

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Long Term Evolution (LTE) 4G

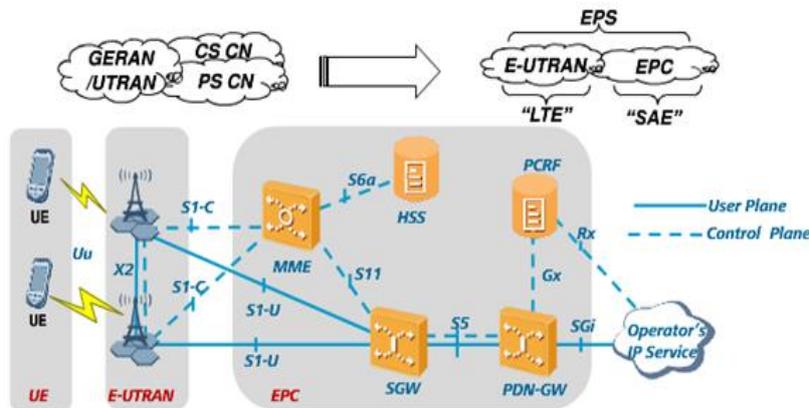
Long Term Evolution merupakan salah satu generasi pada bidang teknologi telekomunikasi seluler berkecepatan tinggi dengan standar yang telah diterapkan oleh 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) sebagai kelanjutan teknologi jaringan seluler 3G dan 3,5G. LTE merupakan evolusi dari jaringan seluler untuk teknologi dalam proyek 3GPP. Selain itu, LTE bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan pengiriman data, menggunakan spektrum yang tidak pernah digunakan sebelumnya, menyederhanakan arsitektur jaringan seluler, dan mengurangi biaya pengiriman data. Arsitektur jaringan yang lebih sederhana menyebabkan perangkat *node-node* yang terhubung pada jaringan LTE menjadi lebih sedikit dibandingkan generasi sebelumnya. Adapun keunggulan yang dimiliki LTE sebagai berikut:

1. Kecepatan transfer data hingga 100 Mbps *downlink* dan 50 Mbps *uplink*.
2. Ukuran *bandwidth* yang lebih besar dan freksibel, mulai dari 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz.
3. Latensi transfer daya yang lebih rendah ~10 ms.
4. Dapat melayani *user* yang bergerak dengan kecepatan hingga 500 km/h.
5. Arsitektur jaringan yang lebih sederhana.
6. Jangkauan *cell* yang lebih jauh hingga 100 km.

2.2 Arsitektur LTE

Arsitektur jaringan LTE dirancang untuk tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *Quality Of Service* (QOS), dan *latency* yang kecil. Pada arsitektur jaringan LTE dirancang sederhana mungkin, yaitu hanya terdiri dari dua *node* yaitu eNodeB dan *mobility management entity/ gateway* (MME/GW). Hal itu sangat berbeda dengan arsitektur jaringan teknologi GSM dan UMTS yang memiliki struktur lebih kompleks dengan adanya *radio network controller* (RNC). Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dengan hanya adanya *single node* pada jaringan akses adalah pengurangan *latency* dan distribusi beban proses RNC untuk beberapa eNodeB. *System Architecture Evolution* (SAE) dikenal sebagai arsitektur LTE yang menggambarkan suatu evolusi arsitektur dibanding dengan teknologi sebelumnya. Secara keseluruhan *Evolved Packet System* menjadi acuan teknologi

LTE. Di dalamnya terdapat tiga komponen penting yaitu *User Equipment* (UE), *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), dan *Evolved Packet Core* (EPC). Untuk lebih jelas dalam Arsitektur 4G LTE dapat dilihat dalam Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Arsitektur 4G LTE

Sumber: teknologi-4g-lte.blogspot.com

2.2.1 *User Equipment* (UE)

Berfungsi sebagai *device* yang digunakan *user* untuk mengirim dan menerima data, dapat berupa *handphone/smartphone*, *tablet*, *laptop*, dan lain sebagainya.

3.2.2 E-UTRAN

E-UTRAN adalah sistem arsitektur LTE yang memiliki fungsi menangani sisi radio akses dari UE ke jaringan *core*. Pada sistem tersebut terdapat satu komponen yakni *eNodeB* yang berfungsi menangani transmisi data dari dan kepada UE dan mengolah radio *resource* atau *bandwidth* yang digunakan dalam proses transmisi data ke UE.

3.2.3 EPC

Evolved Packet Core (EPC) adalah sistem baru dalam evolusi arsitektur komunikasi seluler yang mana pada bagian *core network* menggunakan *all-IP*. Selain berperan dalam memungkinkan pengenalan akan konten dan penyedia aplikasi, EPC terdiri dari MME (*Mobility Management Entity*), SGW (*Serving Gateway*), HSS (*Home Subscription Service*), PCRF (*Policy and Charging Rules Function*), dan PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*).

a. MEE

MEE (*Mobility Management Entity*) merupakan elemen kontrol utama yang terdapat pada EPC. Berfungsi mengatur pensinyalan radio, ketika UE berpindah posisi atau melakukan perpindahan *eNodeB*, mengidentifikasi status aktivitas UE, melacak

keberadaan UE, melakukan proses pendaftaran UE. Pengoperasian pada kontrol *plane* dan tidak data *user plane*.

b. HSS

HSS (*Home Subscription Service*) berfungsi menyimpan informasi yang berkaitan dengan UE sebagai pelanggan operator seluler, seperti nomer pelanggan dan langganan data, melakukan otorisasi dan autentikasi terhadap UE yang akan mengakses jaringan LTE.

c. SGW

SGW (*Serving Gateway*) berfungsi sebagai *router* yang meneruskan paket data ke UE, sebagai jembatan antara *eNodeB* dan PDN-GW. Peran S-GW bertanggung jawab pada sumbernya sendiri dan mengalokasikan berdasarkan permintaan MME, P-GW, ataupun PCRF, yang memerlukan *set-up*, memodifikasi atau penjelasan pada UE. Sedangkan fungsi P-GW sebagai mengatur keluar masuknya paket data dari dan ke jaringan yang berada di luar LTE (MS), menentukan peraturan atau perizinan paket data, melakukan penyaringan paket data, melakukan penyaringan paket data, pemotongan aliran paket.

d. PDN-GW

PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*) merupakan komponen penting pada LTE untuk melakukan terminasi dengan *Packet Data Network* (PDN). Adapun PDN GW mendukung *policy enforcement feature*, *packet filtering*, *charging support* pada LTE, trafik data dibawa oleh koneksi virtual yang disebut dengan *service data flows* (SDFs).

e. PCRF

PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) merupakan bagian dari arsitektur jaringan yang mengumpulkan informasi dari dan ke jaringan, sistem pendukung operasional, dan sumber lainnya seperti portal secara *real time*, yang mendukung pembentukan aturan dan kemudian secara otomatis membuat keputusan kebijakan untuk setiap pelanggan aktif di jaringan. Jaringan seperti ini mungkin menawarkan beberapa layanan, kualitas layanan (*Quality of services*). PCRF dapat menyediakan jaringan solusi *wireline* dan *wireless* dan juga dapat mengaktifkan pendekatan multidimensi yang membantu dalam menciptakan hal yang menguntungkan dan *platform* inovatif untuk operator.

2.3 *Drivetest*

Drivetest merupakan kegiatan mengumpulkan data pengukuran kualitas sinyal suatu jaringan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas suatu jaringan dan mengembangkan kapasitas jaringan. *Drivetest* bertujuan untuk mengukur kualitas sinyal dan memperbaiki segala masalah yang berhubungan dengan sinyal. Dalam pelaksanaan operator dan vendor pasti melakukan *drivetest*. Operator memerlukannya untuk mengoptimalkan kinerja jaringannya, dengan memperhatikan perubahan pada lingkungan infrastruktur. *Drivetest* memungkinkan operator untuk melakukan optimasi yang terus berjalan. Informasi aktual yang didapatkan berupa *Radio Frequency* (RF) di suatu *Base Transceiver Station* (BTS) maupun dalam ruang lingkup *Base Station System* (BSS).

Dalam proses pengukuran yang menggunakan metode *drivetest* membutuhkan perangkat-perangkat pendukung sebagai berikut:

1. Laptop sebagai alat monitor parameter hasil *drivetest* secara visual.
2. *Software Tems Discovery* 11.1.9 sebagai *software* analisis *logfile* dari hasil *drivetest*.
3. *Dongle* sebagai alat untuk menggantikan serial number agar dapat menggunakan *software Tems Discovery* 11.1.9.
4. *Tems Pocket* 13.3.1 sebagai alat untuk *Mobil Station* dan mengukur kekuatan sinyal yang diterima oleh *user*.

Pelanggan seluler dapat melihat kinerja layanan suatu jaringan berdasarkan cakupan jaringan, kualitas kecepatan data, dan kualitas panggilan. Adapun fungsi dari *drivetest* adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kondisi radio dalam suatu *eNodeB*.
2. Informasi level daya yang diterima, kualitas sinyal terima, mengetahui jarak antara *eNodeB* dan MS, dan *Throughput*.
3. Dengan adanya hasil pengukuran maka dapat diputuskan apakah keadaan suatu *eNodeB* masih layak atau perlu dilakukan suatu perbaikan.

Drivetest merupakan langkah penting dan berguna dalam proses optimalisasi jaringan untuk mendapatkan nilai-nilai performansi dari *mobile phone*. Perangkat *drivetest* menggunakan MS untuk mensimulasikan masalah yang dialami pelanggan ketika proses melakukan panggilan. Sistem *drivetest* melakukan pengukuran, menyimpan data di komputer, dan menampilkan data menurut waktu dan tempat.

2.4 Parameter *Drivetest* Jaringan 4G LTE

Terdapat beberapa parameter yang dapat dijadikan referensi untuk dapat melihat performansi dari suatu jaringan 4G LTE melalui *drivetest* adalah seperti: RSRP (*Reference Signal Received Power*), SINR (*Signal to interference and noise ratio*) dan *Throughput*.

2.4.1 *Reference Signal Received Power (RSRP)*

RSRP merupakan suatu nilai yang menunjukkan level kuat sinyal yang diterima oleh *mobile station* dari *base station* masing-masing *user* berbeda satu sama lain. Penyebabnya yaitu pengaruh redaman akibat rugi-rugi lintasan propagasi yang dialami oleh setiap *user* berbeda antara *user* satu dengan *user* yang lainnya, tergantung pada jarak masing-masing *user* dengan *base station*. Kuat sinyal penerimaan yang menyatakan besarnya daya pada satu kode yang diterima oleh UE (*User Equipment*). Nilai RSRP (*Reference Signal Received Power*) yang digunakan seperti dalam Tabel 2.1:

Tabel 2.1 *Range Nilai RSRP (dBm)*

Kualitas	<i>Range</i>
Sangat baik	Bernilai $> -80\text{dBm}$
Baik	Bernilai $\geq -95 \text{ s/d } < -80 \text{ dBm}$
Sedang	Bernilai $\geq -100 \text{ s/d } < -95 \text{ dBm}$
Buruk	Bernilai $\geq -110 \text{ s/d } < -100 \text{ dBm}$
Sangat Buruk	Bernilai $< -110\text{dBm}$

Sumber: *Tems Investigation User Manual*

2.4.2 *Signal to Interference Noise Ratio (SINR)*

SINR (*Signal to Interference and Noise Ratio*) adalah level daya minimum (*threshold*) dimana MS masih bisa melakukan suatu panggilan. SINR dapat menunjukkan rasio perbandingan antara energi yang dihasilkan dari sinyal pilot dengan total interferensi yang diterima. Biasanya nilai SINR menentukan kapan MS harus melakukan *handoff*. Selain itu nilai SINR dapat digunakan sebagai ukuran performansi hubungan antara *mobile station* dan *base station*, maka perlu ditentukan nilai SINR minimum untuk performansi sistem yang memadai. Nilai SINR berfungsi sebagai penanda kualitas sinyal suatu jaringan, yang mana hasil pengukuran SINR dapat digunakan untuk memperlihatkan sebuah gambar bagaimana cakupan bagus yang disediakan dari *site-site* BS dan seberapa besar interferensi yang

dihasilkan. Nilai SINR ideal yang digunakan oleh *provider* adalah diatas 7 dB. Nilai SINR yang digunakan seperti Tabel 2.2:

Tabel 2.2 *Range Nilai SINR (dB)*

Kualitas	<i>Range</i>
Sangat baik	Bernilai > 20 dB
Baik	Bernilai ≥ 10 s/d < 20 dB
Sedang	Bernilai ≥ 0 s/d < 10 dB
Buruk	Bernilai < 0 dB

Sumber: *Tems Investigation User Manual*

2.4.3 *Throughput*

Throughput adalah jumlah bit yang diterima dengan sukses perdetik melalui sebuah sistem atau media komunikasi dalam selang waktu pengamatan tertentu. *Throughput* biasa disebut sebuah indikator kualitas akses data dalam keadaan terhubung (*connected mode*). Yang mana semakin besar nilai *Throughput*, maka semakin baik kualitas akses data. Standar nilai *Throughput* sesuai pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3 *Range Nilai Throughput*

Kualitas	<i>Range</i>
Sangat baik	Bernilai > 1800000 bps
Baik	Bernilai ≥ 1200000 s/d < 1800000 bps
Sedang	Bernilai ≥ 800000 s/d < 1200000 bps
Buruk	Bernilai ≥ 400000 s/d < 800000 bps
Sangat Buruk	Bernilai ≥ 153000 s/d < 400000 bps
Kurang Sekali	Bernilai ≥ 0 s/d < 153000 bps

Sumber: *Tems Investigation User Manual*

2.5 *Tems Pocket*

Tems Pocket adalah alat uji berbasis telepon yang dikembangkan untuk mengukur parameter kinerja dan kualitas jaringan nirkabel. Alat ini mengumpulkan data pengukuran dan acara untuk pemantauan segera atau untuk diproses oleh *Tems Discovery* atau alat lainnya di lain waktu.

Keunggulan dari *Tems Pocket* yaitu kemampuan dalam ruangan yang ditingkatkan, yang secara dramatis menyederhanakan pengumpulan data. Ini menyelesaikan posisi lokasi dari

perangkat *Tems Pocket*, yang menggantikan teknik terdahulu. Ini menawarkan akurasi yang lebih baik dan sederhana, yang mana dengan memulai dan menjalankannya, menghilangkan ketergantungan pada sinyal eksternal.



Gambar 2.2 Mobile Phone sebagai alat drivetest

Sumber: www.tems.com

Tems Pocket menggunakan beberapa perangkat pendukung, yaitu: Samsung Galaxy S4 sebagai *Mobile Station* (MS), SIM Card 4G, *Tems Discovery* dan *dongle* yang berfungsi sebagai lisensi agar *Tems Discovery* dapat aktif dan bekerja.

2.6 Tems Discovery

Tems Discovery merupakan sebuah *software* untuk analisis dalam pengoptimalan jaringan nirkabel. Dalam rancangan Ascom alat ini berfungsi untuk optimasi jaringan, *troubleshooting* dan digunakan untuk membandingkan dan verifikasi *Quality of Service*. Tampilan hasil dalam *Tems Discovery* dalam bentuk peta, diagram, waktu, pesan, ringkasan masalah, dan histogram. Selain itu *Tems Discovery* mampu mengolah data untuk *Tems Investigation* maupun *Tems Pocket*, dan mampu melakukan analisis untuk beragam teknologi, seperti LTE, TD-SDMA, WiMAX, WCDMA/HSDPA, GSM/GPRS/EDGE.



Gambar 2.3 Laptop Ter-install Tems Discovery

Sumber: www.tems.com

2.7 Teknologi Video Streaming

Streaming adalah proses pengiriman file dari *server* ke *client* secara terus menerus yang dilakukan secara *broadcast* melalui jaringan komputer atau jaringan internet untuk ditampilkan oleh aplikasi *streaming* pada perangkat *client*. Paket-paket data yang dikirimkan telah dikomperasikan untuk memudahkan pengirimannya.

Sedangkan sudut pandang *user*, *streaming* adalah teknologi yang memungkinkan suatu *file* dapat segera dijalankan tanpa harus menunggu selesai pada *download* seluruhnya dan terus mengalir tanpa ada interupsi. *File* yang dapat di transmisikan oleh *video streaming* adalah *file audio*, *video*, *image*, *text* data 3D, *software* dan sebagainya. Tetapi *streaming* lebih mengacu kepada *time based* media, khususnya *audio* dan *video*, yang harus dinikmati sesegera mungkin dan berdasarkan pada pewaktuan yang tepat, karena untuk dapat menikmati lagu atau *video*, harusnya dimainkan secara berurutan dari awal hingga akhir tanpa terputus-putus.

Ada dua tipe *streaming*, yaitu:

1. Live Streaming

Media yang di-*playback* yang di *capture* secara langsung dari kamera melalui jaringan internet atau *online*.

2. Real-time streaming

Media yang di-*playback* yang diambil atau di-*download* dari file *audio/video* yang tersimpan di *server* (*on-demand*).

2.8 Parameter-parameter Performansi Aplikasi Video Streaming

Parameter-parameter performansi pada jaringan 4G LTE antara lain *packet loss streaming*, *delay end to end* dan *Throughput*. Untuk mendapatkan nilai *packet loss video streaming* diperlukan perhitungan rugi-rugi propagasi, RSRP (*Reference Signal Received Power*), *Energy bit per noise* dan probabilitas *bit error*.

2.8.1 Reference Signal Received Power (RSRP)

RSRP didefinisikan sebagai rata-rata linier daya yang dibagikan pada *resource elements* yang membawa informasi *reference signal* dalam rentang frekuensi *bandwidth* yang digunakan. Fungsinya sendiri yaitu untuk memberikan informasi ke UE mengenai kuat sinyal pada satu sel berdasarkan perhitungan *path loss* dan mempunyai peranan penting dalam proses *handover* dan *cell selection-reselection*. RSRP dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$RSRP = RSSI \text{ (dBm)} - 10 \log(12^N) \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan :

RSRP = daya terima sinyal referensi (dBm)

RSSI = daya sinyal yang diterima *user* dalam rentang frekuensi tertentu termasuk *noise* dan interferensi (dBm)

N = jumlah *Resource Block* yang digunakan

2.8.2 Signal to Interface Noise Ratio (SINR)

SINR tidak didefinisikan pada standar spesifikasi 3GPP. Parameter SINR justru sering digunakan oleh vendor atau operator dalam menentukan relasi antara kondisi akses radio frekuensi dengan *throughput* yang diterima oleh user. SINR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SINR = \frac{S}{1+N} \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan:

S = Menunjukkan kekuatan sinyal yang diukur

I = Menunjukkan gangguan daya rata-rata

N = *Noise*

2.8.3 Throughput

Throughput merupakan ukuran seberapa cepat data dapat melewati suatu *entity* seperti *node* atau jaringan. *Throughput* digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu total transmisi yang dibutuhkan dari sumber data ke

penerima. Pengiriman data pada jaringan *packet switching* antara 2 stasiun yang melalui beberapa lapisan protokol mempunyai batas kemampuan kapasitas yang bisa dikeluarkan oleh jaringan tersebut. Pada pengujian lapangan *throughput* didefinisikan sebagai jumlah paket yang diterima di sisi penerima yang diterima dengan benar tiap satuan waktu. *Throughput* yang didapat dengan memperhitungkan probabilitas *packet loss* (ρ) dan diasumsikan bahwa kondisi saturasi (selalu ada *frame* yang menunggu untuk ditransmisikan) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Jumlah RB} = \frac{\text{Jumlah Bandwidth yang terpakai}}{\text{bandwidth 1 RB}} \dots\dots\dots (2-3)$$

Dengan rumus yang sama, kita cari jumlah RB pada semua konfigurasi bandwidth, yang mana menggunakan 9 MHz maka jumlah RB sebesar 50. Setelah mengetahui nilai RB pada masing-masing konfigurasi bandwidth, kita dapat menghitung *throughput* 4G LTE dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Jumlah bit}}{\text{Waktu interval}} = \frac{\text{Jumlah RB} \times 84 \times \text{faktor modulasi}}{0.5\text{ms}} \dots\dots\dots (2-4)$$

angka 84 berasal dari jumlah RE dalam 1 RB, sedangkan besar dari faktor modulasi bermacam-macam bergantung dari modulasi yang dipakai.

2.9 Menghitung *Link Budget*

Link budget adalah sebuah nilai atau besaran yang didapat dari hasil penjumlahan dan pengurangan semua *gain* dan *loss* antara pengirim dan penerima, atenuasi, *gain* antena dan *loss* lainnya yang dapat terjadi saat proses transmisi radio. Hasil dari perhitungan *link budget* ini adalah nilai *pathloss* yang selanjutnya akan menjadi input dari perhitungan *coverage area*. *Link budget* adalah pusat dari perancangan eNodeB, karena hasil perhitungannya akan menghasilkan *coverage area*. Dengan mengetahui *coverage area* kita dapat memperkirakan berapa eNodeB yang dibutuhkan dengan memperkirakan kapasitas kanal pada setiap eNodeB (Syed & others, 2009).

Tabel 2.4 *Link budget LTE*

Parameter	LTE
<i>Max Power Tx</i>	46 dBm
<i>Tx Antena Gain</i>	18 dBi
<i>Cable loss</i>	2 dB
<i>EIRP</i>	62 dBm

<i>UE Noise Figure</i>	7 dB
<i>Thermal Noise</i>	-104,5 dBm
<i>Receiver Noise Floor</i>	-97,5 dBm
<i>SINR</i>	-10 dB
<i>Receiver Sensitivity</i>	-107,5 dBm
<i>Rx Antenna Gain</i>	0 dB
<i>Body Loss</i>	0 dB
<i>Interference Margin</i>	3 dB

Sumber : Holma Harry & A. Toskala, 2009

2.10 Menghitung Coverage Area

Pada sistem komunikasi bergerak, *coverage area* merupakan hal yang didasarkan pada model propagasi. Morfologi area yang berbeda akan membedakan model propagasinya juga. *Coverage area* merupakan batas yang dapat dijangkau oleh antena BTS dimana *user* dapat menggunakan layanan ini. Berikut ini model propagasi yang sering digunakan untuk menentukan *coverage area* suatu BTS.

2.10.1 Model Okumura-Hata

Diantara banyak metode model propagasi untuk komunikasi bergerak, Okumura-Hata menjadi metode paling komprehensif untuk daerah urban dan padat. Berdasarkan hasil yang ada, banyak kurva yang sangat berguna untuk menghitung nilai median dari kekuatan sinyal terima berdasarkan data yang dikumpulkan di kota Tokyo. Kota Tokyo kemudian digunakan sebagai prediktor dasar untuk daerah urban. Berdasarkan kurva perhitungan Okumura-Hata, rumus *empiris median pathloss* (L_p) antara dua antena isotropis diperoleh dari Hata yang dikenal dengan sebutan Formula *Empiris Pathloss* Hata (Hashmi & Faruque, 2013). Berikut perhitungan *pathloss* berdasarkan morfologi area :

a. Daerah Dense Urban

$$L_p = C_1 + C_2 \log(f) + 13.82 \log h_b - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log h_b] \log(r) + C_0 \dots (2-5)$$

dimana :

$$L_p = \text{pathloss (dB)}$$

$$f = \text{frekuensi (MHz)}$$

h_b = tinggi antena *Base Station* (BS) (m)

h_m = tinggi antena *Mobile Statio* (MS) (m)

d = jarak BS ke MS (m)

C_0 = 3 dB

C_1 = 69.55 untuk $150 \leq f \leq 1000 \text{ MHz}$; 46.3 untuk $1500 \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$

C_2 = 26.16 untuk $150 \leq f \leq 1000 \text{ MHz}$; 33.9 untuk $1500 \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$

$a(h_m)$ = faktor kolerasi ketinggian antena MS (m)

$$a(h_m) = 3.2 [\log 11.75h_m]^2 - 4.97$$

Daerah Urban

$$L_P = C_1 + C_2 \log(f) + 13.82 \log h_b - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log h_b] \log(r) \dots\dots\dots (2-6)$$

dimana :

$$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] h_m - [1.56 \log(f) - 0.8]$$

b. Daerah Sub Urban

$$L_{P(suburban)} = L_{P(urban)} - 2 [\log \left(\frac{f}{28}\right)]^2 - 5,4 \dots\dots\dots (2-7)$$

c. Daerah Rural

$$L_{P(rural)} = L_{P(urban)} - 4,78 [\log(f)]^2 + 18,33 \log(f) - 5,4 \dots\dots\dots (2-8)$$

2.10.2 Model Walfich Ikegami

Model propagasi Walfich Ikegami atau disebut juga dengan COST-231 adalah kombinasi antara model empiris dan semideterministik untuk estimasi *mean pathloss* pada daerah urban.

Model propagasi ini cukup baik untuk estimasi *pathloss* dengan frekuensi operasi 800 – 2000 MHz dan jarak tempuh 0.02–5 km. Pada aplikasinya dapat digunakan pada sistem GSM dan CDMA jika ingin memasukkan unsur tambahan tinggi gedung rata-rata, separasi antar gedung lebar jalan, sudut kedatangan sinyal terhadap jalan. Berikut perhitungan nilai *Line of Sight* dengan model propagasi Walfich Ikegami ditunjukkan dalam Persamaan (2-9).

$$L_{LOS} = L_{fsl} + 6 \log(50 \times r) \dots\dots\dots (2-9)$$

dimana :

$$L_{fsl} = \text{free space loss (dB)}$$

$$L_{fsl} = L_{fsl} = 32,4 + 20 \log(r_{km}) + 20 \log(f_{MHz})$$

r = jarak (km)

f = frekuensi (MHz)

Sehingga,

$$L_{LOS} = 32,4 + 20 \log(r) + 20 \log(f) + L_{fsl} + 6 \log(50 \times r) \dots \dots \dots (2-10)$$

2.11 Key Performance Indikator (KPI)

Key Performance Indikator (KPI) digunakan sebagai target pencapaian yang digunakan oleh perusahaan ataupun operator jaringan. Maka dari itu semua perusahaan atau operator harus memenuhi target yang sudah ditetapkan oleh KPI guna mendapatkan performansi yang maksimal dibutuhkan oleh *user*. Berikut parameter nilai *Key Performance Indikator* (KPI) yang di tunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 *Key Performance Indikator*

Parameter	RSRP (dBm)	SINR (dB)	Throughput (Mbps)
Sangat Baik	-80	20, Max	20 s/d 26.8
Baik	-95 s/d < -80	10 s/d < 20	15 s/d 20
Sedang	-100 s/d < -95	0 s/d < 10	10 s/d 15
Buruk	-110 s/d < -100	Min, 0	5 s/d 10
Sangat Buruk	< -110		< 5

Sumber : Telkomsel