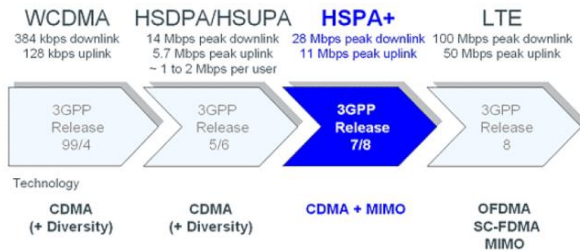


BAB II DASAR TEORI

2.1. Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah *project* dari *Third Generation Project* (3GPP) untuk memperbaiki standar *mobile phone* generasi ke-3 (3G) yaitu *UMTS WCDMA*. LTE ini merupakan pengembangan dan teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSPA(3.5G) yang mana LTE disebut sebagai generasi ke-4 (4G). Pada UMTS kecepatan *transfer* minimal yaitu 2 Mbps, pada HSPA kecepatan *transfer* data mencapai 14 Mbps pada sisi *downlink* dan 5,6 Mbps pada sisi *uplink*, pada LTE ini kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. Selain itu, LTE ini mampu mendukung semua aplikasi yang ada, baik *voice*, data, video maupun IPTV. Perkembangan telekomunikasi menurut standar 3GPP terlihat pada Gambar 2.1.[1]



Gambar 2.1. Evolusi 3GPP. [2]

LTE diciptakan untuk memperbaiki teknologi sebelumnya. Kemampuan dan keunggulan dari LTE terhadap teknologi sebelumnya selain dari kecepatannya dalam transfer data tetapi juga karena LTE dapat memberikan *coverage*, kapasitas, layanan yang lebih besar, mengurangi biaya dalam operasional, mendukung penggunaan *multiple* antena, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* operasinya dan juga dapat terhubung atau terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada.

Long Term Evolution (LTE) itu sendiri dapat bekerja pada frekuensi standar 3GPP yakni mulai dari frekuensi 850 MHz, 900 MHz, 1.800 MHz, 2.300 MHz, dan 2.500 MHz bahkan LTE dapat bekerja di frekuensi 700 MHz. Dengan kemampuan LTE bekerja pada frekuensi 700 MHz, LTE

mempresentasikan kemajuan utama dalam teknologi selular yang akan membawa banyak keuntungan teknis bagi jaringan selular. [3]

2.2 Kriteria Teknologi Jaringan *Long Term Evolution* (LTE)

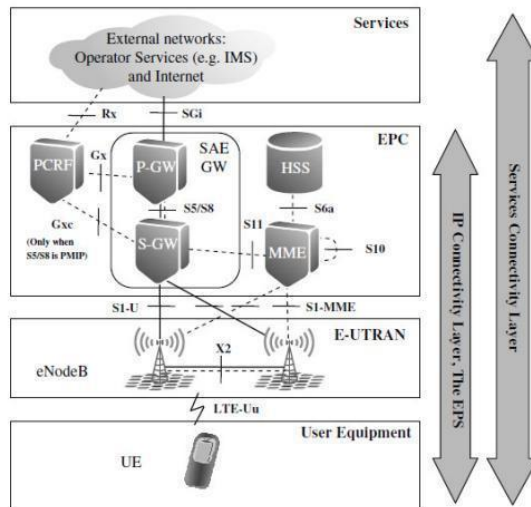
Organisasi 3GPP merumuskan kriteria teknologi LTE sebagai berikut:

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 Switch* (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. [1]

2.3 Arsitektur *Long Term Evolution* (LTE)

Long Term Evolution (LTE) memperkenalkan dalam satu rangkaian dengan *system architecture Evolution* (SAE) sebagai inti jaringan generasi ke empat menurut standar 3GPP. LTE dikenal juga sebagai *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) sementara SAE juga memiliki nama lain *Evolved Packet Core* (EPC). Perbedaan EPC dengan sentral penyambungan generasi sebelumnya adalah bahwa EPC murni bekerja berdasarkan prinsip *Packet Switch* (PS), tidak ada lagi penyambungan *Circuit Switch* (CS).

Arsitektur LTE terdiri atas dua bagian utama yaitu, LTE sendiri yang dikenal dengan E-UTRAN dan SAE yang merupakan jantung dari sistem LTE yang dikenal juga sebagai EPC.[1]



Gambar 2.2 Arsitektur LTE.[4]

Berikut adalah penjelasan dari masing-masing bagian arsitektur LTE :

1. Bagian akses Radio LTE.

a. *User Equipment (UE)*

Adalah perangkat komunikasi pengguna. Perangkat ini dapat berupa telepon genggam, tablet, komputer, maupun segala perangkat cerdas yang dapat terhubung dengan internet. UE juga merupakan perangkat yang ada pada sisi pelanggan yang berfungsi untuk melakukan komunikasi. UE berfungsi sebagai *platform* aplikasi komunikasi dimana sinyal dan jaringan dapat di *setting*. [4]

b. *Evolved NodeB (eNodeB)*

eNodeB adalah antar muka jaringan LTE dengan pengguna. Pada jaringan GSM dikenal sebagai BTS dan pada jaringan UMTS dikenal sebagai *NodeB*. Perbedaan *NodeB* dengan BTS maupun *eNodeB* adalah kemampuannya untuk melakukan fungsi kontrol sambungan dan *handover*. Dengan demikian tidak ada lagi pengatur tambahan seperti BSC atau RNC pada sistem LTE.[1]

eNodeB berfungsi untuk mengawasi dan mengontrol pengiriman sinyal yang dibawa oleh sinyal radio dan berperan dalam autentifikasi

yang bertujuan mengontrol kelayakan data yang melewati *eNodeB*. *eNodeB* merupakan penyederhanaan dari *NodeB* dan RNC sehingga dengan *eNodeB* dapat mengurangi biaya operasional perangkat dan menjadikan arsitektur lebih sederhana. [4]

2. Bagian Sentral (SAE)

a. *Serving Gateway (S-GW)*

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)*. [1]

b. *Packet Data Network Gateway (P-GW)*

Bertugas mengatur hubungan jaringan data antara UE dengan jaringan paket data lain diluar 3GPP seperti WLAN, Wimax, CDMA 2001x dan EVDO. [1]

c. *Mobility Management Entity (MME)*

MME adalah elemen kontrol utama yang terdapat pada *Evolved Packet Control (EPC)*, fungsinya seperti MSC pada teknologi GSM, MME adalah inti dari teknologi LTE. MME mempunyai fungsi – fungsi penting antara lain adalah merupakan pengontrol setiap node pada jaringan akses LTE. [1]

Pada saat UE dalam kondisi tidak aktif, MME bertanggung jawab dalam melakukan prosedur tracking dan paging. Saat UE tidak aktif, MME bertugas untuk memulihkan S-GW yang tepat selama berlangsungnya komunikasi. [1]

d. *Policy and Charging Rules Function (PCRF)*

Befungsi menentukan *Quality of Service (QoS)* dan *charging* untuk masing-masing UE. [1]

e. *Home Subscription Services (HSS)*

HSS merupakan database utama pada jaringan long term evolution untuk membantu MME dalam melakukan manajemen pelanggan dan pengamanan. Penerimaan atau penolakan UE pada saat autentikasi bergantung pada *database* HSS.[1]

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*. [1]

Tabel 2.1 Jumlah Resource block LTE untuk setiap bandwidth. [1]

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

2.4 Teknologi Transmisi *Long Term Evolution*

2.4.1 Mode Akses Radio

Pada suatu jaringan komunikasi selular penting untuk mempertimbangkan kemampuan jaringan dalam melakukan komunikasi dua arah secara simultan (*full duplex*), maka dari itu dibutuhkan suatu teknik duplex pada jaringan tersebut. Terdapat dua teknik duplex yang biasa digunakan yaitu *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD). FDD adalah teknik *duplex* yang menggunakan dua frekuensi berbeda untuk melakukan komunikasi dua arah, dengan teknik ini maka dapat mengirim dan menerima sinyal secara simultan dengan frekuensi yang berbeda. TDD adalah teknik *duplex* dengan menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan penerimaan dan pengiriman data, untuk pengiriman dan penerimaan dibedakan dengan basis waktu sehingga setiap kanal memiliki waktu yang berbeda.[4]

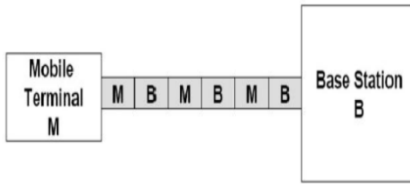
Perbedaan teknik FDD dan TDD dapat dilihat pada Gambar :

a. Teknik FDD



Gambar 2.3 Teknik FDD [5].

b. Teknik TDD



Gambar 2.4 Teknik TDD. [5]

Pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa dalam teknik FDD lebih unggul dalam menanganai *latency* dibandingkan dengan TDD karena kanal harus menunggu lebih lama untuk waktu pemrosesan dalam *multiplexing*. *Long Term Evolution* mendukung kedua teknik *duplex* tersebut baik FDD maupun TDD, LTE dapat menggunakan kembali semua *band* frekuensi yang digunakan pada UMTS. [5]

Tabel 2.2 FDD Band.[5]

Band	Frequencies	
	UL (MHz)	DL (MHz)
1	1920-1980	2110-2170
2	1850-1910	1930-1990
3	1710-1785	1805-1880
4	1710-1755	2110-2170
5	824-849	869-894
6	830-840	875-885
7	2500-2570	2620-2690
8	880-915	925-960
9	1750-1785	1845-1880
10	1710-1770	2110-2170
11	1428-1453	1476-1501
12	698-716	728-726
13	777-787	746-756
14	788-798	758-768
15	704-716	734-746

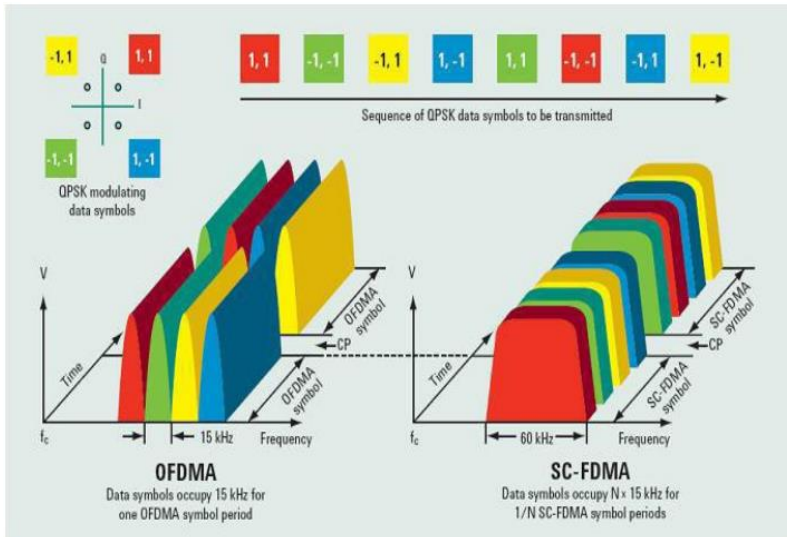
Tabel 2.3 TDD Band.[5]

Band	Frequencies UL/DL (MHz)
33,34	1900-1920 2010-2025
35,36	1850-1910 1930-1990

Band	Frequencies UL/DL (MHz)
37	1910-1930
38	2570-2620
39	1880-1920
40	2300-2400

2.5 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 [4]:



Gambar 2.5 OFDMA dan SC-FDMA. [4]

Orthogonal Frequency Division Mutiple 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* memungkinkan menggunakan carrier berbeda-beda dengan ukuran *bandwidth* yang sama.

Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) merupakan sistem komunikasi *wireless* dengan skema penggunaan jamak dari modulasi *Single Carrier* dengan *Frequency Domain Equalization* (SC/FDE). Teknik ini dapat dikatakan sebagai pengembangan dari OFDMA yang telah ada.[4]

2.6 Teknik Modulasi Adaptif Coding (AMC)

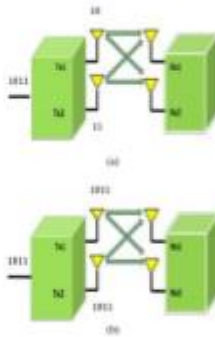
AMC adalah salah satu teknologi pendukung LTE, digunakan untuk menentukan skema coding dan modulasi yang digunakan berdasarkan *Channel Quality Indicator* (CQI), CQI efektif digunakan untuk mengukur *bandwidth* dan kualitas sambungan (*link quality*) atau diukur dengan *Signal To Noise Ratio* (SNR) , semakin baik kualitas channel maka user dapat menggunakan orde modulasi dan *coding rate* yang lebih tinggi untuk memberikan kapasitas *bit rate* yang lebih besar begitu sebaliknya apabila kondisi *channel* kurang baik maka digunakan orde modulasi dan *coding rate* yang lebih rendah untuk menjaga jaringan agar lebih stabil. Modulasi yang mendukung teknologi *Long Term Evolution* adalah 64QAM, 16QAM dan QPSK. [7]

Jenis modulasi yang digunakan dilihat dalam tabel CQI index berikut:

Tabel 2.4 *CQI Index*. [1]

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

2.7 Multiple Input Multiple Output (MIMO)



Gambar 2.6 Konfigurasi MIMO [6]

Long Term Evolution menggunakan sistem *multiple* antena untuk mendukung kecepatan dalam pengiriman data, sistem yang digunakan yaitu *Multiple Input Multiple Output* dengan teknologi MIMO sebuah *receiver* atau *transmitter* menggunakan lebih dari satu antena. Tujuan menggunakan teknologi tersebut adalah untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga tidak saling mengganggu. [5]

Teknologi *Long Term Evolution* telah mendukung tipe MIMO baik sistem MIMO dengan menggunakan 2 antena *transmit* dan 2 antena *receive* (MIMO 2x2), 2 antena *transmit* dan 4 antena *receive* dan yang terakhir adalah 4 antena *transmit* dan 4 antena *receiver*. MIMO mempunyai kelemahan, yaitu adanya waktu interval yang menyebabkan sedikit *delay* pada antena saat mengirimkan sinyal, waktu interval terjadi karena adanya proses dimana sistem harus membagi sinyal mengikuti jumlah antena yang dimiliki oleh perangkat MIMO yang lebih dari satu. [7]

2.8 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. [6]

2.8.1 Propagasi Cost-231

Pada penelitian Skripsi ini jenis propagasi yang digunakan adalah propagasi Cost-231 karena dilihat dari frekuensi yang digunakan, yaitu frekuensi 1800 MHz, dimana pada propagasi Cost-231 rentangnya yaitu dari frekuensi 1500-2000 MHz.

Model Cost-231 merupakan kombinasi model empiris dan deterministik untuk estimasi path loss dan untuk mengetahui radius sel pada *Personal Communication System (PCS)* pada wilayah dense urban yang digunakan pada range frekuensi 1500-2000 MHz. Model ini merupakan formula pengembangan rumus Okumura Hatta. [6]

$$L_p \text{ (dB)} = 46.3 + 33.9 \log (fc) - 13.28 \log (ht) - a(hre) + 44.9 - 6.55 \log (ht) \log d + CM \dots\dots\dots (2.1)$$

$$(Hm) = (1.1 \log(f) - 0,7 \times Hm - (1,56 \log(f) - 0,8)) \dots\dots\dots (2.2)$$

CM = 0 untuk ukuran medium kota dan daerah sub urban

CM = 3 untuk daerah pusat kota (metropolitan)

Keterangan :

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

f = frekuensi 1500 MHz sampai 2000 MHz

hte = tinggi antena efektif BS (m)

hre = tinggi antena efektif MS (m)

2.9 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.[8]

A. *Reference Signal Received Power (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.[8]

Tabel 2.5 Rentang Nilai RSRP. [8]

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>

B. Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

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. [8]

Tabel 2.6 Rentang Nilai SINR. [8]

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>

Tabel 2.7 Minimum AWGN SNR.[9]

MCS Index	Downlink			Uplink		
	Modulation	Code Rate	SNR, dB	Modulation	Code Rate	SNR, dB
0	QPSK	0,1172	-6,475	QPSK	0,1000	-7,231
1	QPSK	0,1553	-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	-0,554
7	QPSK	0,5137	1,5137	QPSK	0,4300	0,440
8	QPSK	0,5879	2,479	QPSK	0,4900	1,263
9	QPSK	0,6631	3,335	QPSK	0,5550	2,085
10	16QAM	0,3320	3,335	QPSK	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	4,771
14	16QAM	0,5400	7,403	16QAM	0,4500	5,784
15	16QAM	0,6016	8,478	16QAM	0,5025	6,727
16	16QAM	0,6426	9,168	16QAM	0,5350	7,313
17	16QAM	0,4277	9,168	16QAM	0,5700	7,931
18	16QAM	0,4551	9,846	16QAM	0,6300	8,963
19	16QAM	0,5049	11,060	16QAM	0,6925	10,010

MCS Index	Downlink			Uplink		
	Modulation	Code Rate	SNR, dB	Modulation	Code Rate	SNR, dB
20	64QAM	0,5537	12,250	16QAM	0,7515	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
24	64QAM	0,7539	16,934	64QAM	0,6283	14,017
25	64QAM	0,8027	18,067	64QAM	0,6700	14,991
26	64QAM	0,825	19,196	64QAM	0,7100	15,920
27	64QAM	0,887	20,032	64QAM	0,7417	16,652
28	64QAM	0,9258	20,866	64QAM	0,7717	17,343

C. Radio Bearer

Merupakan parameter yang mewakili nilai *CQI Index*. *CQI Index* sendiri merupakan parameter yang menunjukkan jenis modulasi yang digunakan pada sistem jaringan LTE. [6]

2.10 Perencanaan Jaringan Long Term Evolution

Perencanaan jaringan pada umumnya bertujuan untuk membangun jaringan yang efektif dan efisien, maka dari itu banyak faktor yang perlu diperhatikan diantaranya adalah standar yang telah ditetapkan dan permintaan untuk memenuhi kebutuhan tidak hanya pada saat tahun perencanaan saja tetapi juga dimasa depan, termasuk didalamnya adalah perencanaan dari cakupan dan kapasitas.[7]

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 :[6]

2.10.1 Coverage Planning.

2.10.1.1 Radio Link Budget Arah Downlink

Perhitungan *radio link budget* perlu dilakukan pada saat proses perencanaan, perhitungan tersebut dilakukan pada dua sisi downlink dan uplink. Perhitungan MAPL terdapat dua arah MAPL yaitu MAPL arah downlink dan MAPL arah uplink . MAPL arah downlink adalah daya pelemahan sinyal dari antenna *eNodeB* kearah UE, dan MAPL arah uplink adalah daya pelemahan sinyal dari antenna UE kearah *eNodeB*. [1]

Sebelum melakukan Perhitungan MAPL arah *downlink*, dibutuhkan beberapa persamaan yang menyusun rumus MAPL tersebut, maka dari itu

sebelum menuliskan rumus MAPL, dibutuhkan beberapa persamaan seperti berikut :

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

Persamaan dari EIRP arah downlink adalah sebagai berikut : [9]

$$EIRP = P + G_{TXDG} - L_{TXLL} + G_{TX} + G_{AA} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

- P = Transmit RF Power (dBm)
- G_{TXDG} = Transmit Diversity Gain (dB)
- L_{TXLL} = Transmit RF Line Loss (dB)
- G_{TX} = Transmit Antenna Gain (dBi)
- G_{AA} = Transmit Adaptive Array Gain (dB)

Selanjutnya adalah menentukan persamaan *Effective Receiver Faded Sensitivity* (R_{XEFS}), R_{XEFS} ditentukan dengan mengurangi loss dan menjumlahkan gain antara penerima dan Rx antenna. Berikut adalah persamaannya :

$$R_{XEFS} = R_{XFS} - G_{RX} + L_{RXLL} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

- R_{XFS} = Rx Faded Sensitivity (dBm)
- G_{RX} = Gain Antenna Rx (dBi)
- L_{RXLL} = Rx Line Loss (dB)
- L_{Xfs} = $kT + 10 \log (SC_{BW} + SC_{O}) + NF + SNR + FF - L_{RXDG} - HARQ \dots \dots \dots (2.5)$

Keterangan :

- k = Konstanta Boltzman (1.38 x 10⁻²⁰ mWs/K)
- T = Temperature (K)
- SCBW = Subcarrier Bandwidth (Hz)
- SCo = Occupied Subcarriers
- NF = Noise Figure (dB)
- SNR = Signal To Noise Ratio (dB)
- FF = Fast Fade Margin (dB)
- G_{RXDG} = Rx Diversity Gain (dB)
- HARQ = Hybrid Automatic Repeat ReQuest (dB)

Tabel 2.8 Subcarrier Bandwidth.[9]

Channel Bandwidth MHz	1,4	3	5	10	15	20
Subcarrier Bandwidth Khz	15	15	15	15	15	15
Subcarrier per Resource Block	12	12	12	12	12	12
Number of Resource Block	6	15	25	50	75	100

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

$$\text{MAPL} = \text{EIRP} - \text{RX}_{\text{EFS}} - \text{L}_{\text{BV}} - \text{M}_{\text{interference}} - \text{M}_{\text{SF}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

RX_{EFS} = *Effective Rx Faded Sensitivity* (dBm)

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

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

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

2.10.1.2 Model Propagasi

Model propagasi yang digunakan pada penelitian Skripsi ini yaitu menggunakan propagasi Cost-231, karena frekuensi kerja pada Skripsi ini yaitu 1800 Mhz.

2.10.2 Capacity Planning

2.10.2.1 Estimasi Jumlah Pelanggan

Estimasi jumlah pelanggan diperhitungkan untuk mengantisipasi jumlah pelanggan selama periode tertentu, adapun persamaannya adalah sebagai berikut [5]:

$$Un = U_0(1+fp)^n \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

Un = jumlah pelanggan pada tahun ke-n

U₀ = jumlah pelanggan pada tahun perencanaan

fp = Faktor pertumbuhan pelanggan (%) n = jumlah tahun prediksi

n = jumlah tahun prediksi

2.10.2.2 Perhitungan Besaran Throughput

$$\text{Throughput} = \text{Bearer rate} \times \text{Session time} \times \text{Session duty ratio} \times [1/(1-\text{BLER})] \dots\dots\dots(2.12) [10]$$

Bearer rate = Application layer bit rate

Session time = Duration per service

Session duty ratio = Data transmission ratio per session

BLER = Tolerated Block Error Rate

2.10.2.3 Perhitungan Single User Throughput

$$\text{Single User Throughput} = \frac{[\sum \left(\frac{\text{throughput}}{\text{Session}} \right) \times \text{BHSA} \times \text{Penetration Rate} \times (1+\text{PAR})]}{3600} \dots\dots\dots(2.13)[8]$$

Keterangan :

BHSA = *Busy Hour Service Attempt*

Penetration Rate = Pelayanan yang baik untuk *customer*

PAR = *Peak to Average Ratio* = 10%

2.10.2.4 Perhitungan *Network Throughput Downlink dan Uplink*

$$\text{Uplink Network Throughput} = \text{Total user Number} \times \text{UL Single user throughput} \dots \dots \dots (2.14) [8]$$

$$\text{Downlink Network Throughput} = \text{Total user number} \times \text{DL Single user throughput} \dots \dots \dots (2.15) [8]$$

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* pada tahun perencanaan

2.10.2.5 Perhitungan *Resource Capacity Uplink dan Downlink*

$$\text{UL Resource Capacity} + \text{CRC} = (168-24) \times (\text{code bits}) \times (\text{code rate}) \times \text{Nrb} \times \text{C} \times 1000 \dots \dots \dots (2.16) [10]$$

$$\text{DL Resource Capacity} + \text{CRC} = (168-36-12) \times (\text{code bits}) \times (\text{code rate}) \times \text{Nrb} \times \text{C} \times 1000 \dots \dots \dots (2.17) [10]$$

Keterangan :

CRC= 24

Cb= *Code bits*

Cr= *Code Rate*

Nr= *Number of Resource Block*

C = Model antena MIMO

2.10.2.6 Perhitungan Total Jumlah *eNodeB*

$$\text{Jumlah } e\text{NodeB } B_1 = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Site Capacity}} \dots \dots \dots (2.18) [8]$$

$$\text{Jumlah } e\text{NodeB } B_2 = \frac{\text{Jumlah user}}{\text{jumlah user tiap sel}} \dots \dots \dots (2.19) [8]$$

2.11 *Software Atoll*

Dalam perencanaan jaringan seluler, digunakan *software* perencanaan untuk mensimulasikan hasil perencanaan. Salah satu *software* yang biasa

digunakan untuk simulasi hasil perencanaan adalah *Atoll*. Secara umum *Atoll* terdiri dari 3 menu utama, yaitu [4]:

1. *Toolbar* Menu

Yang terdiri dari beberapa tool yang digunakan dalam perencanaan seperti skala untuk map, *template transmitter*, serta beberapa *tool* umum yang digunakan untuk mengolah dokumen perencanaan.

2. *Explore* Menu

Terdiri dari 3 bagian utama, yaitu :

a. *The Data tab*

Menu ini berfungsi untuk mengolah beberapa data yang digunakan untuk perencanaan sesuai dengan modul standar teknologi yang digunakan, meliputi data *parameter sites*, *transmitter*, *subcarrier profile*, menu simulasi hasil perencanaan, dan beberapa menu yang lain untuk mendukung perencanaan.

b. *The Geo Tab*

Menu ini berfungsi untuk mengolah data geografi yang digunakan dalam perencanaan yang meliputi peta wilayah perencanaan dan karakteristik wilayah perencanaan.

c. *The Modules Tab*

Menu ini berfungsi untuk mengolah data model propagasi yang digunakan dalam perencanaan jaringan seluler.

d. Map Menu

Berfungsi sebagai area kerja untuk menampilkan map wilayah perencanaan dan posisi *base station* hasil perencanaan.

2.12 **Radio Frequency Planning**

Atoll memiliki fitur untuk melakukan perencanaan jaringan LTE yang sangat lengkap. Di dalam *software Atoll* ini terdapat berbagai beberapa menu untuk memudahkan dalam menggunakan atau mempelajari *software* ini, antara lain : [6]

1. *Coverage by signal level* : Menghitung area yang tertutupi oleh level sinyal dari tiap cell.
2. *Coverage by C/(I+N) level (DL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh SINR *downlink*. SINR adalah perbandingan antara kuat sinyal dengan kuat.
3. *Coverage by C/(I+N) level (UL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh SINR *uplink*.
4. *Coverage by throughput (DL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh *throughput downlink*.

5. *Coverage by throughput (UL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh *throughput uplink*.

RF Engineer atau *Radio Frequency Engineer* adalah seseorang yang bertanggung jawab terhadap segala sesuatu hal pada jaringan seluler yang berhubungan dengan sisi radio. Sebenarnya sisi radio hanya salah satu bagian dari keseluruhan jaringan operator yang kompleks, tetapi di sisi lain kualitas jaringan radio dapat menentukan performansi kualitas operator tersebut. Karena di sisi radio kita dapat mengetahui *user perception* yang dialami oleh pengguna jaringan operator tersebut.[11]

RF Planning dan *Optimization* adalah sebuah bagian yang bertanggung jawab pada proses awal perencanaan BTS atau *eNodeB* sampai pada perencanaan detail mengenai alokasi site, alokasi frekuensi, ketinggian antena, *azimuth* antena, sampai dengan proses monitoring performansi site setelah site tersebut *on air* dan juga proses optimisasi setelahnya, sehingga mencapai performansi yang diinginkan oleh operator.[11]