

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Popoola, S.I. et al pada tahun 2017 yang berjudul “*Standard Propagation Model Tuning for Path Loss Predictions in Built-Up Environments*” meneliti tentang prosedur pengoptimalan jaringan GSM di frekuensi 1800 MHz dengan menggunakan *Standard Propagation Model* (SPM) untuk mengakuratkan hasil prediksi *Received Signal Strength* (RSS) dibandingkan dengan menggunakan propagasi model lainnya yang banyak digunakan pada perencanaan jaringan. Penelitian ini menggunakan data pengukuran sinyal dilapangan dan data geografis untuk diolah menggunakan propagasi SPM dalam *planning software* yaitu Atoll. Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan akurasi hasil perencanaan yang tinggi dan meminimalkan kesalahan prediksi sebesar 47.4%.

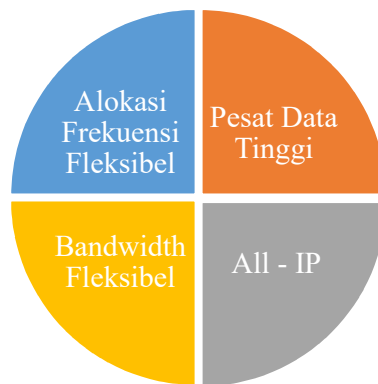
Popoola, S.I. et al pada tahun 2017 pada penelitian lainnya yang membahas mengenai “*Calibrating the Standard Path Loss Model for Urban Environments using Field Measurements and Geospatial Data*” dengan sampel area Lagos, Nigeria. Pengukuran *path loss* dengan teknik SPM yang dikalibrasi jauh lebih baik dengan hasil pengukuran data yang dilakukan dengan SPM tanpa kalibrasi. Perencanaan jaringan ini menghasilkan standar deviasi rata-rata 4.29 dB dibandingkan dengan SPM tanpa kalibrasi yang menghasilkan standar deviasi 11,34 dB.

Melalui penelitian Pusnik, Tihomir et al tahun 2015 dengan judul penelitian “*Calibration of Propagation Model for LTE Urban Clutter in Practice*”, penggunaan model propagasi *tuning* sangat bergantung pada kualitas data *input*, seperti metode pengukuran, jumlah sampel, jumlah *transmitter*, pemilihan *transmitter* yang tepat, dan kualitas permukaan. Hasil akhir dengan mengkalibrasi propagasi SPM pada penelitian ini memiliki standar deviasi 6.58 dB dan *mean error* 0.07 dB serta secara signifikan lebih baik dari angka-angka model propagasi lainnya.

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Teknologi generasi keempat (4G)[3]

Operator telekomunikasi telah memprediksi pertumbuhan pelanggan yang menggunakan layanan data jauh lebih besar dibandingkan dengan pelanggan layanan suara dan sms dari tahun ke tahun. *International Telecommunication Union of Radio* (ITU-R) sebagai lembaga resmi PBB yang mengatur dan mengeluarkan rekomendasi teknologi komunikasi mengeluarkan standar teknologi baru generasi keempat atau 4G untuk mengatasi pertumbuhan pelanggan telekomunikasi pada layanan data. Fokus utama dari generasi keempat ini adalah pengurangan tunda (*latency*), peningkatan pesat data, perbaikan cakupan dan kapasitas, serta meminimalkan biaya operasional untuk menggelar teknologi tersebut.



**Gambar 2.1 Kriteria 4G[3]**

Beberapa sistem yang memenuhi kriteria 4G seperti LTE, UMB, dan WIMAX 802.16m, teknologi LTE yang hingga sekarang banyak digelar oleh operator telekomunikasi di dunia.

### 2.2.2 Long Term Evolution (LTE)[3]

*Long Term Evolution* (LTE) adalah jaringan akses radio yang dikembangkan oleh *3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project* (3GPP) dan merupakan evolusi dari sistem telekomunikasi sebelumnya yaitu 2G dan 3G. 3GPP RAN *working group* memulai membuat standarisasi LTE pada Desember 2004 dengan

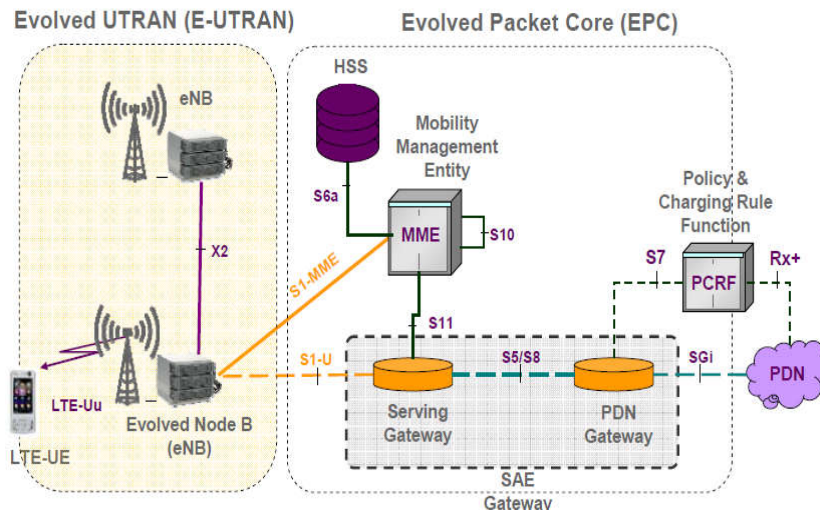
studi kelayakan terhadap evolusi UTRAN dan untuk semua EPC IP based. Dibulan Desember 2007 semua spesifikasi fungsional EPC telah dapat diselesaikan. Selain itu, spesifikasi fungsional EPC telah dapat menjadi tonggak utama dalam *interworking* antara 3GPP dan jaringan CDMA. Di tahun 2008, 3GPP RAN *working group* terus meneliti untuk menyelesaikan semua protokol dan spesifikasi *performance* LTE, dan tugas tersebut dapat diselesaikan pada bulan Desember 2008 dan diakhiri dengan adanya 3GPP *release 8*.

3GPP merumuskan kriteria teknologi LTE dimana *latency* berkurang hingga 10 ms, menghasilkan pesat data *downlink* mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak dan 1 Gbps saat pengguna diam. Sementara itu pesat data *uplink* mencapai 50 Mbps. Bandwidth yang fleksibel, efisiensi spektrum meningkat dua hingga empat kali lipat dan migrasi sistem yang hemat biaya dari teknologi 3.5G *release 6*, dapat bekerja di berbagai spectrum frekuensi baik berpasangan (*paired*) maupun tidak berpasangan (*unpaired*), dan teknologi tersebut dapat bekerjasama dengan sistem non 3GPP yang sudah ada.

**Tabel 2.1 Spesifikasi LTE[3]**

Parameter	Information
Peak data rate	: 50 Mbps (UL); 100 Mbps (DL); for 20 MHz spectrum
Operating Band	: 2300; 2100; 1800; 900; 850; 700 MHz
Duplex Mode	: FDD dan TDD
Multiple Access	: SC-FDMA (UL); OFDMA (DL)
Channel Bandwidth	: 1.4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz
Cyclic Prefix	: Normal, Extended
Latency	: <5 ms (user plane); <100 ms (control plane)
Mobility	: up to 350 km/h, or even up to 500 km/h depending on the frequency band
Coverage (cell sizes)	: 5-30 km cells
Co-existence and internetworking with 3GPP RAT	: Support for inter-working with existing 3G systems and non-3GPP specified systems

### 2.2.3 Arsitektur LTE[3]



**Gambar 2.2 Arsitektur LTE[4]**

Arsitektur LTE atau yang dikenal dengan istilah *System Architecture Evolution* (SAE) menggambarkan evolusi arsitektur yang membandingkan dengan generasi sebelumnya. Didalam LTE SAE terdapat tiga komponen utama yaitu *User Equipment* (UE), *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), dan *Evolved Packet Core* (EPC).

#### 2.2.3.1 User Equipment (UE)

*User equipment* merupakan perangkat dalam teknologi LTE yang berdekatan dengan *user*. UE terbagi menjadi dua bagian yaitu *Universal Integrated Circuit Card* (UICC) dan *Mobile Equipment* (ME).

#### 2.2.3.2 E-UTRAN

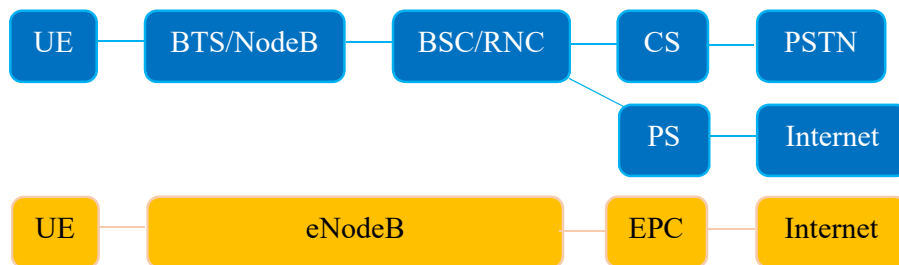
*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) adalah sistem yang menangani radio akses dari UE ke jaringan core. Pada E-UTRAN terdapat *Evolved Node B* (eNodeB) yang telah menggabungkan fungsi NodeB dan RNC pada teknologi sebelumnya. Secara *physical* eNodeB sebuah *base station* yang terletak pada permukaan bumi atau yang ditempatkan diatas gedung-gedung. Dapat dilihat pada teknologi LTE memungkinkan untuk dilakukan *air interface*

*user plane* dan *protocol control plane* secara bersamaan yang membedakan hirarki pada sisi *network* dengan WCDMA maupun GSM.

eNodeB memiliki dua *interface* yakni *interface X2* dimana *interface* ini menghubungkan antar eNodeB secara langsung dan *interface S1* untuk hubungan dengan EPC. eNodeB memiliki fungsi penting sebagai radio *receiver* dan *transmitter*. Fungsi lainnya adalah sebagai *controlling low-level operation* semua *mobile user* dengan mengirim sinyal tertentu berupa pesan seperti *handover*. Dengan hal tersebut dapat mengurangi *latency* yang muncul ketika proses pertukaran informasi antar jaringan dengan UE pada saat *handover*.

### 2.2.3.3 Evolved Packet Core (EPC)

EPC adalah sistem dimana pada bagian *core network* menggunakan all IP sebuah kerangka konvergensi yang berbasis *packet realtime* dan layanan *non-realtime* yang dibentuk oleh 3GPP *release 8*. Pada LTE fungsi *circuit switch* dan *packet switch* disatukan menjadi *domain IP* tunggal. LTE akan menjadi sistem yang akan menggunakan IP dari eNodeB hingga kepada *domain* aplikasi (IMS atau non-IMS). EPC memiliki kapasitas besar pada all-IP di *core network* membuat layanan LTE *realtime* yang lebih baik dan meningkatkan *Quality of Experience (QoE)*.



**Gambar 2.3 Perbedaan Core Mobile pada 2G, 3G, dan 4G[3]**

Koneksi data dari eNodeB hanya melintasi *gateway* EPC dimana mengurangi hirarki antara elemen data seluler yang akan meningkatkan kinerja jaringan dengan pemisahan *control* data dan melalui IP yang ramping. EPC memiliki empat bagian utama yang penting antara lain MME, SGW, PGW, dan

PCRF yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Berikut adalah fungsi dari MME, SGW, PGW dan PCRF:

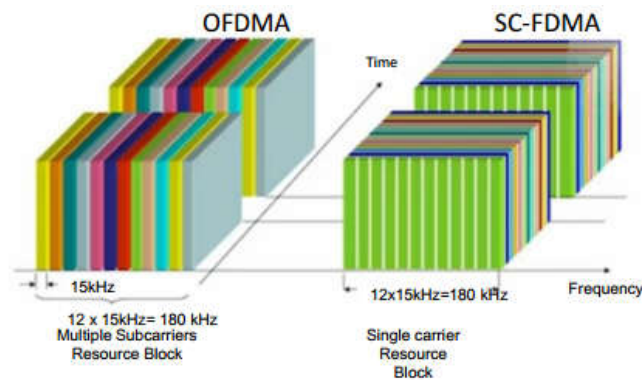
1. *Mobile Management Entity* (MME)
  - a. Menyediakan fungsi control plane untuk mobilitas antara LTE dan jaringan akses lainnya.
  - b. Menangani manajemen keamanan.
  - c. Berfungsi sebagai titik terminasi untuk *Non-Access Stratum* (NAS) *signaling*. NAS *signaling* bertanggung jawab untuk pembangkitan dan alokasi identitas sementara kepada UE dan memeriksa otorisasi dari UE ke bagian pada sistem.
  - d. Berfungsi sebagai titik terminasi untuk pengkodean dan proteksi untuk NAS *signaling*.
  - e. Bertindak sebagai *key control node* untuk jaringan LTE.
  - f. Bertanggung jawab untuk *tracking* UE yang *idle* dan prosedur paging termasuk transmisi ulang.
  - g. Memilih *Serving Gateway* (S-GW) untuk UE saat inisialisasi dan pada saat intra-LTE *handover*.
2. *Serving Gateway* (S-GW)
  - a. Bertindak sebagai pusat mobilitas untuk user plane selama antar-eNB *handover* dan sebagai pusat untuk mobilitas antara LTE dan teknologi lainnya 3GPP.
  - b. Mengakhiri *downlink path* untuk UE saat keadaan *idle* dan memulai *paging* ketika data DL tiba di UE.
  - c. *Routing* dan *forwarding user data packet*.
3. *PDN Gateway* (P-GW)
  - a. Bertindak sebagai pusat mobilitas antara 3GPP dan teknologi non-3GPP seperti WiMAX dan 3GPP2 (CDMA 1X dan EvDO).
  - b. Menyediakan konektivitas antara UE dan jaringan data paket (*Packet Data Network* / PDN) eksternal dengan menjadi titik keluar dan masuk untuk lalu lintas UE (satu UE mungkin memiliki konektivitas simultan dengan lebih dari satu P-GW untuk mengakses beberapa PDN).
4. *Policy and Charging Rules Function* (PCRF)

PCRF merupakan penggabungan dari *Policy Decision Function* (PDF) dan *Charging Rules Function* (CRF) yang fungsinya mengumpulkan informasi dari dan ke jaringan, system pendukung operasional, dan sumber lainnya secara *realtime* yang membentuk aturan dan kemudian secara otomatis membuat keputusan kebijakan untuk setiap pelanggan yang aktif di jaringan LTE. Jaringan ini memungkinkan menawarkan beberapa layanan, aturan pengisian, dan kualitas layanan (QoS).

Bagian arsitektur LTE terakhir adalah *Home Subscription Service* (HSS). HSS yang merupakan tempat penyimpanan data pelanggan secara permanen berfungsi untuk menyimpan informasi tentang layanan yang layak untuk user tersebut seperti informasi ijin koneksi PDN ataupun *roaming*. HSS melakukan koneksi dengan setiap MME pada semua jaringan, dimana UE diijinkan untuk *handover*. Pada tiap UE, HSS merekam pada MME suatu waktu, dan segera melaporkan MME baru yang melayani UE tersebut, HSS akan membatalkan lokasi dari MME sebelumnya.

#### 2.2.4 Akses Jamak Teknologi LTE[4]

Akses jamak adalah pengoptimalan *bandwidth* agar dapat digunakan oleh banyak pengguna namun dengan gangguan seminimal mungkin. Akses jamak yang digunakan pada teknologi LTE yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada sisi *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada sisi *uplink*.



**Gambar 2.4 Akses Jamak OFDMA dan SC-FDMA[4]**

OFDMA dapat dikatakan gabungan konsep OFDM dengan FDMA. *Sub-carrier* dialokasikan secara terpisah yang saling orthogonal berdasarkan waktu yang dipakai dari eNodeB menuju UE (*downlink*). *Multiplexing* trafik dilakukan dengan mengalokasikan setiap *user* pada frekuensi dan waktu tertentu serta dipilah berdasarkan kecepatan datanya dan dimungkinkan adanya penggunaan *bandwidth* bersamaan. OFDMA dapat mengurangi *multipath fading* yang merugikan dalam suatu sistem akses jamak. Penggunaan antena *Multiple In Multiple Out* (MIMO) pada teknologi LTE dibantu dengan OFDMA dapat menghasilkan efisiensi spektrum yang tinggi. Dalam CDMA ketika semakin banyak user yang terhubung dengan sistemnya akan terjadi *cell size breathing* atau mengempisnya ukuran sel, tetapi pada OFDMA itu tidak terjadi.

Pada sisi *uplink* memiliki keterbatasan yaitu ukuran UE selalu kecil dibandingkan dengan eNodeB yang dimana memiliki baterai yang kecil. Hal tersebut menuntut metode akses jamak yang memiliki konsumsi daya lebih sedikit. SC-FDMA merupakan akses jamak pada LTE yang dapat mengatasi keterbatasan itu. Sistem OFDMA memiliki *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang tinggi dibandingkan dengan SC-FDMA. PAPR adalah pengukuran daya gelombang yang dihitung dari puncak bentuk gelombang dibagi akar kuadrat rata-rata (RMS) bentuk gelombang. Pada SC-FDMA, satu frekuensi membawa semua sekumpulan bit hasil modulasi (simbol) yang akan ditransmisikan. Pada OFDMA satu frekuensi membawa satu simbol. SC-FDMA diperoleh dengan menambahkan *Discrete Fourier Transform* (DFT) pada blok diagram OFDMA.

### 2.2.5 Multiple Input Multiple Output (MIMO)[4]



Gambar 2.5 MIMO pada Teknologi LTE[4]



Teknologi LTE menggunakan multi antena yang terdapat pada pengirim (Tx) dan penerima (Rx) yang dinamakan dengan antena MIMO. MIMO digunakan untuk mengurangi *multipath fading* dan meningkatkan kapasitas pengiriman data tanpa *bandwidth*. Data yang dikirimkan pada antena MIMO melalui dua antena nya meningkatkan sistem *throughput* secara signifikan yang dimaksud dengan *spatial multiplexing*. Pada *spatial multiplexing* data yang berbeda dikirimkan secara bersamaan, jika sistem aliran secara ortghonal digunakan. Proses tersebut tidak menimbulkan interferensi satu dengan lainnya.

### 2.2.6 Spektrum Frekuensi[3]

Spektrum Frekuensi merupakan salah satu sumber daya yang terbatas. Penggunaan frekuensi harus dibatasi untuk memaksimalkan penggunaannya di beberapa sektor bidang lainnya selain untuk jaringan komunikasi seluler. Frekuensi harus mempunyai payung hukum yang kuat dan diawasi oleh sebuah lembaga di setiap negara agar tertata dengan baik. Frekuensi 900 MHz, 1800 MHz, dan 2100 MHz yang cocok untuk mengimplementasikan jaringan komunikasi seluler kini sudah penuh sesak oleh beberapa operator GSM, UMTS, dan CDMA. Di banyak negara frekuensi ideal dalam menggelar jaringan LTE ada di frekuensi 1800 MHz dengan menghilangkan jaringan eksisting sebelumnya yaitu GSM. 2100 MHz untuk jaringan UMTS sedangkan 900 MHz mulai diterapkan *dual band* agar dua teknologi dapat digunakan dalam satu frekuensi kerja yang sama.

**Tabel 2.2 Penggunaan Frekuensi Seluler di Indonesia[3]**

Teknologi	Frekuensi				
	850 MHz	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2300 MHz
GSM		X	X		
WCDMA		X		X	
LTE	X	X	X		X

#### 2.2.6.1 Alokasi Frekuensi 4G LTE Menurut 3GPP

Alokasi frekuensi jaringan 4G LTE menurut standar 3GPP ditunjukkan dalam table berikut ini:

**Tabel 2.3 Alokasi Frekuensi 4G Menurut 3GPP[3]**

<b>E-UTRA</b>	<b><i>Uplink (UL)</i></b>	<b><i>Downlink (DL)</i></b>	<b>Duplex</b>
<b>Band</b>	<b>F<sub>UL_Low</sub> - F<sub>UL_High</sub></b>	<b>F<sub>DL_Low</sub> - F<sub>DL_High</sub></b>	<b>Mode</b>
1	1920 - 1960 MHz	2110 - 2170 MHz	FDD
2	1850 - 1910 MHz	1930 - 1990 MHz	FDD
3	1710 - 1785 MHz	1805 - 1880 MHz	FDD
4	1710 - 1755 MHz	2110 - 2155 MHz	FDD
5	824 - 829 MHz	869 - 894 MHz	FDD
6	830 - 840 MHz	875 - 885 MHz	FDD
7	2500 - 2570 MHz	2620 - 2690 MHz	FDD
8	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz	FDD
9	1749.9 - 1784.9 MHz	1844.9 - 1879.9 MHz	FDD
10	1710 - 1770 MHz	2110 - 2170 MHz	FDD
11	1427.9 - 1452.9 MHz	1475.9 - 1500.9 MHz	FDD
12	698 - 716 MHz	728 - 746 MHz	FDD
13	777 - 787 MHz	746 - 756 MHz	FDD
14	788 - 798 MHz	758 - 768 MHz	FDD
...	....	....	...
17	704 - 716 MHz	734 - 746 MHz	FDD
...	....	....	...
33	1900 - 1920 MHz	1900 - 1920 MHz	TDD
34	2010 - 2025 MHz	2010 - 2025 MHz	TDD
35	1850 - 1910 MHz	1850 - 1910 MHz	TDD
36	1930 - 1990 MHz	1930 - 1990 MHz	TDD
37	1910 - 1930 MHz	1910 - 1930 MHz	TDD
38	2570 - 2620 MHz	2570 - 2620 MHz	TDD
39	1880 - 1920 MHz	1880 - 1920 MHz	TDD
40	2300 - 2400 MHz	2300 - 2400 MHz	TDD

**2.2.6.2 Alokasi Frekuensi 4G LTE di Indonesia**

Di Indonesia LTE digunakan pada E-UTRA Band 3 (LTE FDD 1800 MHz), Band 5 (LTE FDD 850 MHz), Band 8 (LTE FDD 900 MHz), dan Band 40 (LTE

TDD 2300 MHz). Berikut merupakan tabel pemetaan operator seluler berdasarkan alokasi frekuensi 4G LTE:

**Tabel 2.4 Mapping Frekuensi 4G LTE Operator Seluler di Indonesia[4]**

<b>Band 3 (1800 MHz)</b>	<b>Band 5 (850 MHz)</b>	<b>Band 8 (900 MHz)</b>	<b>Band 40 (2300 MHz)</b>
Telkomsel Indosat H3I XL Axiata	Smartfren	Telkomsel Indosat H3I XL Axiata	Telkomsel Bolt Smartfren

Pita frekuensi 1800 MHz yang menjadi frekuensi ideal dalam implementasi jaringan 4G LTE saat ini ditempati oleh 4 operator besar. Dilihat dari tabel 2.2 pada band 3 dengan frekuensi *uplink* 1710 - 1785 MHz dan frekuensi *downlink* 1805 - 1880 MHz dengan *duplex mode Frequency Division Duplex (FDD)* dipakai oleh operator Telkomsel, Indosat, H3I (Tri), dan XL Axiata. Frekuensi tersebut memiliki lebar pita sebesar 75 MHz. XL Axiata memiliki lebar pita 22.5 MHz, H3I 10 MHz, Indosat 20 MHz, dan Telkomsel 22.5 MHz. lebar pita tersebut tidak semua dipakai untuk jaringan 4G LTE saja karena sebelumnya sudah beroperasi sebagian di teknologi DCS 1800 di sebagian operator.

### 2.2.7 Perencanaan Jaringan

Mendapatkan kualitas jaringan yang baik dan efisien sangat dibutuhkan oleh operator seluler. Perencanaan jaringan berfungsi untuk menangani masalah cakupan area (*coverage*), kapasitas jaringan, hingga menghindari terjadinya interferensi pada suatu teknologi. Dalam melakukan perencanaan, seorang *engineer* harus mempelajari peta topografi sebuah daerah yang akan dipasang sebuah jaringan seluler. Kondisi geografis digunakan untuk penentuan ketinggian antena, ketinggian tower, jenis antena, *power supply*, penentuan link transmisi, dan lain-lainnya. Statistik persebaran penduduk menjadi hal yang harus diperhatikan setelah seorang *engineer* mengenali topografi sebuah daerah untuk melakukan perencanaan jaringan seluler. Persebaran penduduk digunakan untuk penempatan posisi *site* dan juga kapasitas *site*. Kondisi tersebut akan berhubungan dengan kemungkinan trafik

yang akan dilayani. Daerah yang berpenduduk padat akan lebih menguntungkan sebuah operator dibandingkan dengan daerah yang memiliki penduduk sedikit. Melihat banyaknya penduduk atau tidak *engineer* akan menghitung berapa nominal *site* yang akan di bangun dan nominal *site* yang ada saat ini (*existing*). Jumlah nominal *site* diperlukan untuk penentuan prioritas area untuk *site* baru atau penambahan kapasitas di *site existing*. Setiap *site* yang akan dibangun harus dihubungkan dengan media transmisi. Proses *planning* akan menentukan jenis transmisi apa yang akan digunakan apakah menggunakan *fiber optic*, *microwave*, PSTN, dan *Leased Line*[5].

### 2.2.8 Coverage Planning

*Coverage planning* adalah metode perencanaan jaringan untuk mengestimasi cakupan eNodeB dengan memperhatikan kualitas sinyal yang diterima oleh *user*. Proses pertama yang dilakukan dalam perencanaan cakupan dengan menghitung *link budget*. *Link budget* berfungsi untuk memperkirakan nilai *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL) antara sebuah *transmitter* dan *receiver* pada *downlink* dan *uplink*. Radius sel dapat diperkirakan berdasarkan tinjauan daerah dan model propagasi yang digunakan. Parameter dalam *coverage by planning* antara lain RSRP, SNR, *indoor penetration loss*, *shadow fading margin*, dan *interference margin*[5].

#### 2.2.8.1 Link Budget[4]

Perhitungan *link budget* pada perencanaan LTE bertujuan untuk:

1. Mempertimbangkan faktor seperti *feeder loss*, *interference margin*, *building penetration loss*, dan *antenna gain* dari sisi radio.
2. Memperkirakan MAPL berdasarkan daya transmit maksimum dari terminal dan alokasi daya transmit eNodeB.

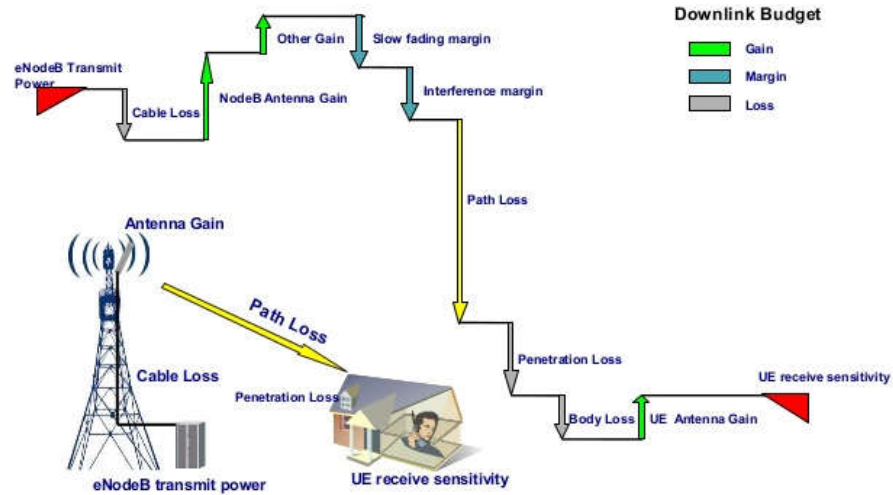
Persamaan dalam menghitung *link budget* arah *downlink*:

$$EIRP_{DL} = P_{UE} - G_{eNodeB} - L_b \quad (2.1)$$

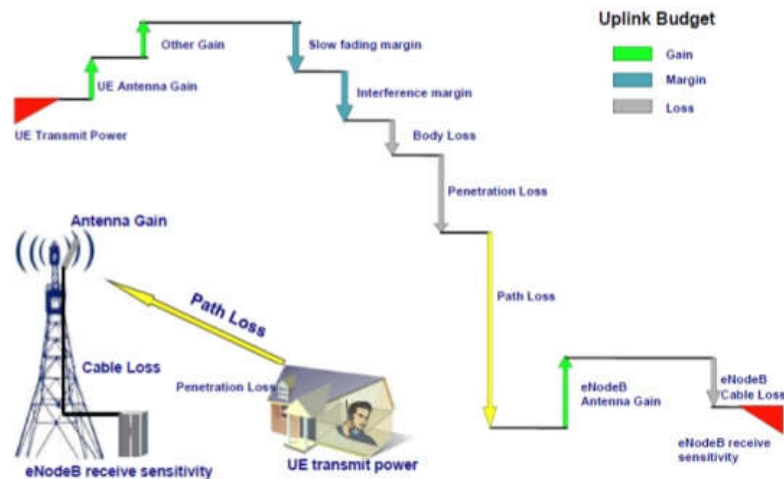
$$SR_{MINDL} = RX_{Sen} - G_{UE} - L_c + IM \quad (2.2)$$

$$RX_{Sen} = SINR + R_{xNF} - N_{TH} + 10 \log (15000) \quad (2.3)$$

$$MAPL_{DL} = EIRP_{UL} - SR_{MINUL} - L_{indoor} - M_{SF} \quad (2.4)$$



Gambar 2.6 Link Budget arah downlink



Gambar 2.7 Link Budget arah uplink

Persamaan dalam menghitung *link budget* arah *uplink*:

$$EIRP_{UL} = P_{eNodeB} - G_{ue} - L_c \quad (2.5)$$

$$SR_{MINUL} = RX_{Sen} - G_{eNodeB} - L_b + IM \quad (2.6)$$

$$MAPL_{LUL} = EIRP_{UL} - SR_{MINUL} - L_{indoor} - MSF \quad (2.7)$$

Keterangan:

$P_{eNodeB}$  : transmitter power dari eNodeB perresource block [dBm]

$P_{UE}$  : transmitter power dari UE per resource block [dBm]

$G_{UE}$  : penguat antenna UE [dBi]

$G_{eNodeB}$	: penguatan antenna eNodeB	[dBi]
$L_c$	: feeder cable loss	[dB]
$L_b$	: body loss	[dB]
$EIRP_{UL}$	: effective isotropic radiated power uplink	[dB]
$EIRP_{DL}$	: effective isotropic radiated power downlink	[dB]
$SINR$	: Signal to Interference ratio	[dB]
$R_{xNF}$	: receiver noise figure	[dB]
$N_{TH}$	: thermal noise	
$RX_{SEN}$	: receiver sensitivity	[dBm]
$SR_{MINUL}$	: minimum signal reception uplink	[dB]
$SR_{MINDL}$	: minimum signal reception downlink	[dB]
$IM$	: interference margin	[dB]
$L_{indoor}$	: indoor penetration loss	[dB]
$M_{SF}$	: shadow fading margin	[dB]
$MAPL_{UL}$	: maximum allowable pathloss uplink	[dBm]
$MAPL_{DL}$	: maximum allowable pathloss downlink	[dBm]

### 2.2.8.2 Model Propagasi

Model propagasi merupakan formula matematika empiris untuk menggambarkan karakteristik propagasi gelombang radio berdasarkan fungsi ketinggian, jarak, frekuensi, dan kondisi lainnya. Ada beberapa macam model propagasi yang digunakan dalam perencanaan jaringan seluler seperti Okumura-Hata, COST 231, dan *Standard Propagation Model*[6].

#### 1. Okumura-Hata *Propagation Model*

Model propagasi ini digunakan untuk pemodelan gelombang radio *outdoor* pada frekuensi kerja 150 MHz – 1500 MHz dengan ketinggian antenna UE antara 1-10 m dan ketinggian antenna eNodeB antara 30-200 m. Okumura-Hata *Propagation Model* memiliki persamaan sebagai berikut:

$$L_{urban} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_{te} - a_{hre} + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d \quad (2.8)$$

Faktor koreksi untuk daerah perkotaan (urban) dengan luas daerah yang kecil atau menengah menggunakan persamaan berikut:

$$a_{hre} = 0.8 + (1.1 \log f - 0.7)h_{re} - 1.56 \log f \quad (2.9)$$

Sedangkan untuk daerah urban yang memiliki luas daerah yang luas menggunakan persamaan berikut:

$$a_{hre} = 8.29 ((\log(1.54hM))^2 - 1.1, \text{jika } 150 \leq f \leq 300\text{Mhz}) \quad (2.10)$$

$$a_{hre} = 3.2 ((\log(11.75hM))^2 - 4.97, \text{jika } 200 \leq f \leq 1500\text{Mhz}) \quad (2.11)$$

Pada pemodelan dengan struktur bangunan tidak sepadat dan setinggi area urban atau disebut area sub-urban memiliki persamaan sebagai berikut:

$$L_{suburban} = L_{urban} - 2 (\log f / 28)^2 - 5.4 \quad (2.12)$$

Keterangan :

- f : frekuensi dari 150 MHz sampai 1500 MHz
- $h_{te}$  : Tinggi efektif dari eNodeB
- $h_{re}$  : tinggi efektif dari antenna UE
- d : jarak antara eNodeB dengan UE (km)
- $a_{hre}$  : faktor koreksi untuk tinggi efektif antenna UE

## 2. COST 231 Propagation Model

Model propagasi COST 231 merupakan pengembangan perhitungan *pathloss* hata digunakan pada frekuensi kerja 1500-2000 MHz. Model ini di aplikasikan pada tinggi efektif antenna UE dari 1 – 10 m dan tinggi efektif eNodeB dengan kisaran 30-200 m. Model propagasi COST 231 memiliki persamaan sebagai berikut[6]:

$$L_{urban} = 46,3 + 33.9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a_{hre} + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d + CM \quad (2.13)$$

Keterangan :

- f : 1500 MHz sampai 2000 MHz
- $h_{te}$  : tinggi efektif dari eNodeB dengan kisaran 30 m sampai 200 m
- $h_{re}$  : tinggi efektif antenna UE dari 1 m hingga 10 m
- d : jarak antara eNodeB dengan UE (km) (1 km sampai 20 km)
- CM : 0 dB untuk ukuran medium kota dan daerah suburban
- CM : 3 dB untuk daerah pusat kota (metropolitan)

### 3. Standard Propagation Model (SPM)

*Standard Propagation Model* adalah model propagasi pengembangan dari rumus pemodelan *pathloss* Hata. Model propagasi empiris ini cocok untuk memprediksi *pathloss* pada frekuensi kerja 1500-2000 MHz dan menentukan *large-scale fading* dalam sinyal yang diterima dengan jarak 1-20 km. Persamaan SPM mengasumsikan bahwa pengaturan yang tepat di beberapa parameter untuk *clutter class* dan diperuntukan bagi faktor K dan eksternal yang berpengaruh pada propagasi sinyal. SPM didasarkan pada rumus sebagai berikut[7]:

$$P_R = P_{Tx} - (K1 + K2 \log d + K3 \log h_{te} + K4 \cdot \text{Diffraction Loss} + K5 \log d \cdot \log h_{te} + K6 \cdot h_{re} + K7 \cdot \log h_{re} + K_{clutter} \cdot f_{clutter} + K_{hill,LOS}) \quad (2.14)$$

Keterangan:

$P_R$	: Received Power (dBm)
$P_{Tx}$	: Transmitted Power (dBm)
K1	: Constant offset (dB)
K2	: Multiplying factor for $\log d$
d	: Distance between receiver and transmitter (m)
K3	: Multiplying factor for $\log h_{te}$
$h_{te}$	: Effective height of the transmitter antenna (m)
K4	: Multiplying factor for diffraction calculation
<i>Diffraction Loss</i>	: losses due to diffraction over an obstructed path (dB)
K5	: Multiplying factor for $\log d \cdot \log h_{te}$
K6	: Multiplying factor for $h_{re}$
K7	: Multiplying factor for $\log h_{re}$
$h_{re}$	: Effective height of the receiver antenna (m)
$K_{clutter}$	: Multiplying factor for $f_{clutter}$
$f_{clutter}$	: Average of weighted losses due to clutter
$K_{hill,LOS}$	: Corrective factor for hilly regions

Mengacu pada persamaan 2.13, faktor koreksi untuk tinggi efektif antena UE dan *clutter* pada SPM diabaikan, sehingga persamaan model *pathloss* diberikan sebagai berikut[8]:



$$L = A_1 + A_2 \log(f) + A_3 \log h_{te} + [B_1 + B_2 \log h_{te}][\log d] \quad (2.15)$$

Keterangan:

$$A_1 = 46.30$$

$$A_2 = 33.90$$

$$B_1 = 44.90$$

$$B_2 = -6.55$$

Maka, dalam persamaan koefisien antara cost 231 dan SPM dengan *distance* dalam satuan meter didapatkan persamaan yaitu[8]:

$$L = A_1 + A_2 \log(f) - 3B_1 + [A_3 - 3B_2][\log h_{te}] + B_1 \log d + B_2 \log h_{te} \cdot \log d \quad (2.16)$$

Keterangan:

$$K_1 = A_1 + A_2 \log(f) - 3B_1$$

$$K_2 = B_1$$

$$K_3 = A_3 - 3B_2$$

$$K_5 = B_2$$

Karenanya, representasi perhitungan LTE 1800 MHz diberikan persamaan[8]:

$$L = 22 + 44.9 \log(d) + 5.83 \log h_{te} - 6.55 \log(d) \cdot \log h_{te} \quad (2.17)$$

### 2.2.9 Propagation Model Tuning

Metode Tuning merupakan sebuah pendekatan yang dilakukan dari perhitungan yang mempengaruhi sebuah formula dari *propagation model*. Perhitungan ini dapat melakukan pendekatan yang cukup dekat dengan hasil pengukuran dilapangan, sebagai mana sebuah parameter yang berpengaruh terhadap *propagation model* itu diperhatikan. Metode ini menggunakan sebuah data pengukuran lapangan (*drive test*) yang berisikan informasi distribusi *signal level* dari pengambilan data.

Sebelum melakukan perencanaan *coverage* terdapat suatu proses yang perlu dilakukan yaitu *propagation model tuning*. Proses ini digunakan untuk membandingkan antara prediksi kuat sinyal dengan data aktual. Untuk

mendapatkan hasil prediksi *coverage* dan interferensi yang akurat maka perlu dilakukan *propagation model* pada *planning tools*. Pengukuran aktual dilapangan dikalibrasi secara otomatis sehingga mendapatkan nilai parameter K yang sesuai dengan wilayah yang ditinjau. Beberapa tipe daerah juga harus didefinisikan terlebih dahulu pada peta digital. *Propagation model* untuk area urban (kota) jelas akan berbeda dengan suburban (pinggir kota), dan juga daerah rural (pedesaan)[8].

### 2.2.10 Drive Test

*Drive test* merupakan suatu kegiatan untuk mengetahui performansi riil yang dirasakan oleh pengguna (*user experience*) sebuah jaringan seluler di sisi *air interface* (MS menuju BTS maupun sebaliknya) menggunakan sebuah alat yang dinamakan *drive test tools*. Hasil dari *drive test* akan digunakan sebagai evaluasi jaringan yang telah ada untuk meningkatkan performansi dan pemeliharaan jaringan tersebut. Ada beberapa macam *drive test tools* antara lain TEMS Investigation, NEMO, GENEX Probe, dan lain-lain. Pendekatan yang digunakan adalah data hasil pengukuran yang terukur untuk melihat parameter sebuah jaringan atau penyebaran *signal level*. Dengan menggunakan *drive test tools* akan mempermudah dalam melakukan pekerjaan pengukuran sinyal. *Drive test tools* akan merekam semua aktifitas yang dilakukan oleh *handset (mobile phone)* dikarenakan *drive test tools* dapat di integrasikan langsung dengan laptop secara langsung dan tampilan yang dilihat akan semakin mudah. Berikut ini adalah proses untuk *drive test tools*[9]:

1. Pengukuran data dan *real-time troubleshooting*
2. Analisis
3. Pelaporan



**Gambar 2.8** Proses pada *Drive Test Tools*[9]

### 2.2.11 Reference Signal Received Power (RSRP)

*Reference signal received power* (RSRP) adalah power sinyal yang diterima dari eNodeB menuju ke UE. RSRP sama halnya dengan RSCP di teknologi UMTS maupun RxLevel di teknologi GSM. Semakin dekat *-serving cell* semakin baik kuat sinyal yang akan diterima oleh UE, dan sebaliknya apabila *-serving cell* semakin menjauh semakin buruk sinyal yang akan diterima. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya daya sinyal yang rendah:

1. Daya pemancaran
2. Tinggi Antena
3. Arah Antena
4. Lokasi eNodeB
5. *Hardware failure*

Perhitungan nilai RSRP dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

$$RSRP = RSSI - 10 \cdot \log(12 \cdot N) \quad (2.18)$$

Keterangan:

RSSI : Indikator kekuatan sinyal

N : Jumlah *resource block*

RSSI sangat bergantung pada *bandwidth* yang diukur. *Range key performance indicator* (KPI) untuk RSRP pada rentang -45 sampai dengan -144 dBm. Ketentuan baik atau buruknya RSRP pada suatu jaringan LTE dapat dilihat dari dari tabel 2.6.

**Tabel 2.6 Standar KPI untuk RSRP[10]**

Kategori	Range Nilai RSRP (dBm)
Excellent	$-80 \leq x$
Good	$-95 \leq x < -80$
Fair	$-110 \leq x < -95$
Poor	$X < -110$