untuk daerah dengan kapasitas trafik rendah. Cakupan wilayah pada sel ini mencapai 30 km. Sel makro mempunyai *power* transmisi yang paling tinggi dengan cakupan wilayah yang paling luas.

#### 2. *Micro Cell*

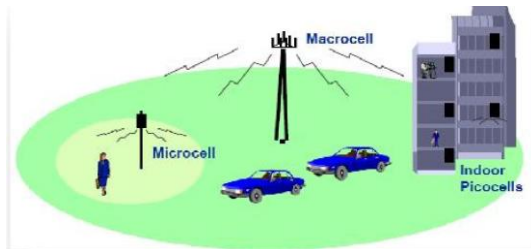
*Micro cell* merupakan sel yang digunakan untuk daerah dengan kapasitas trafik yang sedang dengan intensitas



trafik yang cukup tinggi. Cakupan wilayah pada sel ini mencapai 1 km.

### 3. *Pico Cell*

*Pico cell* merupakan sel yang digunakan untuk daerah dengan kapasitas trafik sinergi dari segi luasan dan biasanya digunakan untuk jaringan *indoor* yang berada di dalam gedung dengan cakupan wilayah mencapai 100 m.



Gambar 2.7 Struktur Sel <sup>[5]</sup>

Perencanaan sel di dalam gedung meliputi cakupan wilayah dan analisa interferensi, perhitungan trafik, perencanaan frekuensi, dan parameter sel. Sel dalam gedung mempunyai karakteristik dengan area cakupan sel kecil, sinyalnya terbatas sampai pada sisi gedung, dengan daya pancar yang digunakan rendah, dan antena dengan ukuran yang kecil.<sup>[1]</sup>

Sistem perencanaan di dalam gedung berbeda dengan sistem di luar gedung, karena model perancangan sistem radio dan distribusi antena harus

disesuaikan dengan karakteristik dari masing-masing gedung. Kondisi propagasi di dalam ruangan tidak sama dengan kondisi diluar ruangan karena di dalam ruangan harus memperhitungkan redaman seperti kepadatan material, konstruksi gedung, banyaknya *user* yang ada dalam gedung, dan celah atau penyekat antar ruangan seperti pintu dan jendela.

#### 2.4 **INDOOR BUILDING SOLUTION (IBS)**<sup>[5]</sup>

Lemahnya sinyal yang berada di dalam ruangan/gedung disebabkan karena adanya bangunan bertingkat dan ruangan yang disekat. Terdapat beberapa faktor yang mengakibatkan lemahnya jaringan yaitu redaman bangunan (*loss bulding*). *Indoor Building Solution* merupakan sebuah solusi untuk mengatasi masalah lemahnya sinyal yang diterima di dalam ruangan/gedung. Fungsi adanya IBS antara lain mengatasi *blankspot* di dalam cakupan area suatu sel, *mengcover* daerah yang sulit diinstalasi BTS, memperluas area cakupan sel, dan mengatasi user yang padat di dalam gedung. Macam – macam IBS antara lain:

### 1. *Dedicated* BTS

*Dedicated* BTS merupakan perancangan yang menempatkan BTS di dalam ruangan. *Dedicated* BTS digolongkan dalam dua jenis yaitu :

#### a. *Picocell*

Perancangan dengan menempatkan satu antena utama di dalam gedung yang bertujuan untuk meng-*cover* seluruh *user* yang berada disekitar gedung.

#### b. *Distribution Antenna System* (DAS)

Perancangan dengan mendistribusikan daya pancar ke seluruh ruangan di dalam gedung. Perancangan membutuhkan banyak antena yang bertujuan untuk memfokuskan tempat yang terdapat banyak *user*.

### 2. *Repeater*

*Repeater* digunakan untuk menguatkan sinyal di dalam gedung tetapi tidak untuk menangani kepadatan trafik/*user*.

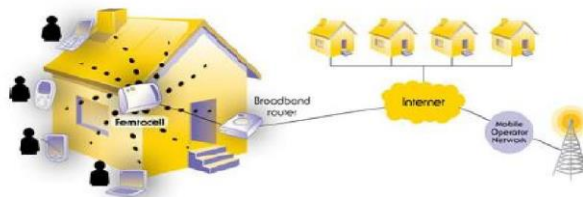
### 3. *Femtocell*

Perancangan *femtocell* dilakukan dengan menempatkan BTS kecil di dalam gedung yang biasa disebut dengan *Femtocell Access Point* (FAP).

## 2.5 FEMTOCELL

### 2.5.1 Definisi Femtocell

*Femtocell* merupakan sebuah teknologi *micro* BTS yang menggunakan level daya rendah sebagai suatu solusi untuk menangani *user* yang berada di dalam ruangan atau gedung. *Femtocell* menggunakan frekuensi yang sama seperti yang digunakan pada jaringan selular yang dikoneksikan langsung dengan jaringan *backhaul* internet sehingga kualitas jaringan lebih terjamin. Perancangan *femtocell* dilakukan dengan menempatkan BTS kecil di dalam ruangan yang disebut dengan FAP (*Femtocell Access Point*). Harga perangkat *femtocell* lebih murah jika dibandingkan dengan perangkat BTS. Perangkat FAP dapat langsung dipasang di dalam rumah atau gedung, dimana pelanggan yang dilayani sudah terdaftar dalam perangkat FAP. [5]



Gambar 2.8 Konsep *Femtocell*[5]

Seperti pada Gambar 2.8 sebuah FAP mempunyai fungsi yang sama seperti BS (*Base Station*) dan juga mempunyai RNC (*Radio Network Controller*) di dalamnya. Berbeda dengan perangkat BTS yang dihubungkan langsung ke perangkat BSC (*Base Station Controller*) atau RNC, namun perangkat FAP dihubungkan langsung ke jaringan internet menggunakan link jaringan akses data misalnya xDSL. Antara jaringan internet dengan jaringan inti dihubungkan dengan *femtocell gateway* yang merupakan gerbang penghubung mengatur antarmuka dengan jaringan inti selular.<sup>[4]</sup> Terdapat tiga jenis mode yang digunakan pada *femtocell* antara lain:<sup>[5]</sup>

1. *Open Source*

*Femtocell* bersifat terbuka, semua pengguna yang berada pada cakupan sel dapat menggunakan layanan femto.

2. *Closed Source*

*Femtocell* bersifat tertutup, dimana hanya pengguna yang terdaftar pada jaringan yang dapat memakai layanan dari femto.

3. *Hybrid*

*Femtocell* merupakan gabungan dari *open* dan *source*, dimana pada mode ini terdapat pengguna yang

terdaftar dalam femto dan pengguna yang tidak terdaftar.

### 2.5.3 Arsitektur Pada *Femtocell*<sup>[1]</sup>

Pada arsitektur *femtocell* terdapat tiga hal utama, yaitu terdiri dari:

#### 1. *Femtocell Access Point* (FAP)



Gambar 2.9 Contoh Perangkat *Femtocell* <sup>[5]</sup>

*Femtocell Access Point* (FAP) merupakan node utama dalam jaringan berbasis *femtocell*. Layanan yang diberikan perangkat FAP adalah sebuah layanan data paket, meskipun demikian layanan suara tetap dapat dinikmati melalui *voice over packet*.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Femto Access Point*<sup>[10]</sup>

<i>Spesification</i>	
<i>Performance</i>	<i>Peak Rate 100 Mbps DL and 50 Mbps UL (with 20 MHz)</i>
	<i>32 active user</i>
	<i>128 RRC_Connected Users</i>
<i>Channel Bandwidth</i>	<i>5 MHz</i>
	<i>10 MHz</i>
	<i>15 MHz</i>
	<i>20 MHz</i>
<i>Radio and Antena</i>	<i>2 x 2 MIMO</i>
	<i>Maximum Transmit Power 2 x 50 mW (2x17 dBm)</i>
	<i>Two Internal Antennas</i>
	<i>Antena gain 2 dBi</i>
<i>Mobility</i>	<i>Inter Cisco USC 8000 Series small cell handover Anchored at USC 8088 Controller</i>
<i>RF Management</i>	<i>LTE and UMTS network monitor</i>
	<i>Inter and Intrafrequency Neighbor cell detection</i>
	<i>Autodetection of Physical Cell Identitas (PCI)</i>
	<i>Automatic Neighbor Relation (ANR) Management</i>
<i>Voice Services</i>	<i>Voice over LTE</i>
	<i>Circuit Switch Fall Back</i>

Tabel 2.2 Spesifikasi *Femto Access Point*<sup>[10]</sup> (Lanjutan)

<i>Spesification</i>	
<i>Quality of Service (QoS) Features</i>	<i>Support for LTE QCIs</i>
	<i>Multiple Data Radio Bearers (DRB) per UE</i>
	<i>Guaranted Bit Rate (GBR)</i>
	<i>Maximum Bit Rate (MBR)</i>
	<i>Aggregate Maximum Bit Rate (AMBR)</i>
<i>3GPP Release</i>	<i>Release 8 with support for some higher release 9 function</i>
<i>Ciphering</i>	<i>SNOW 3G and Advanced Encryption Standart (AES) air interface anryption</i>

## 2. *Security Gateway (SeGW)*

SeGW merupakan *node* jaringan yang berperan untuk mengamankan koneksi internet antara pengguna *femtocell* dengan jaringan inti pada operator selular. SeGW menggunakan protokol keamanan internet berstandar IPSec dan IKEv2 serta memberikan enkripsi untuk semua sinyal dan lalu lintas pengguna.

## 3. *Femtocell Device Management System (FMS)*

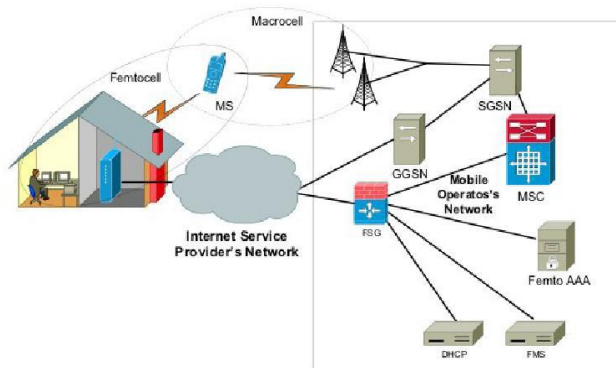
Sistem manajemen merupakan bagian yang paling penting dalam memastikan skalabilitas jaringan *femtocell* ke jutaan perangkat. Pada *femtocell* manajemen sistemnya berada di jaringan operator



yang memiliki peran untuk manajemen pengadaan, aktivitasi dan operasional *femtocell*.

#### 2.5.4 Konfigurasi *Femtocell*<sup>[1]</sup>

*Core network* dibagi dalam bagian *circuit switched* dan *packet switched*. Elemen dari *circuit switched* terdiri dari *Mobile Service Switching Centre* (MSC) yang merupakan sebagai *interface* untuk menangani *Mobile Station* (MS) dalam mengatasi *circuit switched* data, dan *Gateway MSC* (GMSC). Elemen lainnya pada *packet switched* adalah *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) yang berperan sebagai penghubung menuju jaringan *packet switched*. GGSN merupakan sebuah fitur pengaturan mobilitas yang menghubungkan dengan bermacam– macam elemen jaringan melalui *standar interface*. Pada jaringan *femtocell*, GGSN adalah *interface* fisik yang terhubung ke jaringan *packet* data eksternal misalnya berupa internet. Proses transfer data pada *core network* tidak hanya didukung oleh fitur GGSN saja tetapi juga terdapat *Serving GPRS Support Node* (SGSN) yang berperan untuk melakukan transfer data pada jaringan inti. Secara umum konfigurasi femtocell seperti pada gambar 2.10 di bawah ini.

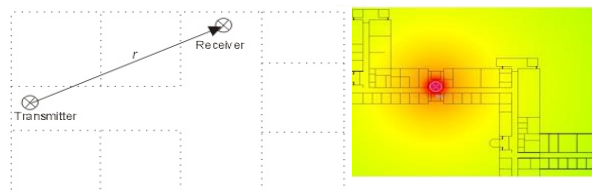
Gambar 2.10 Konfigurasi *Femtocell*

## 2.6 PROPAGASI JARINGAN *INDOOR*<sup>[5]</sup>

Model propagasi jaringan *indoor* ada 3 antara lain :

### 1. *One Slope Model*

*One Slope Model* merupakan model propagasi yang memperhatikan parameter yang mempengaruhi dari perhitungan *pathloss* eksponen. Dengan *pathloss*, model dikalibrasi untuk masing-masing skenario. Dinding dan elemen gedung lainnya tidak mempengaruhi pada model propagasi ini.

Gambar 2.11 Prediksi Tampilan *One Slope Model* <sup>[1]</sup>

## 2. Keenan Motley Model

*Keenan Motley Model* merupakan model propagasi jaringan *indoor* yang memperhitungkan seluruh dinding pada bidang vertikal antara *transmitter* dan *receiver*. Redaman untuk seluruh lantai dianggap sama. Jenis dinding dan material untuk model propagasi ini dapat diperhitungkan. Persamaan 2.1 merupakan bentuk persamaan dari Keenan Motley Model.

$$PL(df) = L_{fs}(df) + a \cdot d \quad (2.1)^{[1]}$$

Keterangan :

d = jarak

f = frekuensi

$L_{fs}$  = *Free Space Loss*

a = nilai *attenuation*

## 3. COST 231 Multi-Wall Model

*COST 231 Multi-Wall Model* merupakan model propagasi dimana seluruh dinding pada bidang vertikal diantara *transmitter* dan *receiver* dipertimbangkan untuk masing-masing dinding dengan properti materialnya diperhitungkan juga. Dengan bertambahnya dinding yang dilewati sinyal maka redaman dinding akan berkurang. Dengan

menggunakan model ini akan didapatkan hasil yang persis dengan sedikit perhitungan.

$$LT = L_{FSL} + L_C + \sum_{i=1}^M n_{wi} \cdot L_{wi} + n_f \left[ \frac{nf+2}{nf+1} - b \right] L_f \quad (2.2)^{[3]}$$

Keterangan :

$L_{FSL}$  = free space loss

$L_{FSL} = 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{km}) + 32,5$

$L_C$  = constant loss = 37 dB

$n_{wi}$  = nilai dari jenis *penetrated wall* (partisi bahan material dinding)

$L_{wi}$  = wall type loss

$L_{w1}$  = L Light Wall

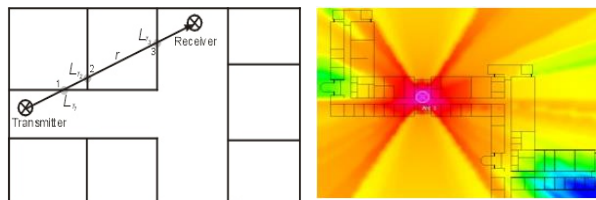
$L_{w2}$  = L Heavy Wall

$L_f$  = loss antar lantai yang saling berdekatan.

$b$  = empirical parameter (0,46)

$M$  = Number of wall type

$n_f$  = nilai dari *penetrated floors*



Gambar 2.12 Model Propagasi COST 231 Multi-wall<sup>[1]</sup>

Tabel 2.3 Nilai Redaman Material<sup>[9]</sup>

Material	Redaman (dB)
<i>Glass</i>	0,8
<i>Wood</i>	2,8
<i>Brick</i>	3,5
<i>Metal</i>	6
<i>Metal door in brick wall</i>	12,4
<i>Plasterboard Wall</i>	4
<i>Bullet Proof Glass</i>	10
<i>Window</i>	2
<i>Wood Door</i>	4
<i>Cubical Wall</i>	18
<i>Steel Fire Door</i>	13
<i>Stucco</i>	14,8
<i>Cinder Block</i>	7
<i>Human Body</i>	3
<i>Free Space</i>	0,24/feet
<i>Tree</i>	0,15/feet
<i>Dry Wall</i>	4
<i>Glass with Metal Frame</i>	6
<i>Steel Rollup Door</i>	11
<i>Marble</i>	6
<i>Plexiglass</i>	0,94
<i>Plywood</i>	1,9

## 2.7 PERANCANGAN JARINGAN *INDOOR*

Untuk menghasilkan perancangan yang mendekati keadaan sebenarnya, ada beberapa aspek yang harus diperhatikan antara lain:

### 1. Gedung

Konstruksi sebuah gedung sangat berpengaruh terhadap daya terima dan daya pancar sebuah antena. Untuk membuat desain sebuah gedung terdapat beberapa karakteristik yang perlu diperhatikan yaitu luas bangunan, konstruksi bangunan, tinggi tiap lantai, jumlah lantai, desain interior dan eksterior gedung.<sup>[5]</sup>

### 2. Penempatan Antena

Tujuan utama membuat perencanaan jaringan *indoor* yaitu untuk mendapatkan level penerimaan sinyal yang baik di dalam gedung. Penentuan letak antena sangat berpengaruh terhadap cakupan sinyal yang akan dihasilkan. Pada penggunaan *indoor* biasanya digunakan dua tipe antena yaitu antena *omnidirectional* dan antena *directional*.<sup>[1]</sup>

Konfigurasi antena untuk sistem antena *indoor* dibedakan dalam empat kategori yaitu antena terintegrasi, distribusi antena dengan jaringan kabel *coaxial*, radiasi kabel, dan penyaluran antena dengan

jaringan fiber optik. Sistem antena terdistribusi akan memberikan solusi yang baik dalam menjangkau area. Sistem antena terdistribusi dibagi dua bagian yaitu antena distribusi aktif dan antena distribusi pasif.

### 3. *Coverage Desain* <sup>[1]</sup>

Luasnya cakupan area akan mempengaruhi banyaknya antena yang digunakan. Untuk menentukan area cakupan sistem yang dipasang dibutuhkan *plot* area untuk memutuskan area mana yang akan dicakup. Setiap penempatan antena harus diperhatikan supaya didapatkan area cakupan yang maksimum.

### 4. Desain RF Untuk Jaringan *Indoor*

Desain RF pada jaringan *indoor* digunakan untuk pendistribusian daya dari BTS ke setiap antena pada setiap lantai dalam bangunan.

## 2.7.1 Perhitungan *Link Budget*

Perhitungan *link budget* merupakan perhitungan terhadap level daya terima lebih besar atau sama dengan level daya *threshold*. Tujuannya untuk menjaga keseimbangan *gain* dan *loss* agar mencapai nilai SNR yang diinginkan di *receiver*. Adapun parameter –

parameter yang digunakan untuk menghitung *link budget* antara lain :

a. *Propagasi Line of Sight (LOS)*

Propagasi LOS merupakan penurunan daya gelombang radio selama merambat di dalam ruang bebas. Redaman LOS dipengaruhi oleh jarak dan frekuensi antara pengirim dengan penerima. Persamaan untuk menghitung besarnya LOS seperti pada persamaan 2.3.

$$\text{FSL} = 32,5 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad (2.3)^{[3]}$$

Keterangan :

f = frekuensi (MHz)

d = jarak antara pengirim dengan penerima (km)

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

EIRP merupakan besarnya daya pancar dari antenna. Persamaan untuk menghitung EIRP seperti pada persamaan 2.4.

$$\text{EIRP} = \text{Ptx} + \text{Gtx} - \text{Ltx} \quad (2.4)$$

Keterangan :

Ptx = daya pancar (dBm)

Gtx = penguatan antenna pemancar (dB)

Ltx = rugi – rugi pada pemancar (dB)



c. Perhitungan *Receive Signal Level* (RSL)

RSL merupakan level sinyal yang dapat diterima di sisi penerima dan nilai yang dihasilkan harus lebih besar dibandingkan sensitifitas perangkat penerima. Sensitifitas penerima terjadi karena adanya kepekaan suatu perangkat tertentu pada sisi penerima yang dijadikan ukuran threshold. Persamaan untuk menghitung RSL seperti pada persamaan 2.5.

$$\mathbf{RSL = EIRP - L_{propagasi} + GRX - LRX} \quad (2.5)^{[1]}$$

Keterangan:

EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

L<sub>propagasi</sub> = rugi- rugi gelombang yang terjadi saat beroperasi (dB)

GRX = penguatan pada antena penerima (dB)

LRX = rugi – rugi karena saluran penerima (dB)

d. *Sensitivitas Receiver* (SR)

Untuk dapat mengetahui nilai *coverage* ialah menentukan nilai *Sensitivitas Receiver* (SR).

$$\mathbf{SR = kTB + NF + SNR + IM} \quad (2.6)^{[1]}$$

Keterangan:

k = Konstanta *Boltzman* ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )

T = Temperature (290 K)

B = *Bandwidth* (Hz)

NF = *Noise Figure* (dB)

SNR = *Signal to Noise Ratio* (SNR)

IM = *Implementation Margin* (3dB)

$L_T$  = *Loss Total* (dBm)

Selanjutnya setelah menentukan nilai SR, maka akan didapatkan perhitungan *Loss Total* ( $L_T$ ) dengan memasukan nilai EIRP yang merupakan jumlah daya yang dipancarkan oleh isotropik dengan persamaan sebagai berikut.

$$SR = EIRP - L_T \quad (2.7)^{[1]}$$

e. *Througput*

*Througput* merupakan banyaknya data yang dapat dikirimkan melalui kanal dalam setiap detik.

f. *Signal to Interference Noise Ratio* (SINR)<sup>[3]</sup>

SINR merupakan perbandingan kuat sinyal dengan *noise background*. *Derau* dan *interference* dapat mempengaruhi kualitas sinyal terima, yang juga dipengaruhi oleh rugi – rugi lintasan. Persamaan untuk menghitung SINR seperti pada persamaan 2.8.

$$SINR = \frac{S}{(I+N)} \quad (2.8)^{[3]}$$

Keterangan :

S = daya sinyal yang diinginkan

$I$  = daya sinyal yang *terinterference* dari sel – sel lain

$N$  = *Noise background*

Tabel 2.4 SINR dan Nilainya<sup>[3]</sup>

Nominal	Keterangan
16 dB - 30 dB	<i>Good</i>
1 dB - 15 dB	<i>Normal</i>
-10 dB - 0 dB	<i>Bad</i>

g. *Reference Signal Received Power (RSRP)*<sup>[3]</sup>

RSRP merupakan *power* dari sinyal *reference* dimana parameter ini adalah parameter yang digunakan oleh perangkat untuk menentukan titik *handover*. Pada 2G parameter ini di analogikan seperti RxLev dan pada 3G parameter ini dianalogikan seperti RSCP.

Tabel 2.5 RSRP dan Nilainya<sup>[3]</sup>

Nominal	Keterangan
-70 dBm to -90 dBm	<i>Good</i>
-91 dBm to -110 dBm	<i>Normal</i>
-110 dBm to -130 dBm	<i>Bad</i>

h. *Physical Cell Identity (PCI)*<sup>[3][6]</sup>

PCI merupakan cara untuk mengidentifikasi sel fisik pada jaringan LTE. Setiap sel melakukan *broadcast* penandaan identifikasi berupa PCI yang

digunakan oleh perangkat untuk mengidentifikasi sel. Jumlah PCI pada LTE sebanyak 504 buah yang terdiri dari 168 SSS ID *group* dan 3 PSS ID per grup. PCI digunakan untuk membedakan sinyal radio dari frekuensi yang berbeda. PCI pada LTE secara prinsipnya hampir sama dengan *scrambling code* pada WCDMA yaitu tiap-tiap user dibedakan berdasarkan kode unik. *Scrambling code* pada WCDMA sekitar 0-511 sedangkan PCI sekitar 0 – 503.

	0	1	2	...	163	164	165	166	167
0	0	3	6	...	489	492	495	498	501
1	4	7	10	...	493	496	499	502	1
2	8	11	14	...	497	500	503	2	5

Gambar 2.13 Alokasi PCI<sup>[9]</sup>

i. *Pathloss*

*Pathloss* adalah suatu *loss* yang terjadi apabila data atau sinyal yang melewati media udara yang berasal dari antena ke penerima dengan kondisi jarak tertentu. *Pathloss* dapat terjadi karena faktor seperti kontur tanah, lingkungan yang berbeda, adanya jarak antara pengirim dengan penerima, serta karena timbulnya media propagasi berupa udara yang lembab atau kering.

j. Lingkungan propagasi

Gelombang radio sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Gelombang dapat diredam, dipantulkan, atau karena pengaruh noise dan interferensi. Semakin tinggi frekuensi maka redaman yang dihasilkan semakin besar.

k. Rugi – rugi propagasi

Rugi – rugi propagasi merupakan rugi yang disebabkan karena adanya kondisi alam, atau pun kondisi geografis yang tidak beraturan.

l. *Fading*

*Fading* merupakan level daya yang harus dicadangkan dan besarnya merupakan selisih antara daya rata-rata yang samapi pada penerima dengan level sensitifitas penerima. *Fading* terjadi karena adanya fluktuasi amplituda sinyal.

m. *Noise*

*Noise* merupakan sinyal yang tidak diinginkan sehingga meyulitkan penerima untuk mendapatkan informasi asli. *Noise* dapat dihasilkan dari suhu, petir, dll.

### 2.7.2 Menentukan Jumlah Femtocell<sup>[9]</sup>

Dalam menentukan berapa jumlah *femtocell* yang akan dipergunakan terdiri dari dua yaitu berdasarkan kapasitas dan *coverage*.

- a. Berdasarkan kapasitas

$$\mathbf{Future\ Population = P_0[1 + GF]^n} \quad \mathbf{(2.9)}$$

Keterangan:

$P_0$  = *Current Population* ( Populasi Sekarang ) = 100%

$GF$  = *Growth Factor* (Faktor Pertumbuhan) = 1,62%

$n$  = Tahun ke-

$$\mathbf{Throughput = Bearer\ rate \times Session\ time \times Session\ duty\ ratio \times [1/(1-BLER)]} \quad \mathbf{(2.10)}$$

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*

$$\mathbf{Single\ User\ Throughput = \frac{\sum \left( \frac{Throughput}{Session} \right) \times BHSa \times Penetration\ Ratio \times (1+PAR)}{3600}} \quad \mathbf{(2.11)}$$

Keterangan:

*BHSA = Busy Hour Service Attempt*

*Penetration Rate = Pelayanan yang baik untuk customer*

*PAR = Peak to Average Ratio = 35%*

$$\text{Uplink Network Throughput (IP)} = \text{Total User Number} \times \text{UL Single Throughput} \quad (2.12)$$

$$\text{Downlink Network Throughput (IP)} = \text{Total User Number} \times \text{DL Single User Throughput} \quad (2.13)$$

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*

$$\text{DL Cell Capacity} + \text{CRC} = (168-36-12) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code rate}) \times \text{Nrb} \times \text{C} \times 1000 \quad (2.14)$$

$$UL \text{ Cell Capacity} + CRC = (168-24) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code rate}) \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.15)$$

Keterangan:

CRC = 24

Code bits = Efisiensi modulasi

Code Rate = Channel Coding Rate

Nrb = Number of Resource Block

C = Model antena MIMO

$$\text{Jumlah User Tiap Sel} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Site Capacity}} \quad (2.16)$$

$$\text{Jumlah FAP} = \frac{\text{Jumlah User}}{\text{Jumlah User tiap sel}} \quad (2.17)$$

b. Berdasarkan *coverage*

Menentukan jumlah *Femtocell Access Point* (FAP) berdasarkan *coverage* terlebih dahulu menghitung radius sel. Kemudian menghitung radius dengan menggunakan persamaan COST 231 *Multiwall Model*.

$$L_T = L_{FSL} + LC \sum_{i=1}^M nwi \cdot Lwi + nf^{\lfloor \frac{nf+2}{nf+1} \cdot b \rfloor} Lf \quad (2.18)$$



Untuk menentukan luas area yang akan dicakup *femtocell* yaitu dengan menghitung pada rumus berikut.

$$L = 2,6 d^2 \quad (2.19)$$

Sehingga untuk menghitung jumlah *femtocell* yang dibutuhkan dalam perencanaan *coverage area* yaitu sebagai berikut.

$$\text{Jumlah FAP} = \frac{\text{Luas area yang direncanakan}}{\text{Luas cakupan sel}} \quad (2.20)$$

## 2.8 RADIO PROPAGATION SIMULATOR 5.4<sup>[7]</sup>

*Radio Propagation Simulator 5.4* merupakan *software* yang digunakan untuk perencanaan kinerja sistem berbagai sistem radio *indoor*. Terdapat 2 versi RPS yaitu :

1. RPS *Enterprise* yang digunakan untuk organisasi yang lebih besar misalnya untuk operator jaringan, penyedia layanan, atau produsen sistem dengan persyaratan kinerja yang tinggi RPS *Enterprise* merupakan sistem perencanaan yang sangat efisien untuk berbagai teknologi nirkabel yang memungkinkan integrasi yang mudah dengan cara antar muka COM.
2. RPS *Professional* merupakan versi yang digunakan untuk organisasi yang lebih kecil misalnya operator lokal, konsultan, dan akademis. RPS *Professional*

mencakup fungsi yang sama untuk perencanaan jaringan radio, namun simulasi ini tidak dipararelkan dan sistem perencanaan dukungan integrasi.

Ada beberapa persyaratan yang harus dimiliki sebuah komputer untuk meng-*instal* RPS 5.4 antara lain:

1. *Windows* NP/2000/XP
2. Minimal RAM 256 MB (512 MB – 1 GB untuk lingkungan besar)
3. Minimal ruang *hardisk* 100 MB
4. Resolusi grafis setidaknya 65.536 warna dengan dukungan *OpenGL*
5. CD-ROM *drive* (untuk proses instalasi)
6. TCP/IP jaringan (khusus untuk perusahaan saja)

RPS merupakan *software* buatan dari organisasi *development software* yang mempunyai karakteristik antara lain :

1. *State-of-the-art graphical interface* ( GUI ) dengan analisis yang ekstensif dan fungsi presentasi.
2. Sangat cepat dan akurat untuk menampilkan bentuk *3D ray tracking* dan algoritma propagasi empiris.
3. *Ray tracking* yang dipararelkan dengan *load balancing* yang tinggi dan *hybrid* digunakan sebagai prediksi kinerja simulasi yang belum pernah terjadi sebelumnya.

4. Arsitektur sistem terbuka untuk berbagai data impor ataupun 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 *Radiowave Propagation Simulator*

Proses simulasi pada RPS terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan yaitu menggambar denah tiap ruangan. Denah ruangan dapat digambar pada RPS atau di-*import* dari DXF/DWG atau file ASCII. Data material dan ketebalan tembok juga dimasukkan pada RPS, hal ini dilakukan untuk mengetahui redaman yang dihasilkan, data penyebaran *user*, dan spesifikasi antenna sehingga hasil simulasi akan mendekati nilai yang sebenarnya. Konfigurasi jaringan pada RPS dilakukan dengan menempatkan pemancar di *base station* dan penerima biasanya diatur dalam matrix/sepanjang garis berdasarkan data saluran yang diperoleh. Simulasi jaringan dapat

dilakukan oleh pengguna dengan memilih antara *built-in* pelacakan *algorithm ray* dan model propagasi empiris. Selain itu, model propagasi *custom* dapat diterapkan menggunakan RPS pada teknologi *plug-in*. Simulasi dilakukan pada mesin lokal atau didistribusikan menggunakan teori jumlah *workstation* yang tidak terbatas yang terhubung melalui jaringan TCP/IP. Karakteristik saluran dianalisis dan diproses pada langkah berikutnya. Fungsi analisis disesuaikan dengan implementasi menggunakan *plug-in*. Hasil simulasi dapat disimpan atau diekspor dalam file ASCII atau file MATLAB untuk digunakan lebih lanjut.

Perangkat lunak RPS terdiri dari RPS antarmuka pengguna grafis dengan mesin simulasi terpadu (aplikasi yang mengelola semua data konfigurasi, hasil, dan simulasi), aplikasi RPS *server* yang memungkinkan komputasi didistribusikan ke jaringan TCP/IP, *library* dengan diagram antena, dan *library* blok bangunan yang sering digunakan untuk lingkungan, serta *database* bahan atau material penyusun bangunan.