

DAFTAR SINGKATAN

3GPP	Third Generation Partnership Project
BHSA	Busy Hour Service Attempt
BTS	Base Transceiver Station
DAS	Distribution Antenna System
DL	Downlink
DSL	Digital Subscriber Line
EUTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network
EPC	Evolved Packet Core
eNodeB	Evolved Node B
FAP	Femtocell Access Point
FDD	Frequency Division Duplex
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed uplink Packet Access
IBC	Indoor Building Coverage
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Controller
MAPL	Maximum Allowable Path Loss
Mbps	Megabits per second
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobile Management Entity
PCRF	Policy Charging and Rules Function
PGW	Packet Data Network Gateway
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RSL	Receive Signal Level
RPS	Radiowave Propagation Simulator
SGW	Serving Gateway
SINR	Signal to Interference and Noise Ratio
SIR	Signal to Interference Ratio
SPV	South Pacific Viscose
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment

UL

Uplink

UMTS

Universal Mobile Telecommunications System

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pabrik merupakan tempat yang digunakan oleh suatu perusahaan yang memiliki perlengkapan mesin tempat membuat atau memproduksi barang tertentu untuk diperdagangkan membutuhkan suatu layanan untuk komunikasi baik itu *voice* maupun *data* yang memadai untuk menunjang kegiatan di sekitar lokasi industri itu sendiri. Banyak pekerja dari suatu pabrik yang menggunakan layanan *indoor* atau di dalam ruangan pabrik dapat mengalami penurunan kualitas sinyal akibat interferensi dan *noise* dari alat-alat pabrik itu sendiri serta konstruksi bangunan yang berbeda.

Dari kondisi tersebut sehingga diperlukan perencanaan jaringan *indoor* LTE yang diharapkan mampu memenuhi kebutuhan layanan user baik *voice* ataupun *data* di sekitar lokasi pabrik. Dengan adanya perencanaan jaringan *indoor* LTE ini diharapkan mampu memberikan perencanaan jaringan serta informasi untuk pengimplementasian jaringan *indoor femtocell* LTE sehingga menjadi bahan acuan dalam penyelenggaraan jaringan ini untuk lokasi pabrik itu sendiri.

Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan jaringan *indoor femtocell* LTE dengan menggunakan metode *coverage* dan *capacity*. Parameter yang diukur dalam perencanaan kali ini yaitu nilai *throughput*, *receive signal level* (RSL), radius antenna, nilai *pathloss* dari perhitungan *link budget* serta jumlah antenna yang diperlukan pada perencanaan ini. Perencanaan ini menggunakan *software* RPS 5.4 untuk dapat mensimulasikannya serta perlu dilakukan *walktest* sebelum dilakukan perencanaan.

1.2 Tujuan Penelitian

Mendapatkan hasil perencanaan yang optimal dengan memanfaatkan peletakan *femtocell access point* untuk mendapatkan nilai *receive signal level* (RSL) dan *signal to interference ratio* (SIR) yang maksimal pada jaringan LTE *indoor* di gedung *purchase* dan *IT room* PT. *South Pasific Viscose*.

1.3 Manfaat Penelitian

Pengimplementasian *femtocell access point* pada jaringan *indoor* LTE untuk meningkatkan kekuatan sinyal dan kualitas jaringan.

1.4 Rumusan Masalah

Permasalahan yang sering muncul pada jaringan seluler *indoor* adalah *user* mendapatkan kekuatan dan kualitas sinyal yang kurang baik dari jaringan seluler *outdoor* yang masuk ke dalam gedung. Karena sinyal yang dipancarkan oleh jaringan seluler *outdoor* mengalami pelemahan akibat dari penghalang yang ditembus oleh sinyal dalam mengalami refleksi, difraksi, refraksi, dan interferensi dari luar sehingga sinyal yang diperoleh *user* kurang maksimal. Perencanaan jaringan LTE *indoor* ini diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan kualitas sinyal *user* yang berada di dalam gedung dan meningkatkan kapasitas jaringan LTE.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian Tugas Akhir ini memiliki beberapa pembatasan masalah untuk fokus terhadap masalah yang ada adalah sebagai berikut :

1. Analisis performansi jaringan dilakukan dengan menggunakan bantuan *survey*, *walk test* dan *software* RPS 5.4 untuk mensimulasikan hasil pada sisi *coverage* perencanaan jaringan.
2. Perencanaan hanya dilakukan pada sisi *Radio Access Network*.
3. Parameter *walktest* yang akan diuji adalah nilai RSCP dan Ec/No.
4. Perencanaan dilakukan pada seluruh lantai yang ada di gedung lokasi pabrik yang tidak memenuhi standar KPI *walktest*.
5. Perencanaan dilakukan dengan menggunakan frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* sistem 20 MHz.
6. Parameter perencanaan yang digunakan untuk *coverage* meliputi *power link budget*, radius sel, luas sel, dan estimasi jumlah sel.
7. Parameter perencanaan yang digunakan untuk *capacity* meliputi *single user throughput*, *network throughput*, kapasitas sel dan estimasi jumlah sel.
8. Jenis sel yang digunakan pada perancangan menggunakan *femtocell*.

1.6 Metode Penelitian

Pada tugas akhir ini menjelaskan tentang perhitungan dan analisis. Pertama dilakukan pengujian kekuatan jaringan *existing* dengan melakukan *walktest* di gedung yang akan dilakukan perencanaan sampai mendapatkan hasil yang buruk sehingga dapat dilakukan perencanaan jaringan LTE *indoor*. Perencanaan jaringan LTE *indoor* dilakukan dengan 2 metode, dari sisi *coverage dan capacity*. Perhitungan untuk *coverage dan capacity* dilakukan dalam model matematis dari persamaan yang telah ditetapkan untuk mendapatkan jumlah *site* yang akan digunakan. Setelah didapatkan hasil jumlah *site* yang digunakan, selanjutnya dilakukan simulasi untuk mendapatkan hasil parameter *coverage*. Dari hasil yang diperoleh lalu dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai parameter terbaik dari perencanaan jaringan LTE *indoor* di gedung tersebut dan dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil analisis perencanaan.

1.7 Sistematika Penulisan

Pada penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 mekanisme bagian penulisan antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan yang memuat penulisan keseluruhan tugas akhir.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisi tentang penjelasan tentang teori jaringan *indoor* LTE yang digunakan dalam perancangan. Teori yang dilampirkan membahas tentang jaringan LTE disertai dengan arsitektur, perhitungan perancangan LTE indoor baik *coverage planning* atau *capacity planning*.

BAB III PERANCANGAN JARINGAN LTE INDOOR

Pada bab ini dijelaskan tentang diagram alir dan langkah-langkah perancangan jaringan LTE *indoor* yang akan dilakukan pada suatu gedung di pabrik PT.South Pacific Viscose. Perancangan dilakukan berdasarkan hasil *walktest*, *coverage planning* dan *capacity planning*.

BAB IV ANALISIS HASIL PERANCANGAN JARINGAN LTE INDOOR

Pada bab ini membahas tentang analisis hasil perancangan yang diukur berdasarkan parameter-parameter yang digunakan dari perancangan jaringan yang telah dibuat seperti nilai RSL (*receive strength level*), SIR (*Signal to interference ratio*) di gedung pabrik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan jaringan *LTE indoor* di pabrik PT. *South Pacific Viscose* berdasarkan parameter yang diuji dan memberikan saran untuk penelitian yang sejenis kedepannya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Long Term Evolution [13]

Long Term Evolution (LTE) adalah istilah yang diberikan pada sebuah proyek dari *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memperbaiki standar teknologi seluler generasi ke-3 (3G) yaitu UMTS WCDMA. LTE merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSDPA (3,5G) dimana LTE disebut juga sebagai generasi ke-4 (4G). Pada UMTS kecepatan transfer data maksimum adalah 2Mbps, pada HSDPA kecepatan transfer data mencapai 14,4 Mbps pada sisi *downlink* dan 5,76 Mbps pada sisi *uplink*, pada LTE ini kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data 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.

Long term Evolution (LTE) diciptakan untuk memperbaiki teknologi sebelumnya. Kemampuan dan keunggulan dari *Long Term evolution* (LTE) terhadap teknologi sebelumnya selain dari kecepatan transfer data tetapi juga karena LTE dapat memberikan *coverage* dan kapasitas dari layanan yang lebih besar, mengurangi biaya dalam operasional, mendukung penggunaan *multiple-antenna*, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth operation* dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada.

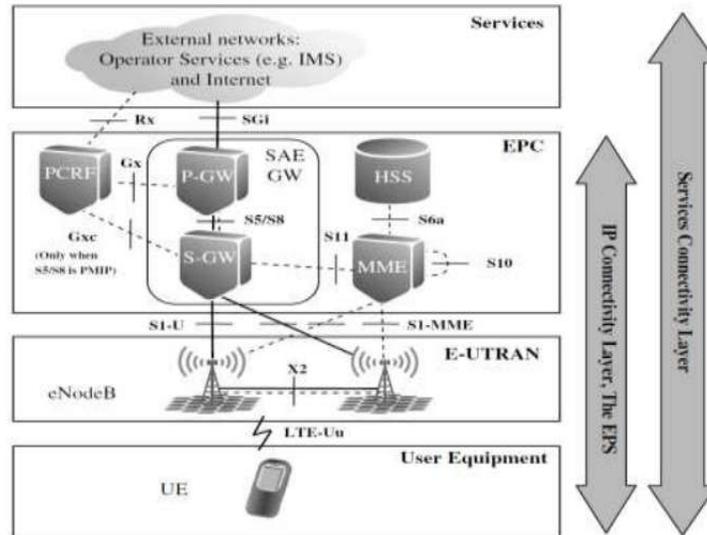
Pada sisi *air interface* *Long Term Evolution* (LTE) menggunakan teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan menggunakan SC-FDMA pada sisi *uplink*. Dan pada sisi antenna *Long Term Evolution* (LTE) mendukung penggunaan *multiple-antenna* (MIMO). *Bandwidth* operasi pada *Long Term Evolution* (LTE) fleksibel yaitu hingga mencapai 20 MHz. Dengan *bandwidth* yang fleksibel, sehingga diharapkan dapat menempati slot kanal kosong pada alokasi frekuensi teknologi lain. Berikut adalah spesifikasi dari LTE yang tertera pada tabel 2.1 [12] :

Tabel 2.1 Spesifikasi LTE [12]

Performansi Sistem		LTE	LTE-Advanced
Peak Data Rate	Downlink	300 Mbps @20MHz	3 Gbps @100 MHz
	Uplink	75 Mbps @20MHz	1,5 Gbps @100 MHz
Operating Band		700;850;900;1800;2100;2300;2600 MHz	
Modulation		QPSK , 16 QAM , 64 QAM	
Channel Bandwidth		1,4;3;5;10;15;20 MHz	Up to 100 MHz
Multiple Access		OFDMA (DL) ; SC-FDMA (UL)	
Duplex Mode		FDD & TDD	
Control Plane Delay	Idle to reconnect	<100ms	<50ms
	Dormant to active	<50ms	<9,5ms
User plan delay		<20ms	<9,1ms
Mobility		≤350 Km/h	≤500 Km/h

2.2 Arsitektur Jaringan LTE [13]

Arsitektur LTE merupakan pengembangan konfigurasi dari teknologi sebelumnya, yaitu baik UMTS (3G) dalam hal ini merupakan *Release 99/4* dan HSPA *Release 6*, Arsitektur LTE memungkinkan *interoperability* dengan teknologi 3GPP maupun non-3GPP, yang memungkinkan terjadinya integrasi dengan teknologi UMTS *Release 99/4*, HSDPA *Release 5*, HSUPA *Release 6*, dan HSPA+ *Release 7*. LTE memiliki *radio access* dan *core network* yang dapat mengurangi *network latency* serta dapat meningkatkan performansi dari sistem. Jaringan LTE dibagi menjadi dua jaringan dasar, yaitu E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) dan EPC (*Evolved Packet Core*). Dalam arsitektur jaringan LTE, terdapat tiga level utama, yakni *User Equipment* (UE), *Evolved UTRAN* (E-UTRAN), *Evolved Packet Core Network* (EPC). Berikut adalah gambar arsitektur jaringan LTE pada Gambar 2.1 [13] :



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan LTE[13]

- User Equipment (UE)

Perangkat UE merupakan *handset* yang dimiliki oleh *end-user*. UE terdiri dari USIM dan TE (*Terminal Equipment*) dengan memiliki kemampuan untuk komunikasi baik berbasis CS (*Circuit Switch*) maupun PS (*Packet Switch*). UE LTE juga sudah mendukung penggunaan MIMO *downlink* dengan jumlah tergantung dari masing-masing kategori atau klasifikasinya.

- Evolved UTRAN (E-UTRAN)

E-UTRAN merupakan *upgrade* dari UTRAN yang terdapat pada arsitektur jaringan UMTS. Pada E-UTRAN, terdapat perangkat eNode B (*evolved Node B*) yang merupakan *upgrade* dari Node B pada teknologi sebelumnya yaitu UMTS. Ditinjau pada teknologi UMTS *release 4 user* dibedakan berdasarkan kode sebagai pembeda antar *user* (WCDMA), sedangkan pada LTE masing-masing *user* dibedakan berdasarkan *resource block*, dimana pada arah DL menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA), dan pada arah UL menggunakan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA).

- Mobility Management Entity (MME)

MME merupakan entitas pengontrol setiap node pada jaringan akses LTE. MME memiliki fungsionalitas seperti pada MSC pada teknologi sebelumnya, MME dapat mengontrol setiap *node* pada jaringan akses LTE.

dengan cara mengirim pesan *signaling*, contohnya seperti keamanan dan manajemen data yang tidak berhubungan. Setiap UE terhubung oleh satu MME, yang biasa disebut *serving* MME, tetapi jika pergerakan user sudah terlalu jauh maka MME dapat berubah.

- Serving SAE gateway (SGW)

Serving Gateway berperan sebagai *packet routing* dalam mengatur dan meneruskan data yang berupa paket dari setiap *user*, sebagai penghubung antara UE dan eNodeB pada saat terjadi *inter handover*, dan sebagai *link* penghubung antara jaringan LTE dengan jaringan 3GPP lainnya (2G dan 3G).

- Packet Data Network Gateway (PGW)

PGW merupakan pusat *link* untuk terhubung dengan jaringan luar (internet) atau hubungan teknologi LTE dengan teknologi non 3GPP (WiMAX) dan 3GPP2 (CDMA20001X dan EVDO) melalui SGi *interface*. Serta bertanggung jawab dalam pengalokasian alamat IP, per-*user packet filtering*, dan tingkat layanan *charging* berdasarkan aturan PCRF.

- Policy Charging and Rules Function (PCRF)

PCRF berfungsi untuk mengontrol rating dan *charging* untuk penghitungan *billing user*. PCRF juga bertanggung jawab dalam memutuskan kebijakan-kebijakan yang digunakan untuk kontrol, misalnya otorisasi dan autentikasi. PCRF menyediakan otorisasi QOS (identifikasi kelas QOS) yang menentukan bagaimana transfer data akan dilakukan.

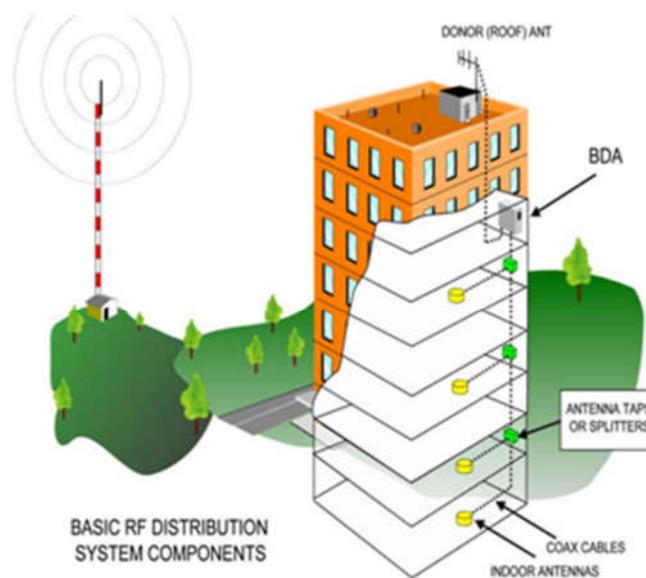
2.3 Indoor Planning [13]

Perencanaan Jaringan *Indoor* adalah suatu perencanaan sistem dengan stasiun pemancar dan stasiun penerima (*transceiver*) dipasang didalam gedung dengan tujuan untuk memberikan akses telekomunikasi dalam gedung tersebut baik kualitas sinyal, cakupan daerah sinyalnya (*coverage*) maupun kapasitas jaringan (*capacity*). Sebenarnya sistem ini memiliki prinsip yang sama BTS dengan sel standar, dengan perangkat pemancar dan penerima (*transceiver*) namun ditempatkan pada lingkungan dalam gedung, Basis kapasitas trafik biasanya digunakan untuk :

- *Public Access area* (mall, bandara, stadion hotel, rumah sakit dan lain lain), merupakan tempat-tempat umum yang sering dikunjungi tiap harinya.
- *Business/Offices area* (daerah perkantoran, pusat perbisnisan, industri) dituntut adanya *indoor cell* yang memungkinkan tingkat telekomunikasi yang tinggi.

2.3.1 Indoor Building Coverage

Indoor Building Coverage (IBC) adalah skema yang dilakukan oleh *cellular engineer* dalam membangun jaringan *indoor* dengan meningkatkan *power level* sinyal di dalam gedung. Pada dasarnya alasan utama dari adanya pembangunan IBC adalah kurangnya RX level (Sinyal) yang berada di dalam gedung sehingga diperlukan *Distribution antenna system* (DAS) dalam gedung untuk meningkatkan sinyal *indoor*. Seperti yang terlihat dari Gambar 2.2.[8]



Gambar 2.2 Indoor Building Coverage [8]

IBC diimplementasikan jika pada area gedung tersebut memiliki kualitas sinyal yang rendah, hal ini dapat menyebabkan terjadinya *drop call* dan *blank spot* sehingga proses implementasi indoor dengan IBC dapat lebih efektif dan efisien.

2.3.2 Sistem Distribusi Antenna [10]

Distribution Antenna System (DAS) dilakukan agar setiap antenna yang tersebar didalam gedung memperoleh daya yang di dapat dari keluaran *eNode B*. Antena yang terdistribusi di setiap lantai tersebut merupakan solusi untuk menghilangkan *blankspot*. Parameter yang dipertimbangkan dalam DAS yaitu antena yang digunakan dan perencanaan topologi kabel (*wiring*).

1. Antena

Antena dibutuhkan agar distribusi sinyal RF dapat secara menyeluruh ke semua area cakupan. Berikut adalah tipe antena yang digunakan pada jaringan *indoor*, yaitu:

a. Antena *Omnidirectional*

Antena *Omnidirectional* memiliki karakteristik propagasi melingkar. keuntungannya dari antena jenis ini adalah dapat melayani jumlah pengguna yang lebih banyak. Namun kesulitannya adalah pada pengalokasian frekuensi untuk setiap sel agar tidak terjadi interferensi. Antena jenis ini biasanya di gunakan pada lingkup yang mempunyai *base station* terbatas dan cenderung untuk posisi pelanggan yang melebar.

b. Antena *Directional*

Antena *Directional* memiliki radiasi dengan arah pancaran terarah sehingga efektifitas pancaran radio hanya ke satu arah saja. Antena ini idealnya digunakan sebagai penghubung antar gedung atau untuk daerah (konfigurasi *Point to Point*) yang mempunyai konfigurasi cakupan area yang kecil seperti pada lorong-lorong yang panjang.

c. Antena *Bi-Directional*

Antena ini memiliki karakteristik propagasi sektoral dengan dua arah pancaran. Gelombang radio yang dikeluarkan sama kuat yang mengarah ke dua arah pancaran.

2. Pengkabelan

Setelah didapatkan posisi peletakan antena, lalu akan dirancang topologi kabel (*wiring*) untuk menghubungkan *eNode B* dengan setiap antenna, sistem *wiring* ini mengacu pada beberapa metode desain sistem *indoor coverage*, yaitu :

a. Distribusi Pasif

Menggunakan komponen pasif dalam distribusi. Komponen pasif yang dimaksud adalah komponen yang tidak membutuhkan catuan daya untuk dapat beroperasi. Seperti kabel *coaxial*, konektor, dan *tapper*.

b. Distribusi Aktif

Menggunakan komponen aktif dalam distribusi seperti *master unit* dan *ekspansion unit*. Perbedaan dengan komponen pasif yaitu pembagian daya (output daya) yang dihasilkan dapat diubah – ubah sesuai besar yang diinginkan.

c. Hybrid

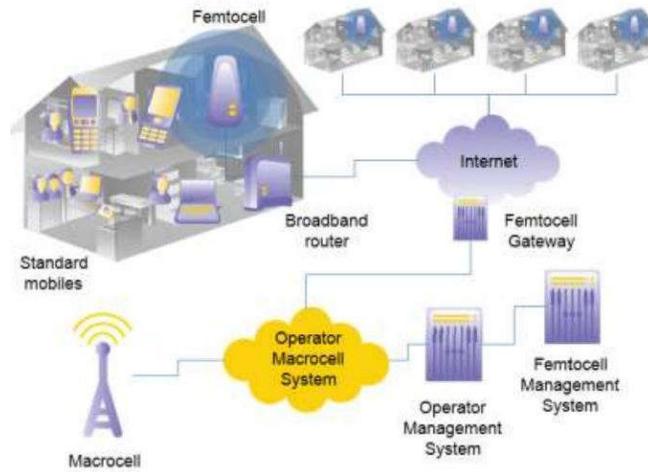
Merupakan penggabungan antara distribusi pasif dan aktif. Sehingga dalam sistem distribusi terdapat penggunaan komponen aktif maupun pasif. Agar distribusi daya dari *eNode B* dapat sampai ke antena, maka pemilihan perangkat harus disesuaikan dengan kondisi gedung (konstruksi tiap lantai) dan titik peletakan antena. Selain itu, perancangan harus memperhatikan *loss* dari tiap-tiap perangkat (komponen) seperti *feeder* dan *splitter* serta topologi yang akan dibangun. Sehingga, sistem *wiring* yang dibangun haruslah mudah dibangun, efektif dan efisien serta dapat meminimalkan biaya realisasi.

2.3.3 Femto Cell Access Point (FAP) [9]

Suatu jaringan seluler memiliki sel untuk *mencover* atau mencakup daerah layanan *user*. Pada jaringan *indoor* seluler memiliki daerah cakupan yang relatif cukup kecil dibandingkan dengan dengan jaringan seluler *outdoor*. Pada jaringan *indoor* memiliki luas daerah cakupan sekitar 10 – 300 m karena letaknya didalam gedung.

Femtocell atau juga dikenal sebagai '*home base station*' adalah *access point* jaringan seluler yang menghubungkan perangkat mobile ke jaringan operator seluler menggunakan distribusi *residential DSL*, koneksi kabel *broadband*, serat optik atau *wireless lastmile*. Bentuk *femtocell* seperti *wifi access point*, fungsi *femtocell* sama halnya seperti *base station* di *outdoor* akan tetapi *femtocell* diletakan di *indoor* dan terhubung lewat jaringan DSL yang ditujukan ke jaringan *core network cellular*. Beberapa faktor yang dapat menentukan penggunaan *femtocell* untuk jaringan *indoor* adalah karena *femtocell* dapat mencakup dalam ruangan di mana *macrocell* tidak dapat mencakupnya, dapat melakukan offload traffic dari *macrocell* dan meningkatkan kapasitas *macrocell* (dalam kasus ini menggunakan *macrocell* untuk menyediakan cakupan *indoor*, daya yang lebih dari base station akan diperlukan untuk mengkompensasi penetrasi loss yang tinggi yang mengakibatkan penurunan kapasitas *macrocell*). *Femtocell* dapat memberikan penggunaan baterai UE yang lebih kecil. *Pathloss* dalam ruangan FAP jauh lebih kecil dibandingkan dengan base station

macrocell outdoor, dan juga diperlukan transmisi listrik dari UE ke FAP. Berikut adalah skenario jaringan *femtocell access point* yang tertera pada Gambar 2.3 [5] :



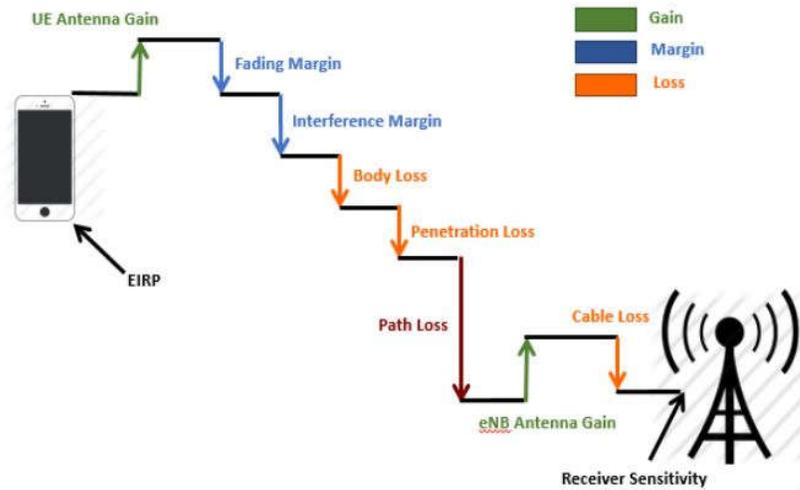
Gambar 2.3 Skenario Femto Cell [5]

2.4 Perencanaan Jaringan Seluler

Pada perencanaan jaringan seluler terdapat dua pengkajian, yaitu dari sudut pandang *coverage planning* dan *capacity planning*. *Coverage planning* adalah perencanaan jaringan dari spesifikasi alat dan parameter input jaringan secara teknik, diantaranya dengan mempertimbangkan daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas alat, dan lain-lain. Sedangkan untuk *capacity planning* memiliki parameter input berupa trafik yang dibutuhkan oleh user seperti macam-macam layanan jaringan, jumlah pengguna layanan, serta *bandwidth* yang dibutuhkan dari masing-masing layanan.

2.4.1 Coverage Planning

Langkah pertama dalam melakukan *Coverage Planning* adalah perhitungan *Maximum Allowable Pathloss link (MAPL)* pada arah *uplink (reverse)*. Hal tersebut diperlukan untuk menentukan nilai redaman propagasi maksimum yang diijinkan dari UE ke *access point*.



Gambar 2.4 MAPL Uplink^[7]

Pada Gambar 2.4 [7] menunjukkan gambar ilustrasi propagasi pada arah *uplink* dengan komponen yang mempengaruhinya. Berikut adalah rumus MAPL *uplink* yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 [7] :

$$MAPL\ uplink = UE_{TxP} + G_{UE} - B_L + G_{eNodeB} - F_L + TMA_{IL} - RS_{UE} - P_L - F_M - I_M \quad (2.1)$$

Keterangan :

UE_{TxP} : Transmitter power (dBm)

RS_{UE} : Receiver sensitivity (dBm)

G_{UE} : Gain UE Tx (dBi)

P_L : Penetration Loss (dB)

B_L : Body Loss (dB)

F_M : Fading Margin (dB)

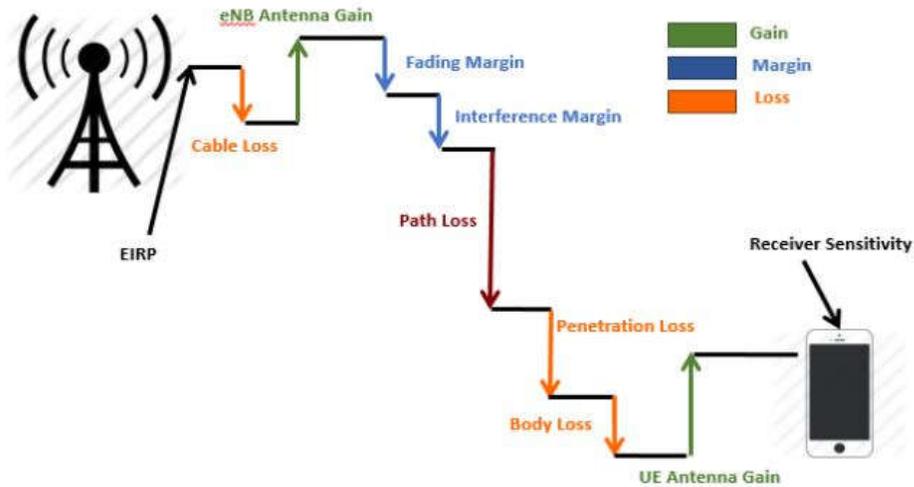
G_{eNodeB} : Gain eNodeB Rx (dBi)

I_M : Interference Margin (dB)

F_L : Feeder Loss (dB)

TMA_{IL} : TMA Insertion Loss (dB)

Setelah didapat MAPL arah *uplink* langkah selanjutnya adalah menghitung MAPL untuk arah *downlink*. MAPL arah *downlink* diperlukan untuk menentukan nilai redaman maksimum propagasi yang diijinkan agar BTS dapat melayani seluruh UE yang terhubung pada daerah cakupannya.



Gambar 2.5 MAPL Downlink [7]

Pada Gambar 2.5 [7] menunjukkan gambar ilustrasi propagasi pada arah uplink dengan komponen yang mempengaruhinya. Berikut adalah rumus MAPL uplink yang ditunjukkan pada persamaan 2.2 [7] :

$$MAPL\ downlink = eNB_{TXP} + G_{eNodeB} - F_L - B_L + TMA_{IL} - RS_{UE} - P_L - F_M - I_M + G_{UE} \quad (2.2)$$

Keterangan :

eNB_{TXP} : Transmitter power (dBm)

RS_{UE} : receiver sensitivity (dBm)

G_{eNodeB} : Gain eNodeB Rx (dBi)

P_L : Penetration Loss (dB)

F_L : Feeder Loss (dB)

F_M : Fading Margin (dB)

B_L : Body Loss (dB)

I_M : Interference Margin (dB)

TMA_{IL} : TMA Insertion Loss (dB)

G_{UE} : Gain UE Tx (dBi)

2.4.2 Model Propagasi

Untuk penggunaan model propagasi dibedakan berdasarkan penggunaan frekuensi yang digunakan. Pada perancangan ini menggunakan frekuensi 1800 MHz, dan untuk untuk LTE *indoor* digunakan model propagasi *Cost 231 Multiwall*. *Cost 231 Multiwall* mendefinisikan *path loss* yang dihasilkan dari faktor material yang ada

didalam ruangan yang diinginkan. Berikut adalah rumus dari *Cost 231 Multi Wall* yang ditunjukkan pada persamaan 2.3 [4] :

$$L_T = L_{FSL} + L_C + \sum_{i=1}^M n_{wi} L_{wi} + n_f \left[\frac{n_f + 2}{n_f - 1} b \right] L_f \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

L_{FSL} = *Free Space Loss* = $20^{10} \text{Log} f_{\text{MHZ}} + 20^{10} \text{Log} d_{\text{km}} + 32,5$

L_C = *Constant Loss* (0 dB)

L_{wi} = *Wall Type Loss* $i=1,2,\dots$

L_f = *Loss Per Floor* = 18,3 dB

b = *Empirical Parameter* (0.46)

M = *Number Off Wall Type*

n_f = *Number of Floors Crossed by The Path*

n_{wi} = *Number of Wall Crossed by The Direct Path*

Dari rumus propagasi diatas dapat diperoleh nilai *radius cell*. Setelah itu langkah selanjutnya adalah menghitung luas area sel. Untuk menentukan luas sel diasumsikan menggunakan *omnidirectional* sehingga dapat mengoptimalkan jaringan LTE. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari luas *cell* pada persamaan 2.4 [7] :

$$L_{Cell} = 2,6 \times d^2 \tag{2.4}$$

Keterangan:

L_{Cell} = Luas Sel (m²)

d = jari-jari sel (m)

Setelah didapat luas selnya selanjutnya adalah menghitung jumlah *site*. Untuk menentukan jumlah site dapat menggunakan rumus pada persamaan 2.5 [7] :

$$\Sigma LTE \text{ Cell} = \frac{L_{area}}{L_{cell}} \tag{2.5}$$