

BAB II DASAR TEORI

2.1 LTE

LTE sebuah standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi yang berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA teknologi ini mampu mendownload sampai dengan tingkat 300 Mbps dan mengupload 75 Mbps, layanan LTE pertama kali dibuka oleh perusahaan TeliaSonera di Stockholm dan Oslo pada tanggal 14 desember 2009. LTE dikenal dengan nama 4G LTE adalah standard komunikasi nirkabel berbasis jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSDPA untuk akses data kecepatan tinggi menggunakan telepon seluler maupun perangkat mobile lainnya.

LTE dirancang untuk memenuhi kebutuhan operator akan akses data yang berkecepatan tinggi, selain itu LTE diperkirakan dapat membawa komunikasi pada tahap yang lebih tinggi. LTE memiliki dua cara pengantaran yang dikenal dengan istilah FDD dan TDD.

Pada dasarnya LTE berjalan di seluruh frekuensi namun penyelenggaraan jaringan LTE di setiap Negara berada di spektrum frekuensi yang berbeda-beda, hal ini disebabkan oleh ketersediaan spektrum frekuensi yang diatur oleh pemerintah dan operator seluler yang mendapatkan lisensi LTE.

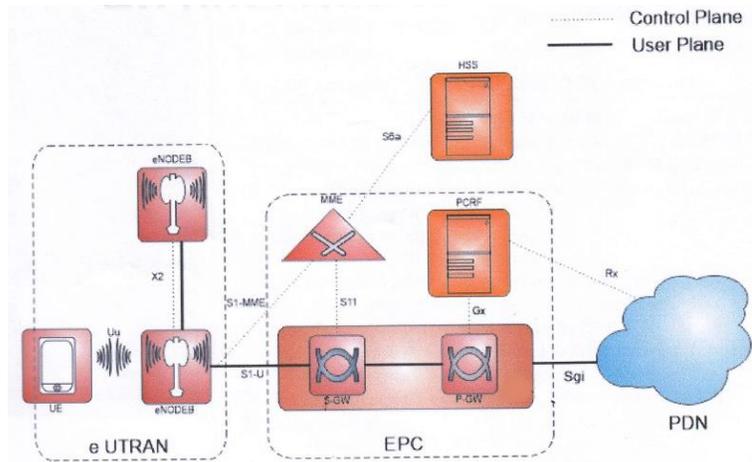
Di Indonesia frekuensi 700MHz digunakan oleh siaran TV analog dan frekuensi 2600MHz dipakai untuk layanan televisi satelit berlangganan, di Asia frekuensi 1800MHz dan 2600 MHz menjadi frekuensi yang umum digunakan untuk penyelenggaraan LTE seperti Singapura, Hong Kong, Korea Selatan dan beberapa negara Eropa. Di Jepang dan Amerika Serikat LTE berjalan di frekuensi 700MHz atau 2.100MHz, di beberapa negara juga menggunakan frekuensi 800MHz dan 850MHz untuk LTE. Harga berlangganan layanan LTE saat ini memang relatif lebih mahal dikarenakan LTE memberi kecepatan akses data yang lebih cepat ketimbang 3G[2].

Tabel 2.1 Alokasi Spektrum Frekuensi[2]

No	PERUSAHAAN	TEKNOLOGI	FREKUENSI UPLINK (MHZ)	FREKUENSI DOWNLINK (MHZ)	BANDWIDTH
----	------------	-----------	------------------------	--------------------------	-----------

1	Indosat	GSM	890 – 900	935 – 945	20
		GSM	1717.5 - 1722.5	1812.5–1817.5	10
		GSM	1750 – 1765	1845 – 1860	30
2	Telkomsel	GSM	900 - 907.5	945 - 952.5	15
		GSM	1722.5 - 1730	1817.5 - 1825	15
		GSM	1745 – 1750	1840 – 1845	10
		GSM	1765 – 1775	1860 – 1870	20
3	Excelkomindo Pratama	GSM	907.5 – 915	952.5 – 960	15
		GSM	1710 - 1717.5	1805 - 1812.5	15
4	Natrindo Telepon Selular / Lippo Telecom	GSM	1730 – 1745	1825 – 1840	30
		UMTS	1935 – 1945	2125 – 2135	10
		TDD	2010 – 2015		5
5	Cyber Access Communications (CAC)	GSM	1775 – 1785	1870 – 1880	20
		WCDMA	1920 – 1935	2110 - 2125	5
		TDD	2015 – 2020		10

2.2 ARSITEKTUR LTE



Gambar 2.1 Arsitektur LTE[3].

Pada Jaringan LTE secara garis besar dibagi menjadi 2 jaringan besar, yaitu Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) dan Evolved Packet Core (EPC). Arsitektur jaringan LTE dapat dilihat dari Gambar 2.1

Bagian-bagian arsitektur LTE antara lain adalah :

2.2.1 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)

Pada bagian E-UTRAN terdiri dari 2 bagian utama yaitu *User Equipment* (UE) dan *evolved eNode B*. UE adalah suatu perangkat yang terdapat pada *end user* atau pelanggan yang digunakan untuk mengirim dan menerima informasi atau berkomunikasi. UE dapat berupa laptop, telepon genggam, *smart phone* maupun perangkat yang dapat terhubung dengan internet. *eNode B* berfungsi sebagai antarmuka jaringan LTE dengan UE, dapat diartikan juga sebagai jembatan atau penghubung antara UE dan EPC yang digunakan untuk mengkonversi aliran data[3].

2.2.2 Evolved Packet Core (EPC)

Evolved Packet Core (EPC) terdiri dari beberapa komponen, antara lain :

a. *Mobility Management Entity* (MME)

Mobility Management Entity atau yang disebut MME, merupakan pengontrol setiap *node* pada jaringan akses LTE. Pada saat UE bersifat *idle* maka MME akan bertanggung jawab dalam melakukan prosedur *tracking* dan *paging* yang di dalamnya mencakup *retransmission* [3].

b. *Home Subscriber Server* (HSS)

HSS merupakan sebuah sistem *database* yang berfungsi untuk membantu MME dalam melakukan manajemen dan pengamanan bagi pelanggan. HSS merupakan penggabungan atau kombinasi dari *Authentication Center* (AuC) dan *Home Location Register* (HLR) yang digunakan untuk autentikasi[3].

c. *Serving Gateway* (S-GW)

Berfungsi untuk mengatur jalur dan meneruskan data dalam bentuk paket dari masing-masing *pengguna* (UE).^[5] *Serving Gateway* juga berfungsi sebagai penghubung antara teknologi LTE dengan teknologi 3GPP lainnya seperti 2G (GSM/EDGE) dan 3G (UMTS) [3].

d. *Packet Data Network Gateway* (PDN-GW / P-GW)

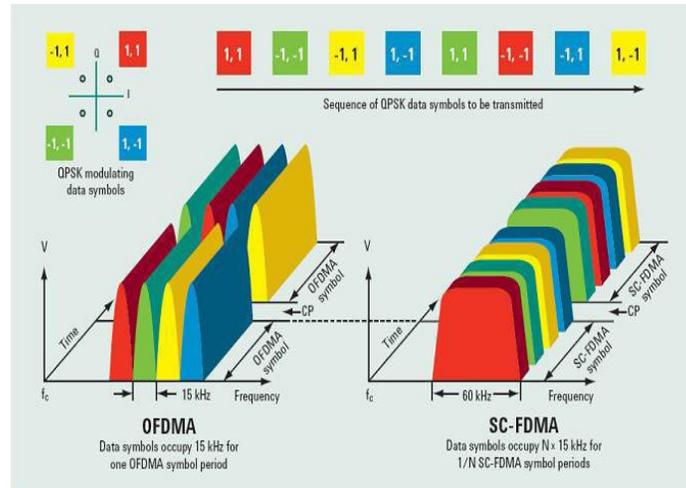
P-GW berfungsi sebagai penyedia hubungan atau konektivitas antara *user* (UE) dengan jaringan paket, serta berfungsi sebagai penghubung antara teknologi LTE dengan teknologi non 3GPP (WiMAX) dan 3GPP2 (CDMA2000 1x dan EVDO)[3].

e. *Policy And Charging Rules Function* (PCRF)

Policy And Charging Rules Function atau yang disingkat dengan PCRF, memiliki fungsi untuk menangani QoS serta mengontrol *rating*, *charging* dan *billing* [3].

2.3 TEKNOLOGI TRANSMISI LTE

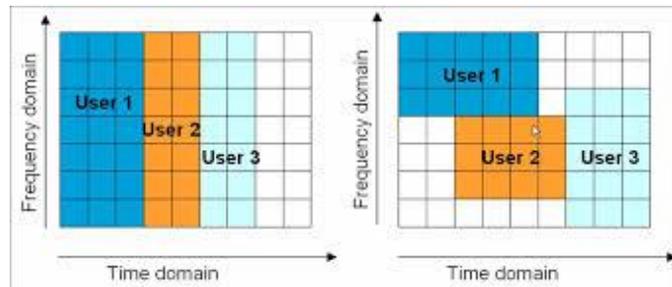
Pada teknologi LTE transmisi yang digunakan adalah menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) untuk *downlink*, sedangkan untuk *uplink* menggunakan teknologi *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA). Antena yang digunakan LTE merupakan antena dengan konsep *Multiple Input Multiple Output* (MIMO).



Gambar 2.2 OFDMA dan SC-FDMA[4].

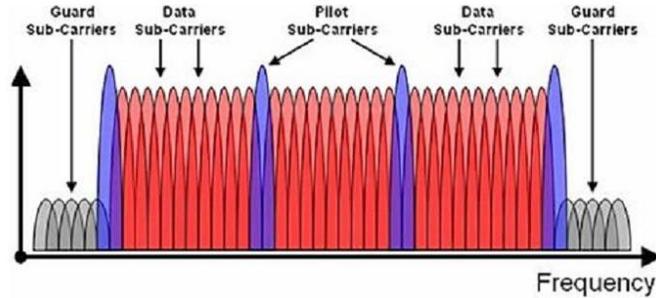
2.3.1 Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA)

OFDMA merupakan suatu teknik *multiple* akses yang berbasis pada skema transmisi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). OFDM adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang akan dilewatkan kedalam beberapa *subcarrier* sempit yang saling tegak lurus atau *orthogonal* [4].



Gambar 2.3 Perbedaan OFDM dan OFDMA[4].

Pada gambar 2.3 dapat diartikan, OFDM membagi *user* dengan penjadwalan yang sedemikian rupa dan selalu kedalam domain waktu secara utuh, sedangkan OFDMA membagi *user* dengan penjadwalan dalam domain waktu dan frekuensi secara bersamaan. Sehingga pada OFDMA dimungkinkan adanya penggunaan *bandwidth* secara bersamaan [4].



Gambar 2.4 Struktur simbol subcarrier OFDMA[4]

Dari gambar 2.4 terdapat 3 jenis *subcarrier* pada OFDMA, yaitu :

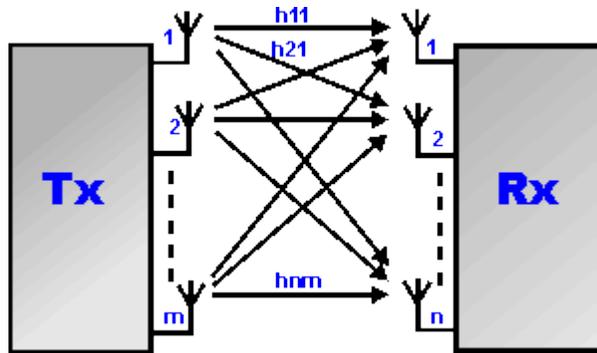
- Data subcarrier* berfungsi untuk transmisi data dan mengurangi interferensi.
- Pilot subcarrier* berfungsi untuk estimasi atau referensi selama transmisi dan mengurangi interferensi. Selain untuk hal tersebut *pilot subcarrier* juga digunakan untuk sinkronisasi.
- Null Subcarrier* atau disebut dengan *guard subcarrier*, tidak untuk ditransmisikan.

2.3.2 Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

SC-FDMA merupakan teknologi *multiple access* yang digunakan pada sisi *uplink*. SC-FDMA memiliki nilai *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) yang lebih rendah dari OFDM. Nilai PAPR pada SC-FDMA lebih kecil dibanding OFDM disebabkan oleh sistem transmisi yang ada pada SC-FDMA mempunyai durasi waktu yang lebih singkat dengan lebar *subcarrier* yang lebih besar, dibandingkan dengan OFDM. PAPR adalah tingkat perbandingan daya rata-rata dengan daya puncak. PAPR yang lebih rendah dapat meningkatkan cakupan dan kinerja *cell-edge* serta dapat menghemat daya [4].

2.3.3 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

LTE menggunakan teknologi multi antena yang terdapat baik pada pengirim (*transmitter*) maupun penerima (*receiver*). Teknologi multi antena ini dikenal dengan *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*. MIMO memungkinkan antena untuk melewati data yang berukuran besar setelah sebelumnya dipecah dan dikirim secara terpisah. MIMO digunakan untuk meningkatkan keandalan link dengan cara mengurangi *multipath fading*. MIMO dapat meningkatkan kapasitas pengiriman data tanpa menambah *bandwidth*[4].



Gambar 2.5 Konsep antenna MIMO[4]

MIMO adalah salah satu contoh teknologi dengan kualitas yang baik dari LTE pada kecenderungan teknologi yang berkembang saat ini. Saat ini fokus adalah untuk menciptakan frekuensi yang dapat lebih efisien. Teknologi seperti MIMO dapat menghasilkan frekuensi yang efisien yaitu dengan mengirimkan informasi yang sama dari dua atau lebih pemancar terpisah kepada sejumlah penerima, sehingga mengurangi informasi yang hilang dibanding bila menggunakan system transmisi tunggal. Pendekatan lain yang akan dicapai pada system MIMO adalah teknologi *beam forming* yaitu mengurangi gangguan interferensi dengan cara mengarahkan radio *link* pada penggunaan secara spesifik [4].

LTE mendukung teknik MIMO untuk mengirimkan data pada sinyal *path* secara terpisah yang menduduki *bandwidth* RF yang sama pada waktu yang sama, sehingga dapat mendorong pada peningkatan data *rate* dan *Throughput*. Sistem antenna MIMO merupakan metode pada suatu layanan *broadband* sistem *wireless* memiliki kapasitas lebih tinggi serta memiliki performa dan keandalan yang lebih baik. MIMO digunakan untuk meningkatkan keandalan link dengan cara mengurangi *multipath fading*. MIMO dapat meningkatkan kapasitas pengiriman data tanpa menambah *bandwidth* [4].

2.4 PROPAGASI GELOMBANG RADIO

Propagasi gelombang radio merupakan turunan dari persamaan matematika yang ditemukan oleh Maxwell, namun persamaan matematika ini tidak bisa dipakai dalam lingkungan radio pada saat ini dengan banyaknya hambatan yang dapat menimbulkan *difraksi* dan *refleksi*. Namun dari model propagasi yang digunakan mampu memberikan

informasi mengenai level daya sinyal yang merambat dari pemancar dan penerima. Ada beberapa jenis-jenis propagasi gelombang radio, diantaranya adalah :[4]

1. Model *Empiris*

Model *empiris* ini diturunkan dari pengukuran yang dilakukan di lapangan, Okumura Hata dan model ITU merupakan kelompok yang termasuk kedalam model empiris. Model ini termasuk model yang sederhana dan mudah untuk ditangani namun model ini dirasa agak kurang tepat karena hanya terbatas pada lingkungan yang serupa dengan salah satu tempat yang dimana dilakukan pengukuran [4].

2. Model *Deterministik*

Untuk model deterministik didasarkan pada asumsi dan penyederhanaan, model ini merupakan pendekatan matematis seperti *finite difference*. Model ini dapat mencapai presisi yang sangat tinggi namun metode ini mempunyai kesulitan karena kompleksitas yang tinggi[4].

3. Model *Semi Empirical*

Model ini merupakan perpaduan dari model *empirical* dengan model *deterministic* ditujukan untuk keadaan khusus seperti model *knife edge* [4].

2.4.1 Okumura-Hata

Model propagasi Okumura Hata umumnya digunakan pada daerah yang menggunakan frekuensi dari 150 Mhz – 1500 Mhz. Model ini merupakan sebuah persamaan empirik dari kurva redaman lintasan yang dibuat oleh Okumura, oleh karenanya sering disebut dengan model Okumura Hata. Hata membuat standar persamaan untuk menghitung redaman lintasan pada daerah Urban sedangkan untuk wilayah *Open Area* dan Sub Urban Hata membuat persamaan koreksinya untuk menghitung redaman lintasan didaerah ini [4].

Persamaan prediksi Hata untuk daerah Urban dimana daerah ini merupakan daerah gedung tinggi dan perumahan padat [4].

$$PL(\text{urban}) = 69,55 + 26,16 \log_{10}(fc) - 13,82 \log_{10} hte - a(hre) + (44,9 - 6,55 \log_{10} hte) \log_{10} d..(2.1)$$

Keterangan :

F_c = Frekuensi kerja antara 150MHz – 1500MHz

H_{te} = Tinggi efektif antena pemancar BTS 30m – 200m

H_{re} = Tinggi efektif antena penerima MS 1m – 10m

d = Jarak antara Tx – Rx (km)

$a(hre)$ = Faktor koreksi untuk tinggi efektif antena penerima sebagai fungsi dari luas daerah yang dilayani.

Untuk kota kecil sampai kota sedang (*small to medium sized city*), faktor koreksi $a(hre)$ adalah :

$$a(hre) = (1,1 \log_{10} fc - 0,7)hre - (1,56 \log_{10} fc - 0,8) \text{ dB} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dan untuk kota besar (*large city*), faktor koreksi $a(hre)$ diberikan oleh :

$$a(hre) = 8,29 (\log_{10} 1,54 hre)^2 - 1,1 \text{ dB untuk } fc \leq 300 \text{ MHz} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$a(hre) = 3,2 (\log_{10} 11,75 hre)^2 - 4,97 \text{ dB untuk } fc \geq 300 \text{ MHz} \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan prediksi Hata untuk daerah Sub Urban dimana daerah ini merupakan daerah pedesaan dengan beberapa penghalang seperti pohon dan kontur tanah yang tidak rata [6].

$$PL \text{ (dB)} = PL \text{ (urban)} - 2[\log_{10} (fc/28)]^2 - 5,4 \dots\dots\dots(2.5)$$

Persamaan prediksi Hata untuk daerah *open* rural dimana daerah ini merupakan daerah dengan kontur tanah yang rata tidak memiliki penghalang yang tinggi dan memiliki jarak pandang bebas [5].

$$PL \text{ (dB)} = PL \text{ (urban)} - 4,78(\log_{10} fc)^2 - 18,33 \log_{10} fc - 40,98 \dots\dots\dots(2.6)$$

2.4.2 Cost – 231

COST-231 merupakan sebuah persamaan yang dibentuk untuk membuat model Hata yang disempurnakan atau diperluas oleh *European Co-operative for Scientific and Technical Research* (EURO-COST). COST-231 dipakai pada rentang frekuensi 1500 Mhz sampai 2000 Mhz. COST-231 ini memiliki bentuk persamaan [4].

$$L = 46,3 + 33,9 \log(fc) - 13,82 \log(hre) - a(hre) + (44,9 - 6,55 \log(hre)) \log d + CM \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

CM = 0 dB untuk ukuran medium kota dan daerah Sub Urban

CM = 3 dB untuk daerah pusat kota (metropolitan)

f = 1500 MHz sampai 2000 MHz

hre = 30 m sampai 200 m

hre = 1 m sampai 10 m

d = 1 km sampai 20 km

2.4.3 Standford University Interm (SUI)

Model propagasi ini merupakan model propagasi yang direkomendasikan untuk standar IEEE 802.16a, SUI dapat juga diterapkan di Indonesia yang mempunyai tipe demografi

Urban dan Sub Urban. SUI dibuat dari hasil uji coba yang dilakukan di Amerika Serikat dengan cara mengambil sampling ada 95 makrosel menggunakan frekuensi kerja 1,9 Ghz. Model ini dikenalkan oleh AT&T *wireless service*, model *pathloss* ini digunakan pada daerah Sub Urban dan Urban dengan ketinggian *base station* berkisar antara 10-80 meter dengan jarak *cell* 0,1 -10 Km [5].

Standford University Interm dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :

- a. Kategori A-Hilly/*moderate to heavy tree density* (Urban)
 Kategori ini berasosiasi dengan *pathloss* terbesar yaitu perbukitan dengan densitas pepohonan tinggi.
- b. Kategori B-Hilly/*light tree density or flat/moderate to heavy tree density/intermediate* (Sub Urban) kategori ini berasosiasi dengan *pathloss* pertengahan yaitu *terrain* dan densitas pepohonan antara A dan C.
- c. Kategori C-Flat/*light treee density* (rural)
 Kategori ini berasosiasi dengan *pathloss* terkecil yaitu *terrain* data dengan pepohonan yang jarang.

Persamaan model SUI adalah:[6]

$$P_L = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_{hCPE} + s \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana nilai :

- A = Free space loss di d0
- $A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)$
- λ = panjang gelombang
- d0 = 100m (jarak referensi)
- γ = pathloss exponent
- $\gamma = a - b \cdot h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right)$
- a, b, c = konstanta yang menunjukkan kategori *terrain*
- hb = tinggi *base station*
- d = jarak antara base station dan subscriber station (m)
- Xf = Faktor koreksi frekuensi
- $X_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right)$ (f dalam MHz)

X_{hCFE} = Faktor koreksi tinggi antenna penerima

$$X_{hCFE} = -10,8 \log \left(\frac{h_{CFE}}{2} \right) \text{ terrain a dan b}$$

$$X_{hCFE} = -20 \log \left(\frac{h_{CFE}}{2} \right) \text{ terrain c}$$

Dimana :

h_{CFE} = tinggi antenna penerima

s = pengubah acak yang terdistribusi secara lognormal sebagai representasi *shadowing* oleh pohon atau bangunan yang harganya antara 8,2 dB-10,6 dB tergantung tipe *terrain*.

Nilai a, b, c adalah daerah yang akan dilayani berdasarkan tipe pepohonan/bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a, b, c dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter Terrain [5].

Model Parameter	Tipe A (<i>Heavy Multipath</i>)	Tipe B (<i>Intermediate Multipath</i>)	Tipe C (<i>Few Multipath</i>)
A	4,6	4	3,6
B	0,0075	0,0065	0,005
C	12,6	17,1	20

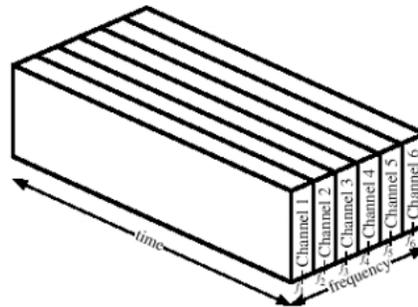
2.5 *Multiplexing*

Multiplexing berguna untuk menggabungkan saluran telekomunikasi menjadi efisien, *multiplexing* memungkinkan sumber transmisi membagi kapasitas transmisi menjadi lebih besar. Model dari *multiplexing* yang sering digunakan adalah *Frequency Division Multiplexing* (FDM) dan *Time Division Multiplexing* (TDM) [7].

2.5.1 *Frequency Division Multiplexing* (FDM)

FDM dipergunakan bersama-sama dengan sinyal-sinyal analog. Sejumlah sinyal secara simultan dibawa menuju media yang sama dengan cara mengalokasikan band frekuensi yang berlainan ke masing- masing sinyal. Diperlukan peralatan modulasi untuk memindah setiap

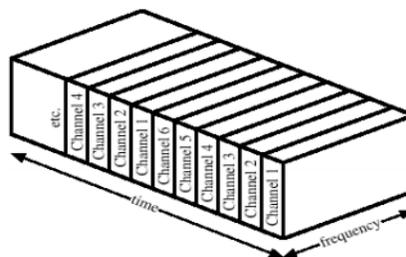
sinyal ke band frekuensi yang diperlukan, sedangkan peralatan *multiplexing* diperlukan untuk mengkombinasikan sinyal-sinyal yang dimodulasikan [7].



Gambar 2.6 Frequency Division Multiplexing (FDM) [7].

2.5.2 Time Division Multiplexing (TDM)

Synchronous time-division multiplexing bisa dipergunakan bersama-sama dengan sinyal digital atau sinyal-sinyal analog yang membawa data digital. Pada bentuk *multiplexing* yang seperti ini, data dari berbagai sumber dibawa dalam *frame* secara berulang-ulang. Setiap *frame* terdiri dari susunan jatah waktu, dan setiap sumber ditetapkan bahwa setiap *frame* nya terdiri dari satu atau lebih jatah waktu. Efeknya akan tampak pada *bit interleave* dari data pada berbagai sumber.



Gambar 2.7 Time Division Multiplexing TDM) [7].

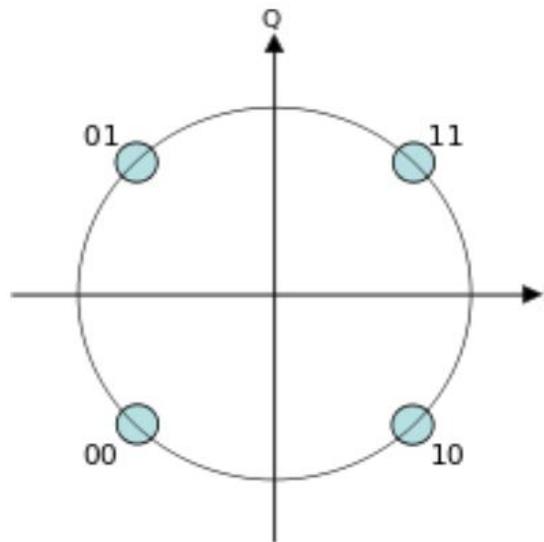
2.5.3 Adaptive Modulation and Coding (AMC)

AMC adalah teknologi pendukung pada jaringan LTE yang dimana AMC tersebut berfungsi sebagai skema *coding* dan modulasi yang digunakan berdasarkan *channel quality indicator* (CQI). CQI dapat digunakan untuk mengukur *bandwidth* dan kualitas sambungan atau *link quality* atau biasanya diukur dengan *signal to noise ratio* (SNR) .

Jika kualitas *channel* semakin baik maka *user* bisa menggunakan orde modulasi dan *coding rate* yang lebih tinggi pula untuk dapat memberikan kapasitas *bit rate* yang lebih besar. Apabila kondisi *channel* kurang baik maka akan digunakan orde modulasi dan *coding rate* yang lebih rendah pula untuk menjaga jaringan supaya lebih stabil. Skema modulasi yang mendukung jaringan LTE adalah 64 QAM, 16 QAM dan QPSK, dimana pada *Adaptive Modulation* dan *coding* mempunyai 2 komponen penting yaitu skema modulasi dan *coding*. Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing skema modulasi [8].

a. *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

Skema modulasi ini termasuk dalam kategori *low order* modulasi karena terdiri dari 4 simbol dan setiap simbol terdiri dari 2 bit. Pada saat kondisi kanal antara pengirim dan penerima dalam keadaan buruk atau nilai SINR nya rendah maka modulasi QPSK ini cocok untuk digunakan. Salah satu kelebihan dari modulasi QPSK ini adalah tahan terhadap *interferensi* [8] .

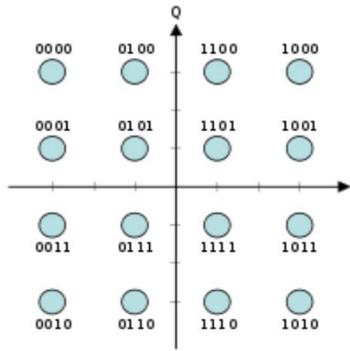


Gambar 2.8 Modulasi QPSK [8].

b. 16 *Quadrature Amplitude Modulation* (16 QAM)

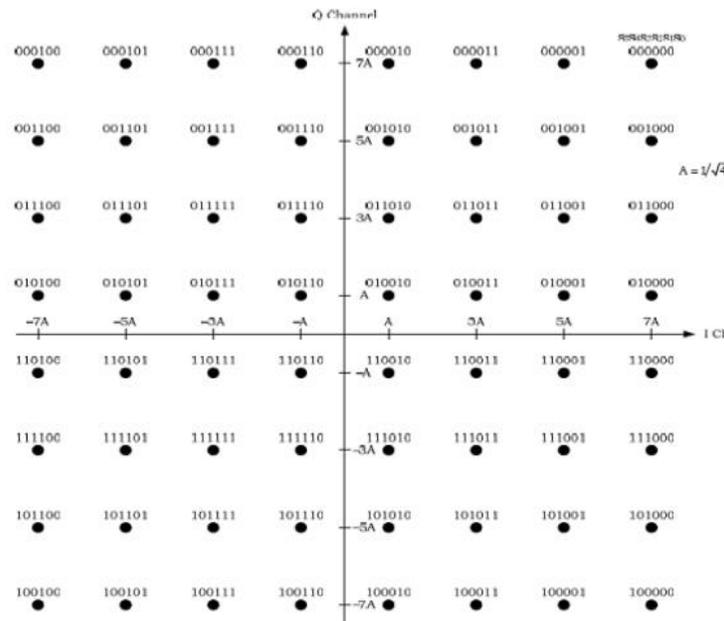
Pada modulasi ini terdiri dari 16 simbol dimana setiap simbol terdiri dari 4 bit.

Berikut merupakan gambaran ilustrasi dari modulasi 16 QAM :



Gambar 2.9 Modulasi 16 QAM [8].

c. 64 Quadrature Amplitude Modulation (64 QAM)



Gambar 2.10 Modulasi 64 QAM[8]

Jika dilihat dari nilai SINR yang tinggi maka kondisi antara kanal pengirim dan penerima dikategorikan cukup baik, maka modulasi 64 QAM cocok untuk digunakan. Modulasi 64 QAM terdiri dari 64 simbol yang mana setiap simbolnya terdiri dari 6 bit. Kelebihan dari modulasi ini adalah dapat memberikan laju data yang tinggi, namun kekurangannya adalah sangat rentan terhadap *interferensi*, *noise* dan kesalahan estimasi kanal [8]

2.6 CODE RATE

Code rate menentukan besar kecilnya *bit redundancy* pada bit informasi, misalkan QPSK $\frac{1}{2}$ maka setiap bit informasi mempunyai 1 *bit redundancy*. Pemilihan *code rate* didasarkan pada kondisi kanal, sewaktu kondisi kanal jelek dapat digunakan *code rate* yang lebih kecil dan sebaliknya sewaktu kondisi kanal dalam keadaan baik dapat digunakan *code rate* yang besar. Pada tabel 2.2 menunjukkan skema *code rate*, modulasi dan nilai SINR yang digunakan pada jaringan LTE [9].

Tabel 2.3 Minimum AWGN (Additive White Gaussian Noise) [9]

MCS Index	Downlink			Uplink		
	Modulation	Coding Rate	SNR, dB	Modulation	Coding Rate	SNR, dB
0	QPSK	0.1172	-6.475	QPSK	0.1000	-7.231
1	QPSK	0.1533	-5.182	QPSK	0.1250	-6.164
2	QPSK	0.1885	-4.131	QPSK	0.1550	-5.113
3	QPSK	0.2452	-2.774	QPSK	0.2050	-3.701
4	QPSK	0.3008	-1.649	QPSK	0.2500	-2.658
5	QPSK	0.3701	-0.469	QPSK	0.3100	-1.480
6	QPSK	0.4385	0.561	QPSK	0.3650	-0.544
7	QPSK	0.5137	1.564	QPSK	0.4300	0.440
8	QPSK	0.5879	2.479	QPSK	0.4900	1.263
MCS Index	Downlink			Uplink		
	Modulation	Coding Rate	SNR, dB	Modulation	Coding Rate	SNR, dB
9	QPSK	0.6631	3.335	QPSK	0.5550	2.085

10	16QAM	0.3320	3.335	16QAM	0.6150	2.794
11	16QAM	0.3691	4.140	16QAM	0.3075	2.794
12	16QAM	0.4238	5.243	16QAM	0.3525	3.789
13	16QAM	0,4785	6.285	16QAM	0.4000	4.711
14	16QAM	0,5400	7.403	16QAM	0.4500	5.748
15	16QAM	0,6016	8.478	16QAM	0.5025	6.727
16	16QAM	0.6426	9.168	16QAM	0.5350	7.313
17	64QAM	0.4277	9.168	16QAM	0.5700	7.931
18	64QAM	0.4511	9.846	16QAM	0.6300	8.963
19	64QAM	0.5049	11.060	16QAM	0.6925	10.010
20	64QAM	0.5537	12.250	16QAM	0.7525	10.994
21	64QAM	0.6016	13.398	64QAM	0.5017	10.994
22	64QAM	0.6504	14.534	64QAM	0.5417	11.961
23	64QAM	0.7021	15.738	64QAM	0.5850	12.995
MCS Index	<i>Downlink</i>			<i>Uplink</i>		
	<i>Modulation</i>	<i>Coding Rate</i>	SNR, dB	<i>Modulation</i>	<i>Coding Rate</i>	SNR, dB
24	64QAM	0.7539	16.934	64QAM	0.6283	14.017
25	64QAM	0.8027	18.067	64QAM	0.6700	14.991

26	64QAM	0.8525	19.196	64QAM	0.7100	15.920
27	64QAM	0.8887	20.032	64QAM	0.7417	16.652
28	64QAM	0.9258	20.866	64QAM	0.7717	17.343

2.7 PERENCANAAN JARINGAN

Untuk melakukan perencanaan jaringan seluler perlu diperhatikan beberapa hal, yaitu :

a. Kondisi Geografis

Pada tahap ini ada beberapa hal yang perlu dilakukan yaitu penentuan tinggi antena, jenis antena yang digunakan, penentuan tinggi eNodeB, penentuan *power supply* serta *link* transmisi yang digunakan. Dari hal-hal tersebut kondisi geografis dari wilayah yang akan dibangun sebuah jaringan harus diperhatikan supaya perencanaan yang dilakukan akan efisien.

b. Data Penduduk

Dalam menentukan jumlah eNodeB yang diperlukan sangat bergantung pada kepadatan penduduk yang ada di wilayah tersebut. Kapasitas eNodeB dan penempatannya akan menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan untuk melayani *user* atau pelanggan berdasarkan kepadatan trafik dimana wilayah yang kepadatan penduduknya banyak akan memerlukan *site* yang lebih banyak dibandingkan wilayah dengan kepadatan penduduk yang sedikit [6].

2.7.1 Planning by Capacity

Kapasitas merupakan salah satu tolak ukur dalam perencanaan suatu jaringan. Hal ini dilakukan guna memperkirakan seberapa besar *user* atau pelanggan dapat dilayani dalam suatu jaringan atau trafik. Adapun parameter yang dapat diamati dalam perencanaan berdasarkan kapasitas antara lain adalah [6].

a. Estimasi Jumlah Pelanggan

Dalam perencanaan suatu jaringan, harus memperhatikan kebutuhan *user* atau pelanggan dimasa yang akan datang. Untuk mengetahui hal tersebut, maka diperlukan estimasi

pertumbuhan jumlah pelanggan. Adapun perhitungannya untuk mencari estimasi jumlah pelanggan atau yang disebut *forecasting Number of user* adalah sebagai berikut [6].

$$U_n = U_0 \times (1 + F_p)^n \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

U_n = Jumlah pelanggan pada tahun ke-n

U_0 = Jumlah pelanggan pada tahun acuan

F_p = Faktor pertumbuhan pelanggan

n = Tahun yang akan diprediksi

b. Kepadatan Trafik

Kepadatan trafik pada LTE dapat dihitung menggunakan *Throughput*.

Throughput dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Thp = \text{Bearer rate} \times \text{Session time} \times \text{Session duty ratio} \times \left[\frac{1}{(1-BLER)} \right] \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

Session time = durasi per layanan

Session duty ratio = data transmission ratio per session

BLER = toleransi block error rate

Bearer rate = application layer bit rate

Selanjutnya adalah perhitungan *single user Throughput* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini,

$$\text{Single user throughput} = \frac{[\Sigma \left(\frac{\text{throughput}}{\text{session time}} \right) \times BHSa \times \text{penetration ratio} \times (1 + \text{Peak Average Ratio})]}{3600} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

BHSA = Busy Hour Service Attempt

Penetration ratio = Seberapa bagus layanan dapat melayani pelanggan

Peak average ratio = digunakan untuk mengasumsikan prosentase kelebihan beban tertinggi pada jaringan untuk mengantisipasi lonjakan trafik di suatu area.

Perhitungan *Network Throughput* yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$UL \text{ Network Throughput} = \text{total user number} \times UL \text{ single user throughput} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$DL \text{ Network Throughput} = \text{total user number} \times DL \text{ single user throughput} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan,

Total user number = jumlah user

UL single user Throughput = total Throughput uplink dari satu user pada

area layanan

DL *single user Throughput* = total *user Throughput downlink* dari satu *user* pada area layanan [6].

c. Kapasitas Sel

Untuk menghitung *capacity uplink* dan *downlink* digunakan rumus berikut ini:

DL cell capacity + CRC = (168-36-12) x (Cb) x (Cr) x Nrb x C x 1000 (2.14)

UL cell capacity+CRC = (168-24) x (Cb) x (Cr) x Nrb x C x 1000(2.15)

Dengan,

CRC = 24

Cb = Code bit

Cr = Code Rate

Nrb = Number of Resource Block

C = Model antena MIMO

Sedangkan menghitung jumlah *cell* digunakan rumus berikut ini :

Jumlah cell = Network throughput / cell capacity(2.16)

Dengan,

Network Throughput = Throughput jaringan

Cell capacity = kapasitas sel

Jumlah eNodeB dihitung dari hasil jumlah *cell* dibagi 3, karena tiap satu eNodeB terdiri dari 3 *cell* atau 3 sektor [6].

2.7.2 Planning by Coverage

a. Radio Link Budget

Perhitungan *radio link budget* dilakukan pada dua sisi *downlink* dan *uplink*. MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) terbagi menjadi dua, yaitu MAPL arah *downlink* dan MAPL arah *uplink*. MAPL merupakan nilai maksimum dari pelemahan sinyal [6].

b. MAPL Downlink

Effective Radiated Power (EIRP) ditentukan dengan mengurangi *loss* dan menjumlahkan *gain* diantara *power amplifier* dengan antena ke dalam bentuk daya keluaran sebenarnya dari *transmitter*.

Persamaan dari EIRP arah *downlink* adalah sebagai berikut:[6]

EIRP = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX}.....(2.17)

Keterangan :

P_{TX} = Transmit RF Power (dBm)

G_{TX} = Transmit antenna Gain (dB)

L_{TX} = Transmit RF Line Loss (dB)

Berikutnya adalah menentukan persamaan *Sensitivity Receiver* (SR), SR ditentukan dengan menjumlahkan nilai *thermal noise*, *Noise figure*, dan SNR. Pada persamaan 2.2 berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung *Sensitivity Receiver* [6].

$$SR = kTB + NF + SNR \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

k = Konstanta Boltzman (1.38×10^{-20} mWs/K)

T = Temperature (K)

B = System Bandwidth (MHz)

NF = Noise Figure (dB)

SNR = Signal to Noise Ratio (dB)

Dengan,

$$B = \text{Subcarrier Bandwidth} \times \text{Subcarrier per resource block} \times N_{RB}$$

Keterangan :

N_{RB} = jumlah *resource* blok (RB)

Tabel 2.4 Subcarrier Bandwidth [9]

<i>Channel Bandwidth</i> , MHz	1.4	3	5	10	15	20
<i>Subcarrier Bandwidth</i> , kHz	15	15	15	15	15	15
<i>Subcarrier per Resource Block</i>	12	12	12	12	12	12
<i>Number of Resource Block</i>	6	15	25	50	75	100

Setelah menentukan EIRP maka persamaan MAPL arah *downlink* adalah sebagai berikut :

$$MAPL = EIRP - SR - L_{BV} - M_{interference} - M_{SF} \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan:

EIRP = Effective Isotropic Radiated Power (dBm)

SR = *Sensitivity Receiver* (dBm)

L_{BV} = Loss Body, Vehicle, Building (dB)

$M_{interference}$ = *Interference Margin* (dB)

M_{SF} = *Log Normal Margin* (dB)

c. MAPL Uplink

Effective Radiated Power (EIRP) ditentukan dengan mengkurangkan *loss* dan menjumlahkan *gain* diantara *power amplifier* dengan antena ke dalam bentuk daya keluaran sebenarnya dari *transmitter*.

Persamaan dari EIRP arah *uplink* adalah sebagai berikut [6].

$$EIRP = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

P_{TX} = *Transmit RF Power* (dBm)

G_{TX} = *Transmit antenna Gain* (dB)

L_{TX} = *Transmit RF Line Loss* (dB)

Berikutnya adalah menentukan persamaan *Sensitivity Receiver* (SR), SR ditentukan dengan menjumlahkan nilai *thermal noise*, *Noise figure*, dan SNR. Pada persamaan 2.5 berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung *Sensitivity Receiver* [7].

$$SR = kTB + NF + SNR \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan :

k = Konstanta Boltzman (1.38×10^{-20} mWs/K)

T = *Temperature* (K)

B = *System Bandwidth* (MHz)

NF = *Noise Figure* (dB)

SNR = *Signal to Noise Ratio* (dB)

Dengan,

$$B = \text{Subcarrier Bandwidth} \times \text{Subcarrier per resource block} \times N_{RB} \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan :

N_{RB} = jumlah *resource* blok (RB)

Setelah menentukan EIRP maka persamaan MAPL arah *downlink* adalah sebagai berikut :

$$MAPL = EIRP - SR - L_{BV} - M_{interference} - M_{SF} \dots \dots \dots (2.23)$$

Keterangan:

EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

SR = *Sensitivity Receiver* (dBm)

L_{BV} = *Loss Body, Vehicle, Building* (dB)

$M_{interference}$ = *Interference Margin* (dB)

M_{SF} = *Log Normal Margin* (dB)

2.8 LTE FDD (*Frequency Division Duplexing*)

FDD kependekan dari Frequency Division Duplexing, cara pengantaran data menggunakan dua buah channel yang berbeda antara transmit dan receive. Metode ini juga yang dipakai sekarang di Indonesia (kecuali Bolt) dan banyak negara Asia Tenggara. Memiliki keunggulan lebih jarang terkena gangguan interferensi dan resepsi penerimaan yang baik.

Kebanyakan operator seluler GSM seperti Telkomsel, XL Axiata, dan Indosat saat ini masih menggunakan teknologi LTE FDD. Teknologi FDD sendiri berjalan pada dua frekuensi yang berbeda, yakni pada frekuensi 800MHz dan 1800MHz. Menggunakan teknologi ini memiliki kelebihan pada keseimbangan antara upload dan download, karena masing-masing berjalan pada frekuensi yang berbeda.

Cara kerja FDD sendiri diklasifikasikan sebagai sistem full duplex. Ini berarti bahwa baik upload dan download selalu tersedia. Karena FDD menggunakan dua saluran yang berbeda untuk mengunduh dan mengunggah data[10].

2.9 LTE TDD (*Time Division Duplexing*)

TDD dimana data diantarkan dan diterima dalam satu channel frekuensi yang sama hanya dengan pemisahan jeda waktu yang singkat karena pengiriman dan penerimaan data hanya menggunakan satu channel maka kapasitas yang tersedia bisa menjadi lebih besar dibanding FDD sangat cocok untuk data yang dikirimkan secara asimetris, misalnya untuk browsing internet, video surveillance atau broadcast [10].

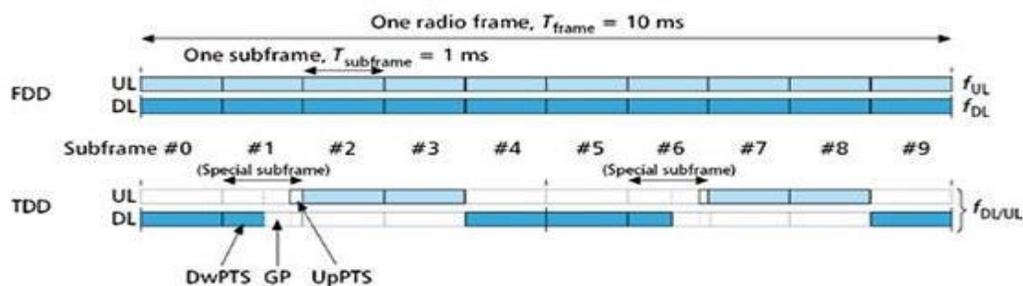
LTE TDD dikembangkan khusus dengan ide migrasi ke 4G dari generasi ketiga jaringan 3G TD-SCDMA dalam pikiran. Ada dua perbedaan utama antara LTE FDD dan LTE TDD. LTE TDD menggunakan satu frekuensi bergantian antara upload dan download data melalui rasio time. Diantara upload dan download pada jaringan LTE TDD dapat diubah secara dinamis tergantung pada apakah lebih banyak data perlu dikirim atau diterima. LTE TDD

bekerja lebih baik pada frekuensi yang lebih tinggi, spektrum LTE TDD umumnya lebih murah untuk mengakses.

Teknologi TDD sendiri diklasifikasikan sebagai sistem setengah duplex dan berada pada frekuensi 2.300MHz yang memiliki karakteristik sangat cepat ketika memberi akses unduh (download). Namun untuk kecepatan akses unggah (upload) cenderung lemah atau lambat. Hal ini disebabkan karena proses mengirim dan menerima data terjadi pada frekuensi yang sama, tetapi masing-masing hanya berlangsung sepersekian detik bergantian antara keduanya dan tidak begitu terasa[10].

2.10 SKEMA DUPLEX

Istilah *duplexing* merupakan suatu proses yang wajib. *Duplexing* sendiri adalah suatu proses komunikasi dua arah pada suatu kanal komunikasi. Terdapat dua jenis *duplex*, yaitu *half duplex* dan *full duplex*. Pada *half duplex*, pada kedua sisinya berkomunikasi saling bergantian dalam mengirimkan sinyal informasi di satu kanal. Sedangkan pada *full duplex* terjadi dua komunikasi dua arah secara simulta atau saling bersamaan. Terdapat dua bentuk utama *full duplex*, yaitu *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD). Berikut merupakan perbandingan skema dalam system FDD dan TDD.

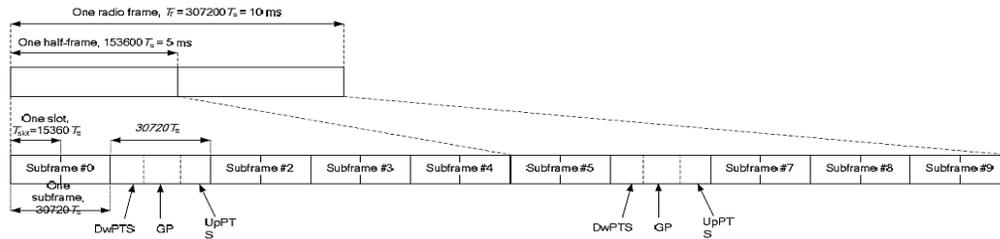


Gambar 2.11 Perbandingan FDD dengan TDD[12]

2.10.1 Time Division Duplexing (TDD)

Sistem TDD merupakan system yang menggunakan satu *band* frekuensi untuk *uplink* dan *downlink*, dimana dalam setiap kanal terdiri dari *subframe uplink* dan *subframe downlink*. System TDD menggunakan TGG (*Transmit guard gap*) dan RTG (*Receive transition gap*) *guard interval* ini transisi yang terjadi pada sisi *downlink* ke *uplink*. *Guard interval* dibutuhkan antar *subframe* untuk mencegah terjadinya *overlapping* antar *subframe*

. Interval ini biasanya berbanding lurus dengan *send-receive turn around time* (waktu *switching transmit-receive*) dan *delay* transmisi lain. Semakin jauh jarak transmisi dan semakin lama waktu propagasi yang terjadi maka dibutuhkan *guard interval* yang lebih besar.



Gambar 2.12 Skema Pengiriman pada TDD[12]

Struktur *frame* pada mode TDD terdapat 7 kemungkinan rasio perbandingan antara *uplink* dan *downlink* seperti yang terlihat pada *table* berikut.

Tabel 2.5 Rasio Kemungkinan Antara Uplink dan Downlink [18]

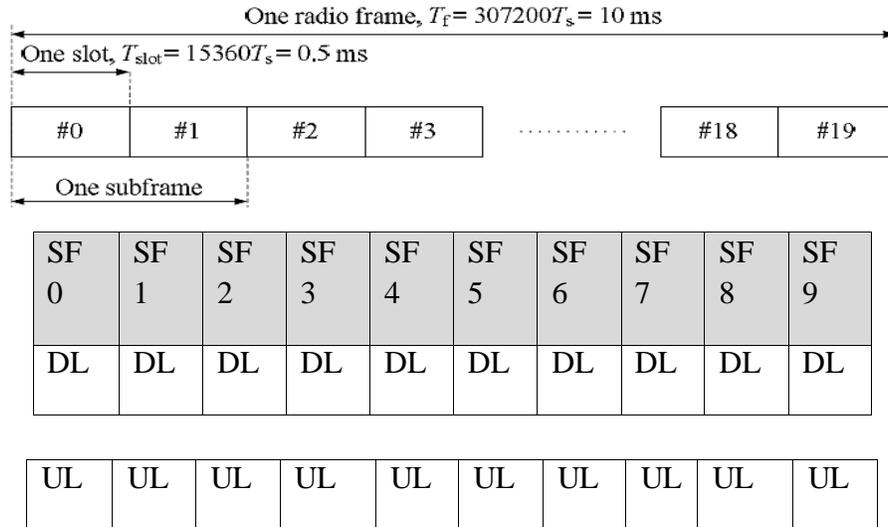
DL:UL	SF 0	SF 1	SF 2	SF 3	SF 4	SF 5	SF 6	SF 7	SF 8	SF 9
1:3	DL	S	UL	UL	UL	DL	S	UL	UL	UL
2:2	DL	S	UL	UL	DL	DL	S	UL	UL	DL
3:1	DL	S	UL	DL	DL	DL	S	UL	DL	DL
6:3	DL	S	UL	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL
7:2	DL	S	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL	DL
8:1	DL	S	UL	DL						
3:5	DL	S	UL	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL

*S : *Subframe* untuk fungsi *switching*

**Subframe* 0 dan 5 selalu digunakan untuk DL

2.10.2 Frequency Division Duplexing (FDD)

Pada system FDD menggunakan 2 frekuensi berbeda pada masing-masing transmisi *uplink* dan *downlink*. Metode FDD memiliki nilai *throughput* jaringan yang sama besar di sisi *uplink* dan sisi *downlink*. Hal tersebut dikarenakan *resource* yang digunakan pada sisi *uplink* dan *downlink* sama[12].



*SF : Subframe

Gambar 2.13 Skema Pengiriman Pada FDD[13].

2.11 SPEKTRUM FREKUENSI

Pemerintahan di suatu negara juga punya cara yang berbeda mengatur pengalokasian rentang pita frekuensi, Di Indonesia misalnya frekuensi 700MHz digunakan untuk siaran TV analog, dan frekuensi 2.600MHz dipakai untuk layanan televisi satelit berlangganan. Ini menjadi salah satu alasan, mengapa frekuensi LTE di setiap negara bisa jadi tidak sama. Sehingga, negara dan operator seluler memilih untuk menyelenggarakan LTE di frekuensi yang tersedia. Di Asia, frekuensi 1.800 MHz dan 2.600 MHz menjadi frekuensi yang umum digunakan untuk penyelenggaraan LTE. Frekuensi ini digunakan oleh Singapura, Hong Kong, Korea Selatan dan beberapa negara Eropa. Di Jepang dan Amerika Serikat, LTE berjalan di frekuensi 700MHz atau 2.100MHz. Beberapa negara juga menggunakan frekuensi 800MHz dan 850MHz untuk LTE [14].

2.11.1 Penataan Spektrum Frekuensi LTE

a. Frekuensi 1800 Mhz

Menteri Komunikasi dan Informatika (Menkominfo), mengungkapkan empat operator telekomunikasi telah sepakat untuk tata ulang (*refarming*) alokasi teknologi 4G Long Term Evolution (LTE) pada frekuensi 1.800 MHz. Keempat operator tersebut yaitu XL Axiata, Telkomsel, Indosat, dan Hutchinson 3 (Tri). frekuensi 1.800 MHz ini memiliki total lebar pita dua kali 75 Mhz. Untuk Telkomsel dan XL Axiata memiliki total frekuensi 22,5 MHz, Indosat 20 MHz, dan Tri 10 MHz.

Refarming perlu dilaksanakan, sebab sebelumnya, blok frekuensi operator di spektrum 1.800 MHz terpisah-pisah alias tak berdampingan. Untuk itu, perlu ditata ulang sebelum menggelar layanan 4G LTE[16].

Eksisting:



Hasil penataan :



Gambar 2.14 Alokasi Spektrum Frekuensi.[15]

b. Frekuensi 2300Mhz

Berdasarkan Penjelasan Pasal 32 Undang-Undang No.36 Tahun 1999, Lampiran Undang-Undang No.17 Tahun 2007, dan Lampiran Peraturan Presiden Republik Indonesia No.5 Tahun 2010, Pemerintah menetapkan kebijakan atas penggunaan pita frekuensi 2.3 GHz berbasis netral teknologi sebagai berikut: Pemerintah memberikan keleluasaan bagi penyelenggara wireless broadband 2.3 GHz untuk memilih teknologi wireless broadband yang memenuhi ketentuan teknis dalam menyelenggarakan layanannya berdasarkan jenis izin penyelenggaraan di wilayah yang telah dimenangkannya, dengan tetap mewajibkan penggunaan perangkat yang memenuhi ketentuan Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN). Pemerintah akan membuka peluang usaha layanan wireless broadband pita frekuensi 2.3 GHz untuk sisa spektrum frekuensi radio pada rentang 2300-2360 MHz dengan moda penggunaan frekuensi TDD teknologi 4G LTE yang digunakan Smartfren menggabungkan teknologi FDD (frequency Division Duplex) yang berjalan di frekuensi 850 MHz dan berjalan di frekuensi 850 MHz dan teknologi TDD (Time Division Duplex) di frekuensi 2300 MHz. Penggunaan dua teknologi ini memberikan keunggulan layanan 4G LTE Smartfren. Teknologi FDD memberikan jangkauan Smartfren 4G LTE menjadi lebih luas, sementara TDD menghasilkan

kapasitas download/akses internet menjadi sangat cepat. Penggabungan dua teknologi 4G LTE ini menjadikan Smartfren sebagai operator 4G LTE pertama di dunia yang menggabungkan FDD dan TDD secara bersamaan. Sementara operator 4G lainnya di Indonesia hanya mengaplikasikan satu platform teknologi 4G LTE saja.[16].

2.12 PARAMETER PERFORMASI PADA JARINGAN LTE

4G LTE merupakan jaringan yang sedang berkembang saat ini sebagai penerus dari jaringan 3G WCDMA dan EVDO. Jaringan LTE ini mampu menawarkan speed hingga 100Mbps dengan menggunakan teknik modulasi OFDM.

Untuk mengukur kualitas dari jaringan 4G LTE ada beberapa parameter yang paling utama yaitu :

a. RSSI (*Received Signal Strength Indicator*)

RSSI Merupakan power sinyal yang diterima user dalam rentang frekuensi Tertentu termasuk noise dan interferensi (disebut juga wideband power) .

RSSI dapat dihitung dengan formula berikut :

$$RSSI = P1 + P2 + P3 \text{ atau } RSSI = 12N * RSRP$$

Dimana:

RSSI = Received Signal Strength Indicator , merupakan sinyal yang diterima ditambah dengan noise dan interferensi.

N = Number of resource Block pada modulasi OFDMA yang digunakan.

RSRP = Reference Signal Received Power, merupakan sinyal LTE power yang diterima user dalam rentang frekuensi tertentu.

P1 = Power noise

P2 = Power Sinyal, P3 = Power interferensi

b. RSRP (*Reference Signal Received Power*)

RSRP merupakan sinyal LTE power yang diterima oleh user dalam frekuensi tertentu. semakin jauh jarak antara site dan user, maka semakin kecil pula RSRP yang diterima oleh user. RS merupakan Reference Signal atau RSRP di tiap titik jangkauan coverage. user yang berada di luar jangkauan maka tidak akan mendapatkan layanan LTE.

RSRP bisa dihitung dengan formula berikut :

$RSRP = RSSI - 10 \log(12 * N)$, dengan penjelasan sebagai berikut :

$RSRP$ = Reference Signal Received Power (dBm)

$RSSI$ = (*Received Signal Strength Indicator*) merupakan power sinyal yang diterima user dalam rentang frekuensi tertentu termasuk noise dan interferensi (dBm)

N = merupakan Number of resource block yang digunakan oleh OFDMA.

c. $RSRQ$ (*Reference Signal Received Quality*)

$RSRQ$ merupakan parameter yang menentukan kualitas dari sinyal yang diterima.

$RSRQ$ dapat dihitung dengan formula berikut :

$RSRQ = (RSRP * N) / RSSI$

$RSRQ$ = Reference Signal Received Quality (dB)

$RSRP$ = Reference Signal Received Power (dBm) merupakan level sinyal yang diterima user.

N = Number of Resource block yang digunakan oleh OFDMA.

$RSSI$ Received Signal Strength Indicator merupakan power sinyal yang diterima user dalam rentang frekuensi tertentu termasuk noise dan interferensi (dBm) berdasarkan formula diatas, semakin besar nilai $RSSI$ maka semakin kecil nilai $RSRQ$. selain itu, semakin besar nilai $RSRP$ maka semakin besar pula nilai $RSRQ$.

d. $SINR$ (*Signal to Interference Noise Ratio*)

$SINR$ merupakan rasio perbandingan antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi dan noise yang timbul (tercampur dengan sinyal utama) .formula dalam menghitung $SINR$ adalah sebagai berikut :

$SINR = P / I + N$

$SINR$ = Signal to Noise Ratio (dB)

P = Power yang diterima pada jarak tertentu.

I = Interferensi yang diterima P akibat site lain yang bekerja pada frekuensi yang sama

N = Noise yang diterima P

e. CQI (*Channel Quality Index*)

Merupakan kualitas dari sebuah channel downlink (dari site ke user) dengan kondisi dedicated mode (pada LTE, user melakukan download data). CQI dapat diperoleh dari

user yang melakukan pemberian informasi terhadap site berupa modulasi yang digunakan, code rate, dan efficiency.

Tabel 2.6 Deskripsi tiap – tiap nilai CQI[7].

CQI Index	Modulation	Code rate x 1024	efficiency
0	Out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
CQI Index	Modulation	Code rate x 1024	efficiency
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

f. PCI (*Physical Cell Id*)

Merupakan kode identitas fisik tiap cell. pada dasarnya, setiap cell akan melakukan broadcast informasi mengenai cell id yang dimilikinya agar user mengenali site tersebut.

PCI memiliki beberapa aturan dalam perancangannya yaitu :

1. Kode PCI tiap cell dalam suatu area harus unik. kondisi ini terjadi ketika dua site tetangga memiliki kode PCI yang berbeda / tidak sama.
2. Sebuah kode PCI tidak boleh sama atau berdekatan diantara 2 site atau lebih. sehingga jarak pun perlu dipertimbangkan apabila kita ingin memberikan kode PCI yang serupa.
3. Jika kode PCI sama antara site yang berdekatan, maka bisa terjadi failure HandOver (perpindahan serving cell) mengenai cell id bisa diidentifikasi sebagai berikut :

$$PCI = PSS + 3 * SSS$$

dengan,

PCI = Physical Cell identity

PSS = Primary Synchronization Signal (bernilai 0 – 2)

SSS = Secondary Synchronization Signal (bernilai 0 – 167)

g. BLER (*Block Error Rate*)

Merupakan rasio perbandingan antara total error block dengan total block dari sebuah transmisi data digital. BLER digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari demodulasi sinyal dengan menggunakan metode CRC. Formula dari BLER adalah:

$$BLER = (\text{Total error Block} / \text{total block}) * 100\%$$

BLER masih dianggap baik apabila bernilai < 10% . semakin besar nilai BLER mengakibatkan gagal demodulasi data digital menjadi informasi[17].

