

BAB II

DASAR TEORI

2.1. *LONG TERM EVOLUTION (LTE)*

Long Term Evolution (LTE) adalah sebuah teknologi komunikasi *wireless* data berkecepatan tinggi untuk ponsel dan terminal data. Standar ini dikembangkan oleh 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), sebuah organisasi penerbit standar untuk teknologi GSM. LTE dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan jaringan HSPA. Tujuan dari LTE adalah untuk menyediakan *mobile broadband wireless access* yang mendukung *handover* dengan kecepatan tinggi.

Beberapa persyaratan LTE yang ditetapkan oleh 3GPP adalah sebagai berikut:

1. Pesat data puncak *downlink* mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gps saat bergerak pelan atau diam. Sementara itu, untuk *uplink* pesat data puncak adalah 50 Mbps.
2. Tunda sistem berkurang hingga 10 ms.
3. Efisiensi spektrum meningkat 2 hingga 4 kali lipat dari teknologi 3,5 G *High Speed Packet Access (HSPA) Release-6*.

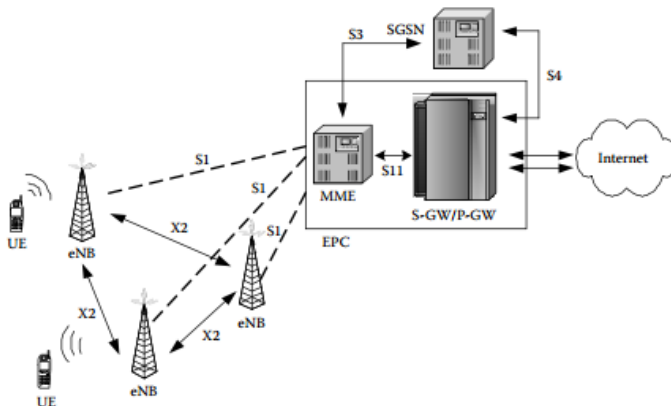
4. Migrasi sistem yang hemat biaya dari HSPA Release-6 ke LTE.
5. Meningkatkan layanan *broadcast*.
6. Menggunakan penyambungan *Packet Swich* (PS) sehingga memungkinkan sistem mengadopsi IP secara menyeluruh.
7. *Bandwidth* yang fleksibel, mulai dari 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz hingga 20 MHz.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

2.2. ARSITEKTUR JARINGAN DAN TEKNOLOGI PENDUKUNG LTE

Arsitektur jaringan LTE memiliki struktur jaringan yang dirancang sesederhana mungkin dengan tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *quality of service* (QoS), dan waktu tempuh (*latency*) yang kecil. Pendekatan *packet switching* ini memperbolehkan semua layanan termasuk layanan *voice* menggunakan koneksi paket (*voice over IP*).

Arsitektur jaringan LTE memiliki *access* sendiri yang bernama E-UTRAN (Envolved UMTS Terrestrial Radio Access) dan menggunakan eNode B untuk menghubungkannya dengan *user equipment* (UE). eNode B dapat dianalogikan sebagai *Base Transceiver Station* (BTS) pada jaringan GSM dan UMTS, namun *eNodeB* memiliki fungsi tambahan, yaitu melakukan fungsi RNC (*Radio Network Controller*) ataupun BSC (*Base Station Controller*) yang terdapat pada jaringan terdahulunya (GPRS/UMTS).

Perbandingan antara Node B dan eNode B dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Arsitektur jaringan LTE ^[13]

2.2.1 Bagian Akses Radio (LTE)

- a. *User* merupakan pengguna dari suatu layanan yang mengoperasikan perangkat komunikasi untuk berbagai kebutuhan sehari-hari.
- b. *User Equipment* (UE) merupakan perangkat komunikasi disisi *user* berupa *handphone*, *smartphone*, *tablet*, *laptop*, *komputer* atau apapun yang terhubung ke suatu jaringan selular. UE berisi *Universal Subscriber Identity Module* (USIM) yang merupakan aplikasi pada sebuah *smart card* yang digunakan untuk identifikasi dan autentifikasi kepada pengguna untuk melindungi proses transmisi *radio*. UE secara fungsional adalah sebuah media dasar untuk aplikasi komunikasi, dimana sinyal antar jaringan terbentuk, mengatur dan memindahkan data komunikasi ketika dibutuhkan oleh pengguna. Termasuk di dalamnya adalah fungsi *mobility* seperti *handover* dan pelaporan lokasi terminal. Proses tersebut dilakukan oleh UE sesuai yang diinstruksikan oleh jaringan, dan yang paling penting UE memberikan *interface* bagi pengguna sehingga aplikasi-aplikasi pada jaringan seperti *VoIP*, *Video Conference*, *Video*

Streaming, online gaming dan web browsing dapat dipakai.

Berikut tabel kategori UE yang mendukung layanan teknologi LTE:

Tabel 2.1 Kategori UE ^[1]

UE Category	Maximum number of DL-SCH transport <i>block</i> bits received within a TTI	Maximum number of bits of a DL-SCH transport <i>block</i> received within TTI	Total number of soft channel bits	Maximum number of supported layers for <i>spatial multiplexing</i> in DL
0	1000	1000	25344	1
1	10296	10296	250368	1
2	51024	51024	1237248	2
3	102048	75376	1237248	2
4	150752	75376	1827072	2
5	299552	149776	3667200	4
6	301504	149776 (4 layers) 75376 (2 layer)	3654144	2 or 4
7	301504	149776 (4 layers) 75376 (2 layer)	3654144	2 or 4
8	2998560	299856	35982720	8
9	452256	149776 (4 layers) 75376 (2 layer)	5481216	2 or 4
10	452256	149776 (4 layers) 75376 (2 layer)	5481216	2 or 4

c. *Evolved Node B* atau eNode B. Merupakan pengembangan dari teknologi Node B. Pada teknologi sebelumnya Node B dan RNC masih terpisah menjadi elemen tersendiri. Berbeda

dengan sistem LTE E-UTRAN, fungsi Node B dan RNC secara fisik telah menjadi satu dalam sebuah BTS. eNode B ini lah yang menangani sisi *radio access* dari UE ke jaringan *core*. eNode B juga memiliki fungsi *network control* yang memungkinkan eNode B yang satu dapat berkomunikasi dengan eNode B lainnya secara langsung. Dengan adanya fungsi tersebut, arsitektur jaringan LTE akan menjadi lebih efisien dan efektif mengurangi tingkat *latency*. Dengan fungsi tersebut juga memungkinkan proses *handover* yang lebih cepat karena proses pertukaran informasi yang dibutuhkan pada saat *handover* menjadi lebih cepat.

2.2.2 Bagian Sentral (SAE)

- a. *Serving Gateway* (S-GW) bertugas mengatur jalan dan meneruskan data yang berupa paket dari setiap UE. S-GW bersama dengan SGSN juga berfungsi sebagai penghubung antara LTE dengan teknologi 3GPP lainnya seperti GSM/EDGE *Radio Access Network* (GERAN) dan UMTS *Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN)

- b. *Packet Data Network Gateway (P-Gateway)* bertugas mengatur hubungan jaringan data antara UE dengan jaringan paket data lain diluar 3GPP seperti WLAN, Wimax, CDMA 2001x dan EVDO.
- c. *Mobility Management Entity (MME)* merupakan pengatur utama setiap bagian dari LTE/SAE. Pada saat UE tidak aktif, MME bertugas untuk senantiasa melacak keberadaan pelanggan dengan melakukan *tracking* dan *paging*. Saat UE aktif, MME bertugas memulihkan S-GW yang tepat selama berlangsungnya komunikasi.
- d. *Policy and Charging Rules Function (PCRF)* berfungsi menentukan *Quality of Service (QoS)* dan *charging* untuk masing-masing UE.
- e. *Home Subscriber Server (HSS)* berupa sistem *database* yang bertugas untuk membantu MME dalam melakukan manajemen pelanggan dan pengamanan. Penerimaan atau penolakan UE pada saat autentikasi bergantung pada *database* HSS.^[1]

2.2.3 eNodeB adalah singkatan dari evolved NodeB, merupakan pengembangan dari teknologi NodeB yang digunakan pada sistem 3G UMTS. eNodeB

memiliki fungsi lebih baik dibanding NodeB dimana fungsi RNC pada teknologi 3G sudah menjadi satu kedalam sebuah eNodeB sehingga proses *mobility management* menjadi lebih *simple* dan cepat serta mampu menekan angka *latency*.

Pada komunikasi paket data dikenal adanya *frame* untuk mengelompokkan dan memetakan aliran data pada kanal fisik. *Frame* pada LTE memiliki durasi sepanjang 10 ms. *Frame* tersebut dipecah menjadi sepuluh *sub frame* (SF) yang memiliki panjang 1 ms. Setiap *sub frame* terdiri atas dua slot yang disebut juga sebagai *Resource Block*. Jumlah *resource block* yang tersedia bergantung pada jumlah *bandwidth* ^[14].

Tabel 2.2 Jumlah *Resource Block* LTE Untuk Setiap *Bandwidth* ^[1]

<i>Bandwidth</i> Tersedia	Jumlah <i>Resource</i> <i>Block</i> (Nrb)	Jumlah <i>Sub-</i> <i>Carrier</i>	<i>Bandwidth</i> Okupasi	<i>Bandwidth</i> Efisiensi
1,4 MHz	6	72	1,08 MHz	77,1%
3 MHz	15	180	2,7 MHz	90%
5 MHz	25	300	4,5 MHz	90%
10 MHz	50	600	9 MHz	90%
15 MHz	75	900	13,5 MHz	90%
20 MHz	100	12000	18 MHz	90%

2.3. PARAMETER PADA SISTEM JARINGAN LTE

Pada jaringan LTE terdapat beberapa parameter-parameter yang digunakan untuk mengukur KPI (*Key Performance Indicator*) sebagai acuan baik atau buruknya kualitas suatu jaringan.

2.3.1 RSRP, merupakan kuat sinyal yang diterima *User Equipment* (UE) pada teknologi LTE disebut dengan *Reference Signal Received Power* (RSRP). Nilai *Reference Signal Received Power* (RSRP) yang merupakan *power* sinyal *reference* yang digunakan untuk menunjukkan bagus tidaknya *coverage* jaringan pada suatu daerah. Berikut rentang nilai RSRP yang digunakan oleh suatu operator^[14].

Tabel 2.3 Rentang Nilai RSRP

Nilai	Keterangan
≥ -71 dBm	<i>Very Good</i>
< -71 dBm to ≤ -81 dBm	<i>Good</i>
< -81 dBm to ≤ -91 dBm	<i>Normal</i>
< -91 dBm to ≤ -101 dBm	<i>Bad</i>
< -101 dBm	<i>Worst</i>

2.3.2 SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*) merupakan perbandingan kuat sinyal dibanding dengan sinyal interferensi dari *resource* yang lain. Parameter ini menunjukkan level daya minimum

dimana *user* masih bisa melakukan suatu panggilan. Dimana pada teknologi 2G dianalogikan seperti *RxQual*, dan pada teknologi 3G dianalogikan sebagai *EcNo*, sedangkan pada teknologi 4G dikenal dengan *SINR*. Berikut contoh *range SINR* yang digunakan oleh suatu operator.

Tabel 2.4 Rentang Nilai *SINR*^[14].

Nilai	Keterangan
16 dB s/d 30 dB	<i>Good</i>
1 dB s/d 15 dB	<i>Normal</i>
-10 dB s/d 0 dBm	<i>Bad</i>

2.3.3 *Radio Bearer*, merupakan parameter yang mewakili nilai *CQI Index*. *CQI Index* sendiri merupakan parameter yang menunjukkan jenis modulasi yang digunakan pada sistem jaringan LTE. Berikut rentang *CQI* yang pada sistem LTE.

Tabel 2.5 Rentang nilai *radio bearer* atau *CQI*^[1]

<i>CQI Index</i>	Modulasi
0	<i>out of range</i>
1	QPSK
2	QPSK
3	QPSK
4	QPSK
5	QPSK
6	QPSK
7	16QAM
8	16QAM
9	16QAM

CQI Index	Modulasi
10	64QAM
11	64QAM
12	64QAM
13	64QAM
14	64QAM
15	64QAM

2.3.4 *Throughput*, merupakan besaran kecepatan akses data yang dapat diakses oleh *user*. Berikut adalah range *Throughput* yang digunakan pada penelitian ini.

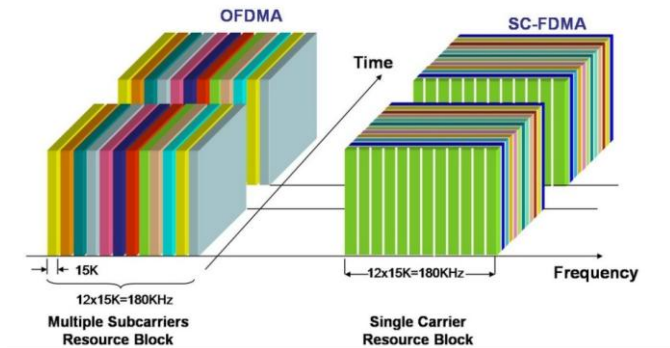
Tabel 2.6 Rentang Nilai *Throughput*

<i>Throughput</i>
112,5 Mbps - 150 Mbps
100 Mbps - 112,5 Mbps
87,5 Mbps - 100 Mbps
75 Mbps - 87,5 Mbps
62,5 Mbps - 75 Mbps
50 Mbps - 62,5 Mbps
37 Mbps - 50 Mbps
25 Mbps - 37 Mbps
12 Mbps - 25 Mbps
0 Mbps – 12,5 Mbps

2.4. MULTIPLE ACCESS

Multiple Acces adalah suatu teknik yang memungkinkan suatu titik (*Base Station*) untuk dapat diakses oleh beberapa titik yang saling berjauhan

(Subscriber Station) dengan tidak saling mengganggu. LTE menerapkan teknik *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) untuk *downlink* sedangkan untuk *uplink* menggunakan *Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access* (SC-FDMA). Perbedaan OFDMA dan SC-FDMA dapat dilihat pada gambar berikut:



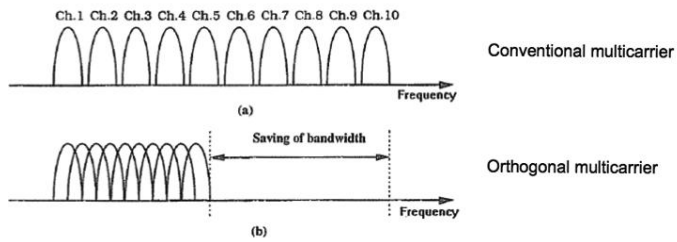
Gambar 2.2 Perbandingan OFDMA dan SC-FDMA ^[1]

2.4.1 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

OFDMA merupakan sistem komunikasi *wireless* dengan skema akses *jamak* yang memungkinkan banyak pengguna berbagi dalam *bandwidth* yang sama. Prinsip OFDMA berasal dari teknik FDMA yang mana memiliki prinsip *multicarrier* sehingga setiap *user* menggunakan

carrier yang berbeda-beda dengan ukuran *bandwidth* yang sama. pada penggunaan *multicarrier*, data dibagi pada *subcarrier* yang berda dalam satu *Transmitter* dan mentransmisikannya secara paralel.

Perbandingan FDMA dan OFDMA dapat dilihat pada gambar berikut:



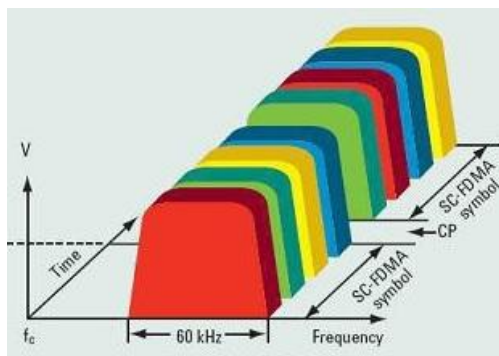
Gambar 2.3 Perbandingan FDMA dan OFDMA ^[4]

Sinyal keluaran dari *transmitter* berupa sinyal yang saling *overlapping*. Hal seperti ini dapat menghemat *bandwidth* kanal sampai 50%. kondisi *overlapping* ini tidak akan menimbulkan interferensi di karenakan telah memenuhi kondisi *orthogonal*.

2.4.2 SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*)

SC-FDMA merupakan sistem komunikasi *wireless* dengan skema pengguna jamak dari modulasi *Single Carrier* dengan *Frequency Domain*

Equalization (SC/FDE). Teknik ini dapat pula dikatakan sebagai pengembangan dari OFDMA yang telah ada sebelumnya. Ilustrasi SC-FDMA dapat dilihat pada gambar 2.4:



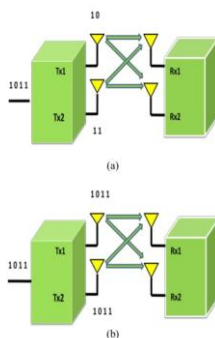
Gambar 2.4 SC-FDMA [4]

SC-FDMA mempunyai struktur dan performa yang mirip dengan OFDM, hanya saja pada teknik ini terdapat penambahan proses DFT (*Discrete Fourier Transform*) pada *transmitter* dan IDFT (*Invers Discrete Fourier Transform*) pada *receiver*. Berbeda dengan OFDMA, SC-FDMA ini setiap simbol data disebar di beberapa *subcarrier*, sehingga disebut juga DFT-*spread* OFDM. Karena bentuk sinyal yang dihasilkan mirip dengan bentuk FDMA maka sistem *multiple access* ini disebut SC-FDMA.

DFT digunakan pada SC-FDMA untuk mentransformasi simbol data dalam domain waktu ditransformasi ke domain frekuensi ortogonalitas dari *user*nya, yaitu setiap *user* ditempatkan pada subcarrier yang berbedadalam domain frekuensi.

2.5. MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

Teknologi LTE menggunakan MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yang merupakan teknologi multi antenna yang terdapat pada pengirim dan penerima. MIMO berfungsi untuk menanggulangi efek negatif dari multipath fading. Teknologi MIMO dapat menghasilkan frekuensi yang lebih efisien yaitu dengan mengirimkan informasi yang sama dari dua atau lebih pemancar ke penerima, sehingga mengurangi kemungkinan informasi yang hilang dibanding dengan menggunakan pemancar tunggal.



Gambar 2.5 Konfigurasi MIMO: *spatial multiplexing* (a) dan *transmit diversity* (b)^[16]

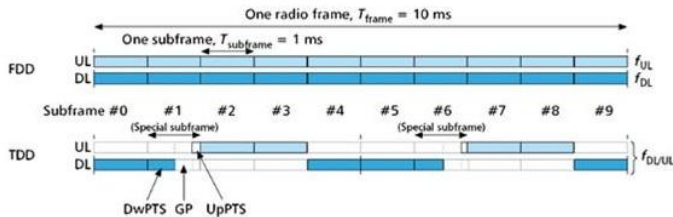
Pada umumnya teknik MIMO terdiri atas teknik *spatial multiplexing* dan *transmit diversity* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Teknik *spatial multiplexing* mengirim dua data yang berbeda pada masing-masing antenna pemancar seperti ditunjukkan pada gambar 2.7(a), sedangkan teknik *transmit diversity* mengirim dua data yang sama pada masing-masing antenna pemancar seperti pada gambar 2.7(b). masing-masing teknik ini memiliki keuntungan tersendiri tergantung dari skenario yang ada. Misalnya, pada beban jaringan yang tinggi atau pada tepi sel lebih cocok menggunakan teknik *transmit diversity*. Dan pada kondisi sel kecil dengan kondisi SNR tinggi, *special multiplexing* lebih baik digunakan untuk memberikan *bit rate* yang tinggi.

2.6. SKEMA DUPLEX

Duplexing adalah suatu proses komunikasi dua arah pada suatu kanal komunikasi. Terdapat dua jenis *duplex*, yaitu *half duplex* dan *full duplex*. Pada *half duplex*, dua sisi yang saling berkomunikasi saling bergantian untuk mengirimkan sinyal informasi dalam satu kanal. Sedangkan pada *full duplex* terjadi dua komunikasi dua arah secara simultan. Dua stasiun yang berkomunikasi pada waktu yang sama, seperti pada saluran telepon dan

resource phone. terdapat dua bentuk utama *full duplex*, yaitu *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD).

Berikut skema perbandingan FDD dan TDD:



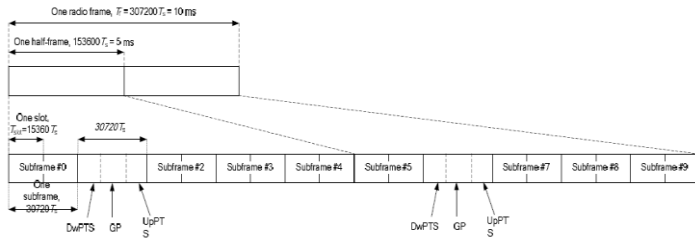
Gambar 2.6 Perbandingan FDD dengan TDD ^[1]

2.6.1 Time Division Duplexing (TDD)

sistem TDD menggunakan satu *band* frekuensi untuk *uplink* dan *downlink*, dimana setiap kanal terdiri dari *subframe uplink* dan *subframe downlink*. Sistem TDD menggunakan *guard interval* antara transisi yang terjadi dari *downlink* ke *uplink* maupun dari *uplink* ke *downlink*. Guard interval ini disebut *transmit/receive transition gap* (TGG) dan *receive/transmit transition gap* (RTG).

Guard interval dibutuhkan antar *subframe* initik mencegah terjadinya *overlapping* antar *subframe* atau interferensi antara satu dan yang lainnya. Interval ini biasanya berbanding lurus dengan *send-receive turn around time* (waktu

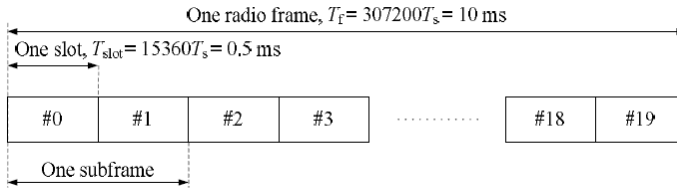
switching transmit-recvie) dan delay transmisi lain. Semakin jauh jarak transmisi dan semakin lama waktu propogasi yang terjadi maka dibutuhkan guardinterval yang lebih besar.



Gambar 2.7 TDD pada LTE, *frame structure type 2*

2.6.2 Frequency Division Duplexing (FDD)

sistem FDD menggunakan 2 frekuensi berbeda untuk transmisi *uplink* dan *downlink*. LTE dengan metode FDD akan menghasilkan *throughput* jaringan sama besar antara *uplink* dan *downlink*. Hal tersebut dikarenakan *resource* yang digunakan pada sisi *uplink* dan *downlink* sama besar. LTE FDD cocok digunakan untuk layanan trafik dengan *bit rate* yang konstan karena mampu melayani *uplink* dan *downlink* secara simultan.



Gambar 2.8 FDD pada LTE, *frame structure type 1*^[1]

2.7. TEKNIK MODULASI ADAPTIF *CODING*

AMC terdiri dari skema modulasi dan jenis *coding*. Skema modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16QAM, dan 64 QAM dan dipilih berdasarkan SINR (*Signal to Interference and Noise Ratio*) yang diterima. Sedangkan jenis *coding* dapat dipilih untuk modulasi yang ditentukan tergantung pada kondisi radio. *Coding rate* yang lebih rendah dapat digunakan dalam kondisi saluran yang buruk dan *coding* yang lebih tinggi dalam kasus SINR tinggi. Jenis modulasi yang digunakan dilihat dalam tabel CQI index berikut:

Tabel 2.7 CQI Index ^[1]

CQI Index	Modulasi	Code rate x 1024	Bit / Resource Element
0	<i>out of range</i>		
1	QPSK	78	0,152
2	QPSK	120	0,234
3	QPSK	193	0,377
4	QPSK	308	0,602

CQI Index	Modulasi	Code rate x 1024	Bit / Resource Element
5	QPSK	449	0,877
6	QPSK	602	1,176
7	16QAM	378	1,477
8	16QAM	490	1,914
9	16QAM	616	2,406
10	64QAM	466	2,731
11	64QAM	567	3,322
12	64QAM	666	3,902
13	64QAM	772	4,523
14	64QAM	873	5,115
15	64QAM	948	5,555

sistem modulasi adaptif melakukan perubahan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link radio* saat itu. Ketika kondisi *link* baik modulasi 64-QAM akan dipilih untuk digunakan dari pada modulasi QPSK karena memiliki *bit rate* lebih cepat. Semakin dekat daerah layanan dengan antena pengirim, maka digunakan modulasi dengan level tinggi sehingga digunakan *bit rate* yang lebih tinggi.

2.8. FREKUENSI REUSE

Frekuensi reuse adalah penggunaan ulang sebuah frekuensi pada satu sel, dimana frekuensi tersebut sebelumnya sudah digunakan pada satu atau beberapa sel lainnya. Terbatasnya spektrum frekuensi yang dapat

digunakan pada sistem komunikasi bergerak menyebabkan penggunaan spektrum frekuensi tersebut harus seefisien mungkin. Jarak antara 2 sel yang menggunakan frekuensi yang sama ini akan harus dialur sedemikian rupa sehingga tidak akan mengakibatkan interferensi.

Dalam penggunaan kembali kanal frekuensi diusahakan agar daya pemancar masing-masing *base station* tidak terlalu besar, hal ini untuk menghindari adanya interferensi akibat pemakaian kanal yang sama (*Co-Channel Interference*) dan untuk menghindari interferensi akibat adanya penggunaan kanal yang berdekatan (*Adjacent Channel Interference*).

2.9. PROPAGASI

Propagasi adalah rambatan gelombang microwave melalui udara dari antena pemancar ke antena penerima yang jaraknya bisa mencapai ribuan kilometer. Mekanisme perambatan gelombang elektromagnetik secara umum sangat dipengaruhi oleh efek pantulan (*reflection*), difraksi, dan hamburan (*scattering*).

Dalam melakukan perencanaan jaringan, model propagasi harus ditentukan karena sangat berpengaruh pada performansi jaringan. Model propagasi merupakan cara untuk memprediksi daya sinyal rata-rata. Pada sistem

transmisi *radio* komunikasi bergerak, daerah yang dilayani biasanya berupa daerah yang tidak teratur permukaannya. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang sesuai untuk memperkirakan redaman lintasannya.

2.9.1 Model Okumura-Hata

Model ini merupakan sebuah model empirik yang dapat diaplikasikan untuk prediksi *pathloss* dari hasil pengukuran level daya terhadap perubahan jarak. Model Okumura Hata sangat cocok diterapkan pada daerah yang padat dan banyak gedung tinggi. Model ini membagi daerah-daerah yang menjadi target perencanaan ke beberapa bagian, yaitu daerah *dense urban*, urban, suburban, dan *rural*.

a. Daerah Urban

Kota-kota besar dengan bangunan yang besar dan tinggi, serta rumah-rumah yang padat.

$$L_{(\text{urban})} \text{ (db)} = 69,55 + 26,16 \log(f_c) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{te})] \log(d)^{[2]}$$

..... (2.1)

b. Daerah Suburban

Daerah pedesaan dengan pohon-pohon dan rumah-rumah, beberapa penghalang pada *mobile station* tetapi tidak terlalu padat

$$L_{\text{sub-urban}} \text{ (db)} = L_{\text{urban}} - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5,4 \text{ [11]} \dots\dots\dots (2.2)$$

c. Daerah Rural/open

Daerah terbuka, tidak ada pohon dan bangunan yang tinggi, jarak pandang 300-400m bebas, seperti daerah peternakan, pertanian dan laut.

$$L_{\text{rural}} \text{ (db)} = L_{\text{urban}} - 4,78 (\log(f_c))^2 + 18,33 \log(f_c) - 40,94 \text{ [11]} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

- fc = frekuensi carrier (MHz)
- hte = tinggi antena efektif BS (m)
- hre = tinggi antena efektif MS (m)
- d = jarak antara *transmitter* dan *receiver* (Km)
- a(hre) = faktor koreksi untuk hre

Faktor koreksi untuk kota kecil dan menengah:

$$a(h_{re}) = [1,1 \log(f_c) - 0,7]h_{re} - [1,56 \log(f_c) - 0,8] \text{ [2]} \dots\dots\dots (2.4)$$

Faktor koreksi untuk kota besar:

$$a(\text{hre}) = 8,29[\log(1,54\text{hre})]^2 - 1,1 \text{ db}$$

$$f_c \leq 300 \text{ MHz}$$

$$a(\text{hre}) = 3,2[\log(11,75\text{hre})]^2 - 4,97 \text{ db}$$

$$f_c \geq 300 \text{ MHz}$$

2.9.2 COST-231

Model COST-231 merupakan kombinasi model empiris dan deterministik untuk estimasi *path loss* dan untuk mengetahui radius sel pada PCS (*Personal Communication System*) pada wilayah dense urban yang digunakan pada *range* frekuensi 1500-2000 MHz. Model ini merupakan formula pengembangan rumus Okumura Hata.

$$L_p \text{ (dB)} = A + B \log_{10} (d) + C^{[9]} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana

$$A = 46.3 + 33.9 \log (f_c) - 13.28 \log (h_t) - a(\text{hre})$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log (h_t)$$

Keterangan :

d = jarak antara *transmitter* dan *receiver* (Km)

f_c = frekuensi carrier (MHz)

h_t = tinggi antena efektif BS (m)

h_r = tinggi antena efektif MS (m)

C = 0db untuk kota ukuran urban dan suburban dan 3 db untuk area metropolitan.

2.10. PERENCANAAN JARINGAN

Dalam perencanaan jaringan sistem selular faktor-faktor seperti prediksi kuat sinyal, kondisi geografis, kepadatan penduduk, dan model propagasi yang digunakan harus dipertimbangkan. Secara umum tahap-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

2.10.1 *Link Budget*

Perhitungan *link budget* merupakan proses yang perhitungan level daya yang harus dipancarkan oleh suatu *transmitter* agar dapat diterima dengan baik oleh *receiver* dengan mempertimbangkan variable gain dan loss yang terjadi dalam sebuah sistem transmisi untuk memperoleh nilai SINR yang baik.

a. Propagasi *Line Of Sight*

Propagasi *Line Of Sight* merupakan redaman ruang bebas, yang dapat diartikan sebagai penurunan dari daya gelombang radio selama merambat di ruang bebas. Redaman *Line Of Sight* terjadi karena dipengaruhi adanya besar jarak serta frekuensi dari pengirim ke penerima. Redaman ruang bebas dapat dihitung dengan cara:

$$L = 32,44 + 20 \log f_{(\text{MHz})} + 20 \log d_{(\text{km})} \quad [2] \quad (2.6)$$

Keterangan :

$L = \text{Free Space Loss (dB)}$

$f = \text{frekuensi operasi yang digunakan (MHz)}$

$d = \text{jarak dari pengirim hingga ke penerima (km)}$

b. Perhitungan *Effective Isotropic Radiated Power*

Besaran yang menyatakan suatu kekuatan daya pancar suatu antena, disebut dengan *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP). Persamaan perhitungan dari EIRP adalah sebagai berikut:

$$\text{EIRP} = \text{Ptx} + \text{Gtx} - \text{Ltx}^{[14]} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$\text{Ptx} = \text{daya pancar (dBm)}$

$\text{Gtx} = \text{penguatan antena pemancar (dB)}$

$\text{Ltx} = \text{rugi - rugi pada pemancar (dB)}$

c. *Received Signal Level (RSL)*

Received Signal Level didefinisikan sebagai level dari suatu sinyal yang dapat diterima pada penerima. Nilai yang dihasilkan oleh *received signal level* harus lebih besar dibandingkan dari sensitivitas perangkat di penerima. Sensitivitas penerima dijadikan ukuran *threshold*, sensitivitas itu sendiri dapat terjadi karena adanya kepekaan suatu perangkat

tertentu pada penerima. Untuk menghitung nilai dari *receive signal level* yaitu :

$$RSL = EIRP - L_{\text{propagasi}} + G_{RX} - L_{RX}^{[14]} \quad (2.8)$$

Keterangan:

EIRP = Effective Isotropic Radiated Power (dBm)

$L_{\text{propagasi}}$ = rugi- rugi gelombang yang terjadi saat beroperasi (dB)

G_{RX} = penguatan pada antenna penerima (dB)

L_{RX} = rugi – rugi karena saluran penerima (dB)

d. *Sensitivity Receiver* (SR)

Sensitivity Receiver (SR) merupakan rata-rata nilai minimum dari kuat sinyal yang akan diterima oleh *receiver*. Rumus *Sensitivity Receiver* (SR).

$$SR = kTB + NF + SNR + IM^{[14]} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

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

T = Temperature (OK)

B = Bandwidth (Hz)

NF = Noise Figure (dB)

SNR = Signal to Noise Ratio

IM = Implementation Margin (3dB)

e. *Fading Margin*

Fading merupakan karakteristik utama dalam propagasi radio bergerak. Pada sistem komunikasi bergerak terdapat dua macam *fading* yaitu *short term fading* dan *long term fading*. *Short term fading* adalah *fading* yang disebabkan oleh pantulan gelombang transmisi oleh penghambur lokal seperti rumah, pohon dan gedung. Sedangkan *long term fading* lebih disebabkan oleh faktor kontur daerah antara pemancar dan penerima.

2.10.2 *Plan Capacity*

Untuk mengetahui jumlah eNode B yang dibutuhkan dalam suatu are dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu berdasarkan *coverage* dan berdasarkan kapasitas.

a. Berdasarkan *coverage*

Untuk menghitung jumlah eNode B berdasarkan *coverage* dapat menggunakan persamaan propagasi sesuai dengan spesifikasi frekuensi yang digunakan. Okkumura-Hata untuk frekuensi 900 MHz dan COST 231 untuk frekuensi 1800 MHz

Tahap terakhir perhitungan yaitu menghitung jumlah *eNodeB* untuk 3 sektor yang dibutuhkan dalam perencanaan *coverage area* yaitu sebagai berikut.

$$\text{Jumlah } eNodeB = 1,95 \times 2,6 \times d^2 [2] \dots\dots\dots (2.10)$$

b. Perhitungan besaran *throughput*

$$\text{Throughput} = \text{Bearer rate} \times \text{Session time} \times \text{Session duty ratio} \times [1/(1-BLER)]^{[14]} \dots\dots (2.11)$$

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*

Perhitungan *single user throughput*

$$\text{Single User Throughput} = \frac{[\sum \left(\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \right) \times \text{BHSA} \times \text{Penetration Ratio} \times (1+\text{PAR})]}{3600} \quad [14]$$

..... (2.12)

Keterangan:

BHSA = *Busy Hour Service Attempt*

Penetration Rate = *Pelayanan yang baik untuk customer*

PAR = *Peak to Average Ratio* = 35%

Perhitungan *network throughput* arah *uplink* dan *downlink*

$$\text{Uplink Network Throughput} = \text{Total User Number} \times \text{UL Single Throughput}^{[14]} \dots \dots (2.13)$$

$$\text{Downlink Network Throughput} = \text{Total User Number} \times \text{DL Single User Throughput}^{[14]} (2.14)$$

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 *user*

Perhitungan *resource capacity* arah *uplink* dan *downlink*

$$\text{DL Capacity} + \text{CRC} = (168-36-12) \times (\text{Cb}) \times (\text{Cr}) \times \text{Nrb} \times \text{C} \times 1000^{[8]} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$\text{UL Capacity} + \text{CRC} = (168-24) \times (\text{Cb}) \times (\text{Cr}) \times \text{Nrb} \times \text{C} \times 1000^{[8]} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

CRC = 24

Cb = *Code bit*

Cr = *Code rate*

Nrb = *Number of Resource Block*

C = Model antenna MIMO

Perhitungan total *eNode B*

$$\text{Jumlah } eNodeB_1 = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Site Capacity}} \text{ [14]} \quad (2.17)$$

$$\text{Jumlah } eNodeB_2 = \frac{\text{Jumlah User}}{\text{Jumlah User tiap sel}} \text{ [14]} \quad (2.18)$$

2.11. SOFTWARE RADIO PLANNING ATOLL

Atoll merupakan salah satu *software radio planning* yang menyediakan satu set alat dengan fitur komperhensif dan terpadu yang memungkinkan seorang *network planner* membuat suatu proyek perencanaan *microwave* ataupun perencanaan radio dalam satu aplikasi.

Atoll versi 3.2.1 memiliki fitur untuk melakukan perencanaan jaringan LTE yang sangat lengkap. Prediksi coverage berbagai parameter seperti RSRP, SINR, *radio bearer* dan *throughput* dapat disimulasikan dengan baik sehingga seorang *network planner* dapat melihat dan mengukur performa jaringan secara virtual.

2.12. PETA DIGITAL

Peta digital terbagi menjadi dua jenis, yaitu *raster* dan *vektor*. Peta *raster* adalah peta ruang permukaan bumi yang diperoleh dari citra perekam foto atau radar satelit. Peta *raster* berupa gambaran permukaan bumi dalam bentuk warna kenampakan alam, seperti hijau, kuning, biru, dan lainnya. Sedangkan peta *vektor* adalah peta yang

berupa titik, garis, dan area yang berbentuk *polygon*. Peta *vektor* ini dapat digunakan untuk keperluan peta administratif atau rancangan pembangunan jalan dan lain sebagainya.

Ada beberapa jenis data utama yang dibutuhkan dalam melakukan simulasi perencanaan jaringan, yaitu:

- a. Data *clutter* yang membagi area pemetaan kedalam beberapa kelas menurut daerah morfologinya.
- b. Data elevasi yang berisi informasi ketinggian permukaan tanah suatu daerah, seperti dataran rendah, dataran tinggi, gunung, perairan.
- c. Data *vektor* yang bisa berisi bermacam informasi seperti perbatasan suatu daerah, *main road*, *secondary road*, sungai atau yang lainnya.