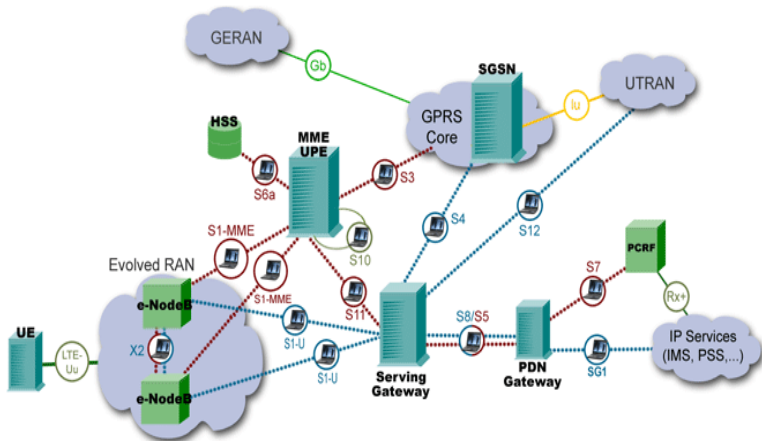


BAB II DASAR TEORI

2.1 LONG TERM EVOLUTION (LTE)[1]

Long Term Evolution (LTE) adalah jaringan akses radio evolusi jangka panjang keluaran dari *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). LTE merupakan kelanjutan dari teknologi generasi ketiga (3G) WCDMA-UMTS. LTE diperkenalkan dalam satu rangkaian dengan *System Architecture Evolution* (SAE) sebagai inti jaringan generasi keempat 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).



Gambar 2.1 Arsitektur LTE [2]

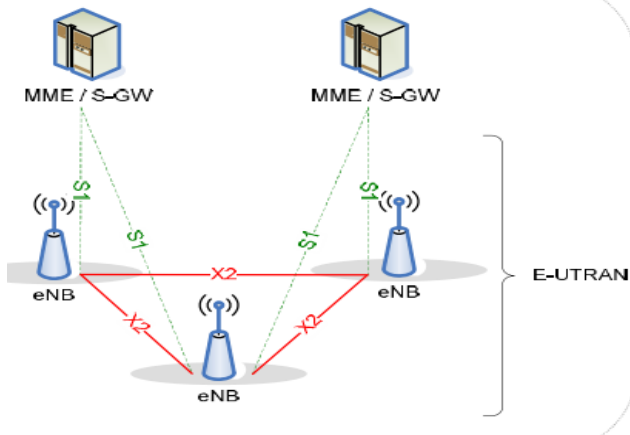
Gambar 2.1 merupakan gambar arsitektur atau bagian-bagian pada LTE. Arsitektur LTE terdiri atas dua bagian utama yakni LTE itu sendiri yang dikenal sebagai E-UTRAN dan SAE yang merupakan inti dari sistem LTE yang dikenal sebagai EPC. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing bagian dari arsitektur LTE.

2.1.1 E-UTRAN

Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) adalah sistem arsitektur LTE yang memiliki fungsi menangani sisi radio akses dari UE ke jaringan *core*. Berbeda dengan teknologi sebelumnya pemisahan yakni *NodeB* dengan

RNC menjadi satu elemen sendiri, pada sistem LTE E-UTRAN hanya terdapat satu komponen yaitu *Evolved Node B (eNodeB)* yang menggabungkan antara keduanya. eNodeB secara fisik adalah suatu *base station* yang terletak dipermukaan bumi (*BTS Greenfield*) atau ditempatkan di atas gedung-gedung (*BTS Rooftop*).

Pada eNodeB LTE memungkinkan dilakukan *protocol control plane* dan *air interface user plane* secara bersamaan dalam satu unit tersebut. Bila pada arsitektur UTRAN NodeB hanya memiliki konektivitas dengan RNC sehingga apabila NodeB ingin berkomunikasi dengan NodeB lainnya harus melewati RNC. Hal tersebut menimbulkan *delay time* sehingga tidak efisien. Namun pada LTE eNodeB dapat langsung berhubungan dengan eNodeB lainnya tanpa harus melewati RNC terlebih dahulu sehingga tidak menimbulkan *delay time*. eNodeB memiliki 2 *interface* sekaligus yakni *interface S1* untuk berhubungan dengan EPC dan *interface X2* untuk berhubungan langsung antar eNodeB. Fungsi *interface X2* adalah untuk mendukung akses komunikasi dan penerusan paket trafik pada saat UE melakukan *handover*. *Interface X2* merupakan suatu *logical interface* dan bukan berupa *physical interface*.



Gambar 2.2 E-UTRAN[3]

Gambar 2.2 merupakan gambar bagian LTE pada sisi E-UTRAN. S1-MME adalah *interface* yang ada berfungsi sebagai *Control Plane*. S1-MME merupakan *interface* yang menghubungkan eNodeB ke MME. Sedangkan *Control Plane*

merupakan bagian jaringan LTE yang mengurus *signalling user*. Pada *Control Plane* terdiri atas protokol yang digunakan untuk mengontrol dan mendukung fungsi dari *User Plane*.

S1-U merupakan salah satu *interface* yang ada pada *interface User Plane*. *User plane* merupakan entitas jaringan yang menangani *user data*. *Interface* ini yang digunakan antara E-UTRAN dan *Serving Gateway (SGW)* untuk *tunneling data user plane* antar eNodeB selama proses *handover*.

Air *interface* merupakan penghubung antara UE dan eNodeB. *Interface* ini menggunakan teknik TDMA (*Time Division Multiple Access*) untuk jalur kirim dan terima serta pensinyalan antar UE dan eNodeB. *Interface* ini digunakan untuk melayani pesan antara eNodeB dan UE melalui frekuensi radio dan menentukan pesan yang tepat untuk UE.

2.1.2 Bagian Akses Radio

1. *User Equipment (UE)*

UE adalah perangkat dalam LTE yang terletak paling ujung dan berdekatan dengan user. UE pada LTE tidak berbeda dengan UE pada UMTS atau teknologi sebelumnya. Perangkat ini dapat berupa telepon genggam, tablet, komputer maupun segala perangkat yang terhubung dengan internet.[1]

2. *Evolved NodeB (eNodeB)*

eNodeB adalah antarmuka jaringan LTE dengan pengguna. Pada jaringan GSM dikenal dengan BTS dan pada jaringan UMTS dikenal dengan NodeB. Perbedaan antara eNodeB dengan BTS dan NodeB adalah kemampuannya untuk melakukan fungsi kontrol sambungan dan *handover*. Dengan begitu tidak ada lagi pengaturan tambahan seperti BSC atau RNC pada sistem LTE. eNodeB memiliki dua tugas penting yakni yang pertama adalah sebagai radio *transmitter* dan *receiver*. Dan yang kedua adalah mengontrol *low-level operation* semua *mobile user* dengan cara mengirim suatu sinyal tertentu berupa pesan seperti pada saat proses *handover*. Pada proses kedua ini eNodeB memegang prinsip seperti NodeB dan fungsi *Radio Network Controller (RNC)* pada jaringan UMTS. Dengan hal ini akan meningkatkan efisiensi dan optimalisasi dengan mengurangi *latency* yang muncul ketika proses pertukaran informasi antara jaringan

dengan UE pada saat *handover*. Pada saat eNodeB berkomunikasi dengan *mobile user* maka kondisi ini disebut dengan *Serving eNodeB*. [1]

2.1.3 Evolved Packet Core/ EPC

EPC merupakan sebuah sistem yang baru dalam evolusi arsitektur komunikasi selular dimana pada bagian *core network* menggunakan *all-IP* yang berbasis paket *realtime* dan layanan *non realtime* yang dibentuk oleh 3GPP *release 8*. Generasi ponsel sebelumnya 2G atau 3G, EPC menyediakan fungsi *core mobile* yang dibagi menjadi dua bagian yang terpisah yaitu *Circuit Switch (CS)* untuk *voice* dan *Packet Switch (PS)* untuk data. Sedangkan untuk LTE kedua *sub domain (CS dan PS)* dalam pengolahan antara *mobile voice* dan data akan bersatu menjadi bentuk IP tunggal. LTE akan menjadi sistem *end-to-end* nya menggunakan IP yang disebut *Evolved NodeB*.

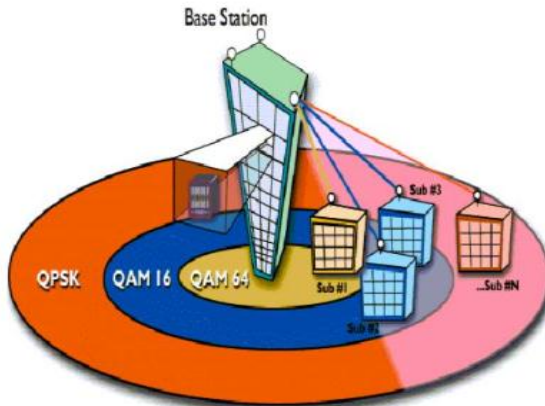
Dengan adanya EPC yang mempunyai performansi yang tinggi dan kapasitas yang besar pada *all-IP* di *core network* membuat LTE dapat memberikan layanan *realtime* yang lebih baik dan layanan media yang dapat meningkatkan *Quality of Experience (QoE)*.

2.2 TEKNOLOGI PENDUKUNG LTE

Teknologi pendukung sangat dibutuhkan untuk mencapai performansi yang maksimal pada jaringan LTE.

2.2.1 Adaptive Modulation and 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. [11]

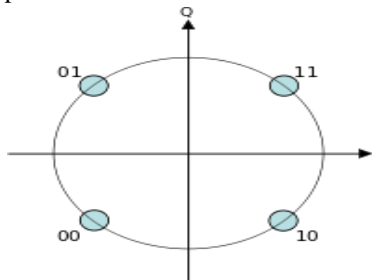


Gambar 2.3 Adaptive Modulation and Coding[11]

Gambar 2.3 merupakan skema Adaptive Modulation and Coding pada LTE. Skema modulasi pada Long Term Evolution masing – masing adalah sebagai berikut :

1. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK termasuk kedalam kategori *low order* karena QPSK hanya terdiri dari 4 simbol dan setiap symbol terdiri dari 2 bit. Modulasi QPSK digunakan pada saat kondisi kanal antara pengirim dan penerima rendah atau jelek, QPSK lebih tahan terhadap interferensi.

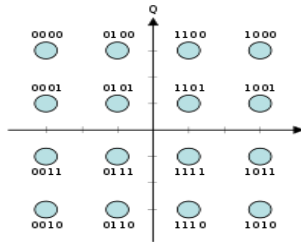


Gambar 2.4 Diagram Konstelasi Modulasi QPSK[4]

Gambar 2.4 merupakan gambar diagram konstelasi modulasi QPSK.

2. 16 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Modulasi 16 QAM terdiri dari 16 simbol dimana setiap symbol terdiri dari 4 bit.

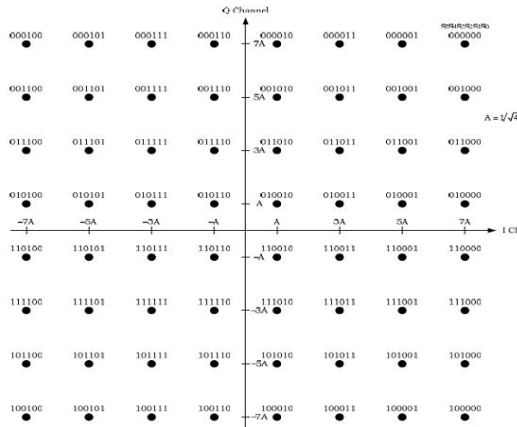


Gambar 2.5 Diagram konstelasi 16 QAM[4]

Gambar 2.5 merupakan gambar diagram konstelasi modulasi 16 QAM.

3. 64 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

64 QAM modulation terdiri dari 64 simbol dimana setiap symbol terdiri dari 6 bit. 64 QAM digunakan pada saat kondisi kanal antara pengirim dan penerima cukup baik, dilihat dari SINR yang tinggi. 64 QAM mempunyai kelebihan yaitu dapat memebrikan laju data yang tinggi sedangkan untuk kekurangannya adalah rentan terhadap noise.



Gambar 2.6 Diagram Konstelasi Modulasi 64 QAM[4]

Gambar 2.6 merupakan gambar diagram konstelasi modulasi 64 QAM.

Pada SINR minimum terdapat istilah yang penting untuk dimengerti yaitu *code rate*, *code rate* menentukan besar kecilnya bit *redundancy* pada bit informasi, sebagai contohnya adalah apabila QPSK $\frac{1}{2}$ berarti setiap bit informasi mempunyai 1 bit *redundancy*. Pemilihan *code rate* disesuaikan dengan

kondisi kanal, apabila kanal berada pada kondisi baik maka dapat digunakan code rate yang besar dan apabila kanal dalam kondisi buruk dapat digunakan *code rate* yang kecil. [2]

2.2.2 Sistem Antena

Terdapat beberapa macam sistem antena diantaranya yaitu:

1. *Single Input Single Output* (SISO)



Gambar 2.7 Antena SISO[1]

Dapat dilihat pada gambar 2.7 antena SISO berarti pada sisi pemancar dan penerima hanya terdapat satu antena.

2. *Single Input Multiple Output* (SIMO)



Gambar 2.8 Antena SIMO[1]

Pada gambar 2.8 menunjukkan antena SIMO dimana hanya terdapat satu antena pada sisi pemancar tetapi terdapat beberapa antena pada sisi penerima.

3. *Multiple Input Single Output* (MISO)



Gambar 2.9 Antena MISO[1]

Pada gambar 2.9 menunjukkan antena MISO dimana pada sisi pemancar terdapat beberapa antena sedangkan pada sisi penerima hanya terdapat satu antena.

4. *Multiple Input Multiple Output* (MIMO)



Gambar 2.10 Antena MIMO[1]

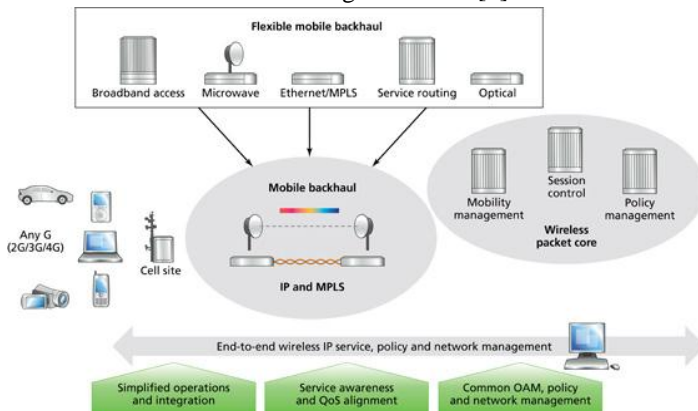
Pada gambar 2.10 menunjukkan antenna MIMO dimana pada sisi pemancar dan penerima terdapat lebih dari satu antenna.

Long Term Evolution menggunakan sistem *multiple* antenna 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 antenna. Tujuan menggunakan teknologi tersebut adalah untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga tidak saling menggagalkan.

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

2.3 PENGERTIAN BACKHAUL

Backhaul adalah suatu jalur atau link yang menghubungkan dari suatu *Base Station* (BS) ke suatu *Core Network* (CN) untuk mengambil trafik dari BS tersebut dan dihubungkan ke CN.[5]



Gambar 2.11 Backhaul[15]

Gambar 2.11 merupakan gambar macam-macam jenis *link backhaul* yang umum digunakan. Ada beberapa jenis media transmisi yang dapat digunakan sebagai link *backhaul* seperti *microwave*, *fiber optic* dan lain sebagainya. Akan tetapi yang akan penulis bahas pada tugas akhir ini adalah *backhaul* dengan menggunakan *microwave*.

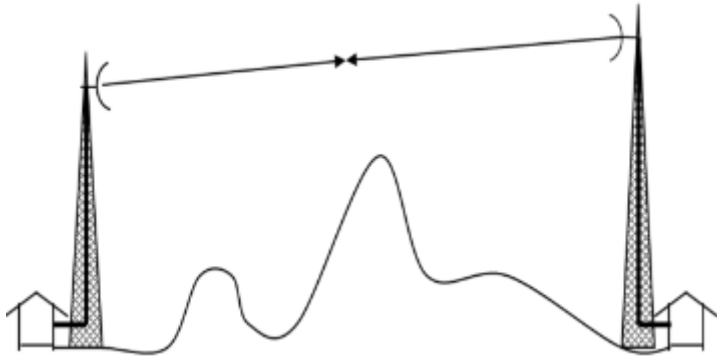
Backhaul yang digunakan dalam suatu perancangan memiliki beberapa topologi jaringan, seperti *ring*, *star*, dan *mesh*. Pada perancangan jaringan *backhaul* untuk mendukung jaringan LTE ini menggunakan topologi jaringan *star* atau *tree*. Alasannya karena topologi *tree* atau *star* juga memiliki kelebihan yaitu jalur pendek sehingga membutuhkan antena yang lebih kecil, jika salah satu *site* bermasalah maka *site* yang lain tidak akan terganggu dan jika akan mengubah atau menambahkan titik baru kedalam jaringan maka mudah dilakukan tanpa harus mengganggu aktifitas jaringan *site* yang lain.

2.4 TRANSMISI MICROWAVE

2.4.1 Sistem Komunikasi Gelombang Mikro

Sistem komunikasi gelombang mikro sendiri bertujuan untuk mengirimkan suatu informasi dari suatu tempat ke tempat lain tanpa adanya gangguan dan informasi tersebut dapat diterima dengan jelas. Frekuensi yang digunakan dalam transmisi gelombang mikro yaitu 2 GHz sampai dengan 24 GHz sesuai dengan yang direkomendasikan oleh CCIR (*Commite Consultative International on Radio*).[6]

Komunikasi radio *microwave* adalah komunikasi tanpa kabel yang memanfaatkan udara bebas sebagai media transmisi untuk membawa sinyal informasi. Sistem komunikasi *microwave* terdiri atas dua bagian pokok, yaitu pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Dalam perjalanannya dari antena pemancar ke antena penerima, gelombang radio melalui berbagai lintasan dengan beberapa mekanisme perambatan dasar. Mekanisme perambatan dasar tersebut adalah *Line of Sight (LOS)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, yang merupakan lintasan gelombang radio yang mengikuti garis pandang yang berarti bahwa antara antena pemancar dan antena penerima tidak ada penghalang (*obstacle*), yang menghalangi lintasan perambatan gelombang mikro.[19]



Gambar 2.12 Propagasi LOS[19]

Gambar 2.12 merupakan gambar propagasi LOS antara antenna pengirim ke antenna penerima.

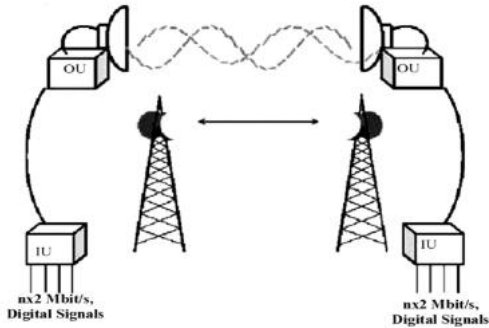
Antena *microwave* merupakan antenna yang digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal. Antena *microwave* umumnya berbentuk seperti antenna parabola. Diameter antenna *microwave* meliputi 0,3 meter, 0,6 meter, 1,2 meter, 1,8 meter, dan 2,4 meter.[8]

2.4.2 Komponen *Link Microwave*

Terdapat dua komponen utama dalam *link microwave* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14, yaitu Indoor Unit (IU) dan *Outdoor unit* (OU) serta terdapat *multiplexer* dan *combiner* sebagai komponen pendukungnya.[19]

1. *Indoor Unit* (IU)

Indoor unit sering disebut dengan IDU. IDU berisi modem radio yang berfungsi sebagai titik terminasi untuk sinyal digital dari perangkat *end user* dan kemudian merubahnya ke dalam sinyal yang berbasis sinyal radio untuk dikirimkan sepanjang media transmisi *microwave* dengan menggunakan skema modulasi dan juga memodulasikan carrier ke sinyal digital pada penerima. IDU biasanya ditempatkan dilokasi yang terproteksi.



Gambar 2.13 *Link Microwave*[19]

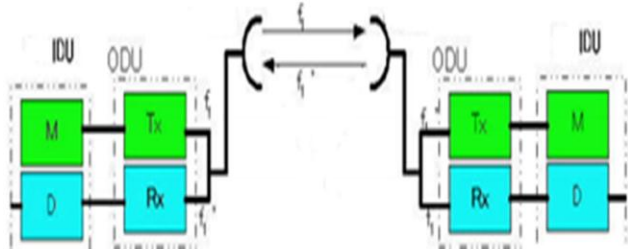
Gambar 2.13 merupakan gambar *link microwave* dari *transmitter* ke *receiver*.

2. *Outdoor Unit (OU)*

Outdoor Unit sering disebut dengan ODU. ODU berfungsi untuk mengkonversi sinyal digital berfrekuensi rendah (*Intermediate Frequency*) menjadi sinyal radio berfrekuensi tinggi (*Radio Frequency*). ODU berisi perangkat *Radio Frequency* pengirim dan penerima. Dengan fitur ini, ODU juga disebut sebagai *radio transceiver*. ODU mendapatkan catuan listrik dan sinyal termulasi berfrekuensi rendah dari IDU melalui kabel koaksial. Terdapat tiga onfigurasi yang biasa digunakan pada ODU diantaranya yaitu :

a. Konfigurasi 1+0

Konfigurasi ini memiliki satu radio ODU dan satu antena *microwave* di setiap BTS. Apabila ODU mengalami kerusakan maka secara otomatis link akan putus.

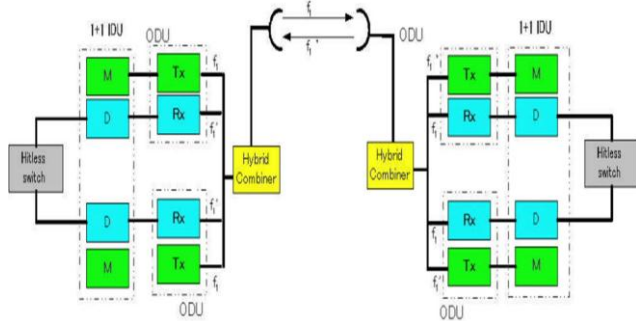


Gambar 2.14 Konfigurasi 1+0[19]

Gambar 2.14 merupakan gambar konfigurasi antena 1+0.

b. Konfigurasi 1+1 *Hot Standby*

Konfigurasi ini memiliki satu antenna *microwave* dan dua radio ODU pada setiap BTS. Radio ODU ini dua-duanya aktif, hanya saja ODU yang kedua bersifat *standby*. Hal ini dilakukan untuk menjaga apabila *main radio* ODU mengalami kerusakan maka secara otomatis akan di *backup* oleh ODU yang kedua.

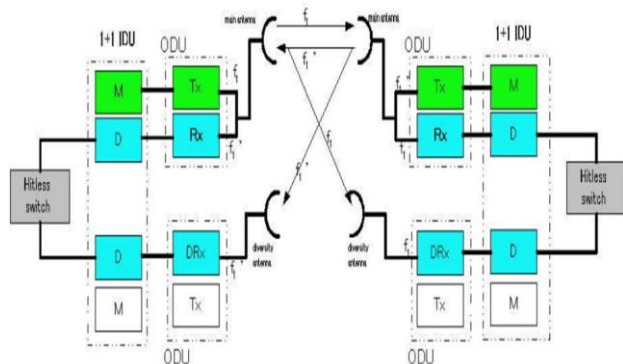


Gambar 2.15 Konfigurasi 1+1 *Hot Standby* [19]

Gambar 2.15 merupakan gambar konfigurasi antenna 1+1 *hot standby*.

c. Konfigurasi 1+1 *Space Diversity*

Konfigurasi ini memiliki dua antenna *microwave* dan dua radio ODU.



Gambar 2.16 Konfigurasi 1+1 *Space Diversity*[19]

Gambar 2.16 merupakan gambar konfigurasi antenna 1+1 *space diversity*.

3. *Combiner*

Combiner (hybrid) berfungsi untuk menggabungkan kedua sinyal untuk meminimalkan distorsi atau pemecah frekuensi dengan cara menghubungkan dua radio.

4. *Multiplexer*

Multiplexer merupakan perangkat pemilihan beberapa jalur data kedalam satu jalur data untuk dikirim ke titik lainnya dan mempunyai dua jalur atau lebih sinyal digital sebagai masukan dan kontrol untuk pemilih data (*selector*). Di mana *multiplexer* dalam pembangunan *link* transmisi radio digunakan untuk menghubungkan ke bagian IDU.

2.4.3 Efek Atmosfer dan *Fading* pada Komunikasi *Microwave*[19]

1. Efek Atmosfer

Pada komunikasi *microwave* banyak faktor yang sangat mempengaruhi kinerja sistem yang berkaitan dengan efek atmosfer diantaranya yaitu :

a. *Absorption* (Penyerapan)

Absorption (absorpsi) dapat disebabkan oksigen dalam atmosfer, hujan dan kabut. Hal ini menyebabkan energi yang dipropagasikan mengalami redaman. Oksigen di atmosfer menyerap beberapa energi dari gelombang mikro.

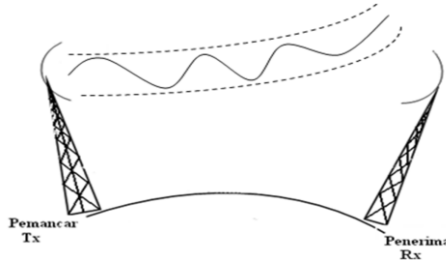
b. *Refraction* (Pembiasan)

Refraction adalah pembengkokan atau pembelokan gelombang radio karena perubahan karakteristik atmosfer (karena perubahan temperatur, kerapatan, kelembaban). Perubahan kerapatan atmosfer berpengaruh terhadap cepat rambat gelombang. Lintasan gelombang radio pada kenyataannya melengkung maka untuk memudahkan analisis, lintasan gelombang radio dimanipulasi jari-jari bumi (lurus).

Perubahan dari belokan bumi yang disebabkan oleh *refraction* dinyatakan dengan *k-factor*, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara radius ekuivalen dari bumi dengan radius bumi yang sebenarnya.

c. *Ducting* (Jebakan Atmosfer)

Ducting adalah peristiwa di mana terperangkapnya gelombang mikro dalam sebuah atmosfer *waveguide*. Ini biasa terjadi pada ketinggian yang rendah dengan lapisan atmosfer yang sangat padat dan terjadi di dekat atau di atas permukaan air. Gambar 2.17 berikut merupakan gambar peristiwa *ducting*.



Gambar 2.17 Peristiwa *Ducting*[19]

2. Efek Permukaan Bumi

Selain atmosfer, kondisi daerah yang dilintasi gelombang radio juga bisa menyebabkan gelombang tersebut mengalami *multipath*/ lintasan jamak. Efek ini disebabkan oleh benda-benda yang berada di permukaan bumi, misalnya batu, tumbuhan, gedung, bahkan dapat pula disebabkan oleh bentuk kurva bumi itu sendiri, yang ditimbulkan antara lain:

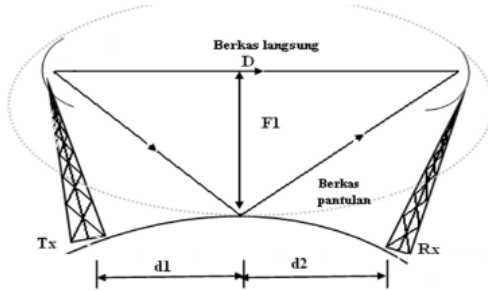
a. *Reflection* (Pemantulan)

Berupa pemantulan berkas yang menyebabkan berkas dapat berubah sudut fasenya, berkas gelombang mikro yang berubah sudut fase dapat menimbulkan penguatan atau redaman bagi energi berkas. Salah satu contoh pemantulan misalnya pemantulan tanah atau *ground reflection*.

b. *Fresnel Zone*

Untuk menghindari pengaruh *multipath* pada pantulan tanah, maka ditetapkan daerah *clearance* (daerah bebas dari penghalang/*obstacle*) yang salah satu komponennya adalah *Fresnel Zone*. Daerah *Fresnel Zone* merupakan hal yang patut diperhatikan dalam perencanaan lintasan gelombang radio *line of sight*. Daerah ini sebisa mungkin harus bebas dari halangan

pandangan karena bila tidak akan menambah redaman lintasan.



Gambar 2.18 *Fresnel Zone*[19]

Pada gambar 2.18 menunjukkan dua berkas lintasan propagasi gelombang radio dari pemancar ke penerima, yaitu berkas lintasan langsung (*direct ray*) dan berkas lintasan pantulan (*reflected ray*) yang mempunyai radius $F1$ dari garis lintasan langsung. Jika berkas lintasan pantulan mempunyai panjang setengah kali lebih panjang dari berkas lintasan langsung, maka dianggap bumi merupakan pemantul yang sempurna (koefisien pantul sama dengan -1 , artinya gelombang datang dan gelombang pantul berbeda fase 180 pada saat tiba di penerima akan mempunyai fase yang sama dengan gelombang langsung. Akibatnya akan terjadi intensitas kedua gelombang pada saat mencapai antenna penerima akan saling menguatkan.

c. *Diffraction* (Difraksi)

Difraksi adalah karakteristik gelombang elektromagnetik yang terjadi ketika beam menyentuh sebuah penghalang. Difraksi terjadi jika gelombang radio membentur benda atau penghalang yang berupa ujung yang tajam, sudut-sudut atau suatu permukaan batas.

3. Efek *Fading*

Komunikasi *microwave* juga dapat terjadi karena efek pudaran atau *fading*, yaitu fluktuasi yang terjadi pada propagasi gelombang radio, mengakibatkan turunnya daya yang diterima dan rusaknya kualitas transmisi. Berdasarkan penyebabnya *fading* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya adalah seperti berikut.

a. *Fading Type k*

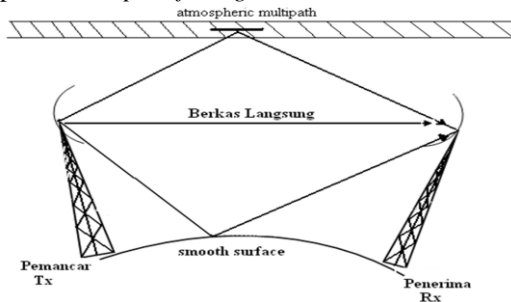
Fading ini disebabkan oleh refleksi karena perubahan faktor k.

b. *Fading* karena *Duct*

Disebabkan karena pembalokan gelombang ke atas atau ke bawah, mengakibatkan terjadinya daerah kantong di mana gelombang tidak dapat diterima.

c. *Multipath Fading*

Multipath Fading merupakan diterimanya gelombang yang merambat melalui jalan yang berbeda, sehingga terjadi saling interferensi. Tergantung pada frekuensi, jarak dan keadaan. Gambar 2.19 berikut merupakan *multipath fading*.



Gambar 2.19 *Multipath Fading*[19]

d. *Absorption Fading*

Disebabkan oleh absorpsi atau *scattering* oleh hujan, salju dan kabut. Pada frekuensi lebih dari 10 Ghz dapat menyebabkan putus hubungan.

2.5 PERANCANGAN JARINGAN LTE

Perencanaan jaringan LTE perlu dilakukan perhitungan jumlah *site* yang dibutuhkan dengan menggunakan dua metode yaitu berdasarkan kapasitas dan daerah cakupan. Metode berdasarkan metode berdasarkan daerah cakupan menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan berdasarkan kemampuan *coverage*. Dan metode berdasarkan kapasitas menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan trafik berdasarkan kapasitas sistem yang akan dirancang.[5]

2.5.1 Perancangan Jaringan Berdasarkan Daerah Cakupan

Metode perancangan jaringan berdasarkan daerah cakupan harus memperhatikan kemampuan perangkat dalam menjangkau

wilayah layanan yang direncanakan. Kondisi wilayah suatu daerah cakupan dari pemancar ke penerima tidak terlepas dari adanya pengaruh redaman lintasan atau *path loss*. Redaman lintasan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu jarak antara pemancar dan penerima serta frekuensi kerja sistem. Untuk mengetahui redaman lintasan perlu dilakukan perhitungan *link budget*.

Persamaan untuk menghitung EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) seperti berikut.

$$\text{EIRP (dBm)} = P_{\text{TX}} + G_{\text{TX}} - L_{\text{TX}} \quad [5] \quad (2.1)$$

Keterangan :

P_{TX} = Daya pada receiver UL/ transmitter DL (dBW)

G_{TX} = Gain antenna / eNodeB (dB)

L_{TX} = *Loss feeder* pada receiver UL / transmitter DL (dB)

Persamaan untuk menghitung *sensitivity received* yaitu seperti berikut.

$$\text{SR} = \text{kTB} + \text{UE Noise figure} + \text{SINR} \quad [4] \quad (2.2)$$

Keterangan :

kTB = *Thermal Noise*

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-20}$ mWs/K)

T = *Temperatur* (290 K)

B = *bandwidth* (MHz)

NF = *noise Figure* (dB)

SINR = *Signal to noise and interface ratio* (dB)

$$B = N_{\text{RB}} \times 180 \text{ kHz} \quad [4] \quad (2.3)$$

Keterangan :

N_{RB} = jumlah *resurce block* (RB)

Tabel 2.1 berikut menunjukkan tabel *measurement bandwidth*.

Tabel 2.1 Bandwidth[9]

Channel Bandwidth (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Block	6	15	25	50	75	100
Measurement Bandwidth (MHz)	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18

1. Perhitungan *Maximum Allowed Pathloss* (MAPL)[5]

Perhitungan MAPL dilakukan untuk memperoleh nilai redaman maksimum yang masihizinkan agar antar eNodeB dan UE masih dapat berkomunikasi dengan baik.

$$\text{MAPL} = \text{EIRP} - \text{Received sensitivity} - \text{Body Loss} - \text{TMA loss} - \text{Penetration loss} - \text{Fading margin} - \text{Interference margin} \quad [5] \quad (2.4)$$

2. Perhitungan Model Propagasi

Model propagasi yang digunakan skripsi ini adalah Cost-231. Untuk menghitung jarak jangkauan maksimum dengan menggunakan model Cost-231 yaitu dengan persamaan berikut.[10]

$$L_{\text{cost231}} [\text{dB}] = 46,3 + 33,9 \log (f_{\text{MHz}}) - 13,82 \log (h_b) - A(h_m) + [44,9 - 6,55 \log (h_b)] \log(d) + C_m \quad [10] \quad (2.5)$$

Keterangan :

h_b = Tinggi antenna eNodeB (m)

h_m = Tinggi antenna UE (m)

d = Jarak antara eNodeB dan UE (km)

$A(h_m)$ = Faktor koreksi tinggi antenna UE (dB)

C_m = Faktor koreksi ukuran kota,

$C_m = 0$ dB untuk suburban dan $C_m = 3$ dB untuk daerah urban.

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai $A(h_m)$ maka dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut.

- Untuk kota kecil dan menengah.[10]

$$A(h_m) = (1,1 \log f_c - 0,7) h_m - (1,56 \log f_c - 0,8) \quad (2.6)$$

Dimana $1 \leq h_m \leq 10$ m

- Untuk kota besar.[10]

$$A(h_m) = 8,29 (\log 1,54 h_m)^2 - 1,1 \quad f \leq 300 \text{ MHz} \quad (2.7)$$

$$A(h_m) = 3,2 (\log 11,75 h_m)^2 - 4,97 \quad f \geq 300 \text{ MHz} \quad (2.8)$$

3. Perhitungan Jumlah eNodeB

Jumlah eNodeB dapat ditentukan dari luas wilayah perencanaan dan estimasi jumlah pelanggan pada daerah tersebut. Pada *planning* ini luas area yang diperoleh dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Luas Hexagonal} = 2,6 \times d^2 \quad [7] \quad (2.9)$$

$$\text{Jumlah eNodeB} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas Hexagonal}} \quad [7] \quad (2.10)$$

4. Link Budget

Untuk melakukan perhitungan *link budget* pada arah *downlink* terdapat beberapa komponen parameter seperti *transmitter* eNodeB dan *receiver* UE.

- Pada *transmitter* eNodeB perlu dilakukan perhitungan EIRP, parameter-parameter yang diperlukan dalam menghitung EIRP yaitu eNodeB *Transmit Power* (Ptx), eNodeB Gain (Gtx) dan *Feeder Loss* (Ltx).
- Pada *receiver* UE terdapat beberapa parameter yang perlu diketahui untuk menghitung MAPL. Parameter-parameter tersebut seperti UE *noise figure*, *thermal noise*, SINR, *Receiver noise floor*, *system bandwidth*, *receiver sensitivity*, *interference margin*, UE *antenna gain*, *body loss*, dan *log normal margin*.

Tabel 2.2 merupakan tabel parameter *link budget* arah *downlink*.

Tabel 2.2 Link Budget arah *downlink*

Components Parameter	Unit	Uplink	Keterangan
<i>Transmitter UE</i>			
UE TX Power/RB	dBm		a
UE Antenna Gain	dB		b
Body Loss	dB		c
EIRP DL (Ptx+Gtx-Ltx)	dBm		d=a+b+c
<i>Receiver eNodeB</i>			
eNodeB Noise Figure	dB		e
Thermal Noise	dBm		f=kTB
SINR	dB		g
System Bandwidth	MHz		h
Rx sensitivity UL (Termal N+UE noise fig+SINR) (SR)	dBm		i=e+f+g
Interference Margin (IM)	dB		j
Body Loss (Lbv)	dB		k
eNodeB Gain	dB		l
Log Normal Margin (Msf)	dB		m
MAPL UL (EIRP-SR-IM-Lbv-Msf)	dB		n=d-i-j-k-m

Untuk melakukan perhitungan *link budget* pada arah *uplink* terdapat beberapa komponen parameter seperti *transmitter* UE dan *receiver* eNodeB.

- a. Pada *transmitter* UE perlu dilakukan perhitungan EIRP, parameter-parameter yang diperlukan dalam menghitung EIRP yaitu UE *Transmit Power* (Ptx), UE antenna gain (Gtx) dan *Body loss*
- b. Pada *receiver* eNodeB terdapat beberapa parameter yang perlu diketahui untuk menghitung MAPL. Parameter-parameter tersebut seperti eNodeB *noise figure*, *thermal noise*, SINR, *Receiver noise floor*, *system bandwidth*, *receiver sensitivity*, *interference margin*, *body loss*, eNodeB *gain*, dan *log normal margin*.

Tabel 2.3 merupakan tabel parameter *link budget* arah *uplink*.

Tabel 2.3 *Link Budget* arah *uplink*

Components Parameter	Unit	Uplink	Keterangan
<i>Transmitter</i> UE			
UE TX Power/RB	dBm		a
UE Antenna Gain	dB		b
Body Loss	dB		c
EIRP DL (Ptx+Gtx-Ltx)	dBm		d=a+b+c
<i>Receiver</i> eNodeB			
eNodeB Noise Figure	dB		e
Thermal Noise	dBm		f=kTB
SINR	dB		g
System Bandwidth	MHz		h
Rx sensitivity UL (Termal N+UE noise fig+SINR) (SR)	dBm		i=e+f+g
Interference Margin (IM)	dB		j
Body Loss (Lbv)	dB		k
eNodeB Gain	dB		l
Log Normal Margin (Msf)	dB		m
MAPL UL (EIRP-SR-IM-Lbv-Msf)	dB		n=d-i-j-k-m

2.5.2 Perancangan Jaringan Berdasarkan Kapasitas

Untuk melakukan perncangan jaringan berdasarkan kapasitas perlu dilakukan perhitungan proyeksi jumlah penduduk dan faktor pertumbuhan penduduk.

Untuk menghitung faktor pertumbuhan penduduk (R) dapat menggunakan persamaan berikut.[7]

$$GF = \frac{\sum \text{Pertumbuhan Penduduk}}{\sum \text{Tahun}} \quad [7] \quad (2.11)$$

Berikut persamaan untuk menghitung proyeksi penduduk tahun ke-n.

$$P_n = P_o (1 + GF)^n \quad [9] \quad (2.12)$$

Untuk menghitung jumlah *user* LTE operator X dapat menggunakan persamaan total target *user* berikut.

$$\text{Total target user} = P_n \times A \times B \times C \quad [5] \quad (2.13)$$

Keterangan :

U_n = Jumlah penduduk tahun ke-n

A = Jumlah penduduk usia penetrasi pengguna seluler

B = *Market share* operator X

C = Penetrasi *user* LTE operator X

Tabel 2.4 merupakan tabel data statistik penduduk wilayah Kalideres dan penetrasi seluler.

Tabel 2.4 Data Statistik dan Penetrasi[16] [12]

Parameter	%	Jumlah
Populasi Penduduk (Po)		439.540
Penetrasi Seluler	71.34%	498.151
Market Share Operator X	19%	94.648
Penetrasi LTE	50%	47.324

1. Klasifikasi Service Model

Service model yang digunakan dalam perancangan jaringan *backhaul* ini yaitu layanan VoIP, Video Phone, Video Conference, Streaming Media, IMS Signalling, Web browsing, File Transfer dan Email. Berikut tabel detail parameternya.

Tabel 2.5 merupakan tabel data layanan atau *service model* untuk *uplink* dan *downlink*.

Tabel 2.5 *Service Model*[9]

Traffic Parameters	Uplink				Downlink			
	Bearer Rate (kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER
VoIP	26.9	80	0.4	1%	26.9	80	0.4	1%
Video Phone	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%
Video Conference	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%
Streaming Media	31.26	3600	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%
IMS Signalling	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%
Web Browsing	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%
File Transfer	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%
Email	140.69	50	1	1%	750.34	15	1	1%

Persamaan untuk menghitung *throughput* per layanan seperti berikut.

$$Throughput = Session\ time \times Session\ duty\ ratio \times Bearer\ rate \times \frac{1}{(1-BLER)} \quad [9] \quad (2.14)$$

Keterangan :

- Session time* = Durasi per layanan
- Session duty ratio* = Rasio transmisi data per *session*
- Bearer rate* = *Application layer bit rate*
- BLER = *Tolerated block error rate*
- BHSA = *Busy hour service attempt*
- Penetration Rate* = Seberapa baik layanan dapat mempengaruhi *customer*

Tabel 2.6 merupakan tabel data *traffic model* untuk *Various Environment* daerah suburban.

Tabel 2.6 *Traffic Model* untuk *Various Environment*[9]

User Behavior	Urban			Suburban		
	Penetrati on Ratio	BHSA	Peak to Average Ratio	Penetrati on Ratio	BHSA	Peak to Average Ratio
VoIP	100%	1.3	20%	50%	1	10%
Video Phone	20%	0.16	20%	10%	0.1	10%
Video Conference	15%	0.15	20%	10%	0.1	10%
Streaming Media	15%	0.15	20%	5%	0.1	10%
IMS Signalling	30%	4	20%	25%	3	10%
Web Browsing	100%	0.4	20%	40%	0.3	10%
File Transfer	20%	0.2	20%	20%	0.2	10%
Email	10%	0.3	20%	10%	0.2	10%

Persamaan *Single user throughput* : [9]

$$\frac{(\sum \text{Throughput}) \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{Peak to average ratio})}{3600} \quad (2.15)$$

2. Perhitungan Network Throughput

Network throughput merupakan kebutuhan *throughput* yang dibangkitkan pada suatu daerah layanan. *Network throughput* dihitung dengan persamaan berikut.[9]

$$\text{Network throughput}_{UL/DL} = \text{Total target user} \times \text{Single user Throughput} \quad [9] \quad (2.16)$$

3. Menentukan Jumlah Site

Untuk menentukan jumlah *site* berdasarkan kapasitas maka perlu dilakukan perhitungan *cell capacity* dengan persamaan.[9]

$$DL \text{ Cell Capacity} + CRC = (168-36-12) \times (\text{Code Bits}) \times (\text{Code rate}) \times \text{Nrb} \times C \times 1000 \quad [9] \quad (2.17)$$

$$UL \text{ Cell Capacity} = (168-24) \times (\text{Code Bits}) \times (\text{Code rate}) \times \text{Nrb} \times C \times 1000 - CRC \quad [9] \quad (2.18)$$

Keterangan :

CRC : 24

- 168 : Nomor RE (*Resource Element*) dalam 1 ms
 36 : Nomor dari kontrol *channel* RE dalam 1 ms
 12 : Nomor *reference signal* RE dalam 1 ms
 24 : Nomor *reference signal* RE dalam 1 ms
Code bits : Modulasi efisiensi
Code rate : *Channel coding rate*
 Nrb : Nilai *resource blocks* (RBs)
 C : Mode antena MIMO

Persamaan untuk menghitung jumlah sel seperti berikut.

$$\text{Jumlah sel}_{UL/DL} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Cell throughput}} [13] \quad (2.19)$$

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung *site capacity*. [9]

$$\text{Site Capacity} = \text{Total Cell Average Throughput} \times \text{jumlah sel} \quad (2.20)$$

Berikut persamaan untuk menghitung jumlah *site*.

$$\text{Jumlah Site}_{UL/DL} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Site Capacity}} [9] \quad (2.21)$$

2.6 PERHITUNGAN LOS

Kondisi *Line of Sight* (LOS) merupakan kondisi dimana sinyal yang berjalan secara langsung dan tanpa penghalang dari pengirim ke penerima. Parameter-parameter yang diperhitungkan untuk memenuhi kebutuhan perencanaan jaringan *backhaul* yaitu sebagai berikut:

2.6.1 Perhitungan *Received Signal Level* (RSL)

Perhitungan RSL dilakukan karena untuk menghitung daya pada antena penerima. Berikut adalah beberapa parameter yang perlu dihitung.

1. *Loss Feeder*

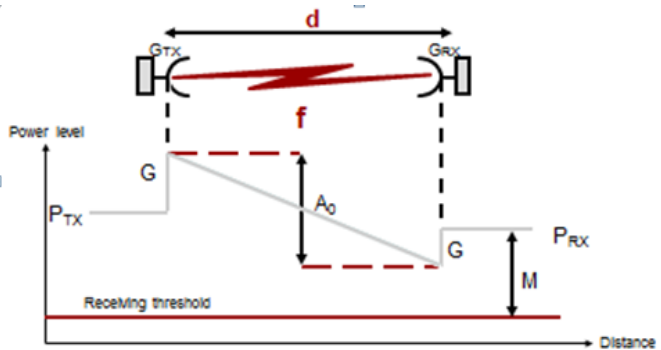
Menghitung *Loss Feeder* pada *site* pengirim dan penerima dapat dilakukan dengan persamaan seperti berikut.

$$\text{Loss feeder}_{Tx/Rx} = H_x \times 0,2 \frac{dB}{m} [5] \quad (2.22)$$

2. *Free Space Loss* (FSL)

Free space loss digunakan untuk memprediksi suatu nilai redaman gelombang elektromagnetik yang disebabkan

karena gelombang tersebut melalui lintasan line of sight tanpa hambatan. Parameter ini bisa digunakan untuk memprediksi kekuatan sinyal yang akan diterima berdasarkan frekuensi dan jarak lintasan. Parameter ini juga digunakan untuk mendapatkan nilai rugi-rugi lintasan pada suatu jaringan komunikasi.[13]



Gambar 2.20 Free Space Loss[8]

Gambar 2.20 merupakan gambar parameter *free space loss*.

Keterangan gambar :

P_{tx} = Daya pada *transmitter*

P_{rx} = Daya pada *receiver*

G = Gain antenna

A_0 = *Free Space Loss*

M = *Fading Margin*

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai FSL:

$$L_{fs} = 92,44 + 20 \text{ Log } F_{\text{GHz}} + 20 \text{ Log } D_{\text{km}} \quad [8] \quad (2.23)$$

Keterangan :

Frekuensi = Frekuensi yang digunakan (GHz)

D = Jarak antara pengirim dan penerima (km)

L_{fs} atau FSL = *Free Space Loss* (dB)

3. Daya Terima

Menghitung daya terima dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{tx} + G_{tx} - L_{rx} + G_{rx} - FSL - A \text{ dBm} \quad [13] \quad (2.24)$$

Keterangan :

P_{tx} = Daya yang dikirimkan pada antenna pengirim

- Prx = Daya yang diterima di antena penerima
 Gtx/Grx = Gain antena/ penguatan antena pada *transmitter/receiver*
 Lfsl = *Free space loss*
 Ltx = Loss akibat kabel dari *radio base station* ke antena pengirim
 Lrx = Loss akibat kabel dari *radio base station* ke antena penerima
 A = Redaman hujan (dB/km)

Untuk menghitung besarnya redaman hujan dapat menggunakan persamaan berikut.

$$A = a \times R^b \quad [6] \quad (2.25)$$

Keterangan :

- A = Redaman hujan (dB/jam)
 R = Besarnya curah hujan (mm/jam)
 a dan b = merupakan fungsi dari frekuensi dan polarisasi, nilai a dan b dapat dilihat pada tabel berikut.

Untuk menghitung redaman hujan sepanjang lintasan dapat menggunakan persamaan berikut.

$$A_{eff} = A \times D \times r \quad [6] \quad (2.26)$$

$$r = \frac{90}{90 + (4 \times D)} \quad [6] \quad (2.27)$$

Keterangan :

- A_{eff} = Redaman sepanjang lintasan (dB)
 r = Faktor reduksi
 D = Jarak antara kedua *site* (m)

2.6.2 Perhitungan Tinggi Antena

Untuk mengetahui tinggi antena maka diperlukan beberapa parameter tambahan yang perlu dihitung, seperti tinggi permukaan, *fresnel zone* dan faktor kelengkungan bumi.

1. Tinggi Permukaan

Permukaan laut merupakan acuan suatu tinggi antena yang biasa diterapkan. Tinggi antena dapat diperoleh dari suatu nilai parameter kelengkungan bumi, tinggi bukit (*obstacle*) antara pengirim dan penerima, dan jari-jari *fresnel* yang akan

digunakan. Berikut adalah persamaan yang dapat menggambarkan nilai dari tinggi antena:

$$H_{\text{tot}} = H_c + H_o + R \quad [5] \quad (2.28)$$

Keterangan :

- H_c = Faktor kelengkungan bumi (m)
- H_o = Tinggi *obstacle* antara pengirim dan penerima (m)
- R = Jari-jari *fresnel* yang digunakan (m)
- H_{tot} = Total tinggi di atas permukaan laut (m)

Nilai faktor dari kelengkungan bumi (H) diperoleh dari :

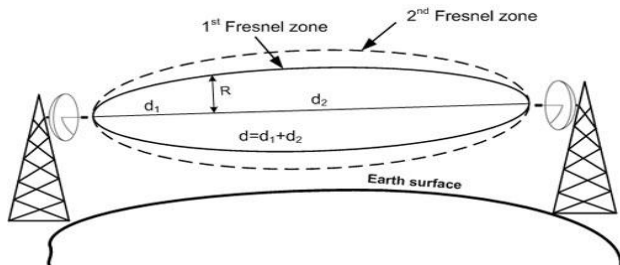
$$H_c = \frac{0.079 \times d_1 \times d_2}{\frac{4}{3}} \quad [5] \quad (2.29)$$

Keterangan :

- d_1 = Jarak dari pengirim ke *obstacle* (km)
- d_2 = Jarak dari penerima ke *obstacle* (km)

2. Fresnel Zone

Fresnel zone adalah daerah pada suatu lintasan pada suatu transmisi gelombang yang digambarkan berbentuk elips dan menunjukkan inderferensi gelombang RF jika terdapat *blocking*.



Gambar 2.21 Daerah *Fresnel Zone*[5]

Gambar 2.21 menunjukkan gambar untuk daerah *fresnel zone*.

Nilai jari-jari *fresnel* dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$R = 17.32 \times \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{F \times (d_1 + d_2)}} \quad [5] \quad (2.30)$$

Keterangan :

- d_1 = Jarak dari pengirim ke *obstacle* (km)

- d2 = Jarak dari penerima ke *obstacle* (km)
- F = Frekuensi yang digunakan (GHz)

3. Tinggi Antena

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi antena.

$$H_{tot} = \frac{((h_1+h_x) \times d_1) + ((h_2+h_x) \times d_2)}{d_1+d_2} \quad [5] \quad (2.31)$$

Keterangan :

- hx = Tinggi antena (m)
- h1 = Tinggi daratan di pengirim (m)
- h2 = Tinggi daratan di penerima (m)
- d1 = Jarak dari antena pemancar ke *obstacle* (km)
- d2 = Jarak dari *obstacle* ke antena penerima (km)

4. Fading Margin

Fading merupakan fenomena fluktuasi daya sinyal terima akibat adanya proses propagasi gelombang radio yang mengakibatkan turunnya daya terima dan rusaknya kualitas transmisi. Untuk mengatasi *fading* diperlukan cadangan daya yang digunakan agar dapat mempertahankan level sinyal terima. Cadangan daya tersebut disebut dengan *fading margin*. Untuk menghitung *fading margin* maka sebelumnya perlu menghitung nilai *unavailability* dengan persamaan berikut.

$$UnAv_{path} = 1 - Availability \quad [6] \quad (2.32)$$

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung *fading margin*.

$$FM = 30 \log D + 10 \log(a \times b \times 2,5 \times f) - 10 \log UnAv_{path} - 60 \quad [6] \quad (2.33)$$

Keterangan :

- FM = *Fading Margin* (dB)
- D = Panjang lintasan (m)
- f = Frekuensi kerja (GHz)
- a = Faktor kekasaran bumi
 - a = 4 = untuk daerah halus, laut, danau dan gurun
 - a = 1 = untuk daerah kekasaran rata-rata, dataran
 - a = ¼ = untuk pegunungan dan dataran tinggi
- b = Faktor iklim
 - b = ½ = untuk daerah panas dan lembab
 - b = ¼ = untuk daerah normal

$b = 1/8 =$ untuk daerah pegunungan (sangat kering)

Tetapi pada umumnya untuk perencanaan menggunakan kondisi terburuk $b = 1$.

2.7 SOFTWARE SIMULATOR

2.7.1 Atoll 3.2.1. [14]

Atoll merupakan sebuah software radio *planning* yang menyediakan satu set alat dan fitur yang komperhensif dan terpadu yang memungkinkan user untuk membuat suatu proyek perencanaan microwave ataupun perencanaan radio dalam satu aplikasi.

Berbagai prediksi *study* dari cakupan dapat dikonfigurasi sesuai kehendak perancang. *Study* yang disuguhkan diantaranya adalah seperti berikut:

- *Coverage by signal level* : Menghitung area yang tertutupi oleh level sinyal dari tiap *cell*.
- *Coverage by C/(I+N) level (DL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh SINR *downlink*. SINR adalah perbandingan antara kuat sinyal dengan kuat interferensi ditambah *noise* yang dipancarkan oleh *cell*.
- *Coverage by C/(I+N) level (UL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh SINR *uplink*.
- *Coverage by throughput (DL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh *throughput downlink*.
- *Coverage by throughput (UL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh *throughput uplink*.

Selain konten-konten di atas, Atoll juga mendukung simulasi Monte Carlo untuk menghasilkan skenario jaringan yang realistis (*snapshot*) menggunakan mesin statistik Monte Carlo untuk penjadwalan dan alokasi sumber daya. Distribusi pengguna realistis dapat dihasilkan dengan menggunakan berbagai jenis peta lalu lintas atau data pelanggan.