

BAB II

SISTEM KOMUNIKASI GELOMBANG RADIO

2.1 Propagasi Gelombang Radio

Klasifikasi radio frekuensi yang mempunyai gelombang dan berada dalam daerah yang sangat luas, yaitu mulai dari gelombang *Very Low Frequency* (VLF) sampai dengan spektrum cahaya. Gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan melalui udara bebas, dapat dibedakan dalam tiga jenis sesuai dengan penggunaan dan propagasinya, yaitu :

1. *Ground wave* (gelombang tanah).

Menjalar sepanjang permukaan Bumi, propagasi pada *ground wave* menggunakan *polarisasi vertical*, karena komponen *horizontal* dan medan listrik yang kontak dengan bumi akan di *short circuit* (hubung singkat)

2. *Sky wave* (gelombang langit).

Menjalar melalui danya pantulan dari *Troposphere*. (10-20 Km diatas permukaan Bumi). Gelombang mengalami *refraksi* pada lapisan *atmosphere* dan *troposphere* hal ini disebabkan oleh karena adanya perbedaan indeks bias (konstanta dielektrik) dari medium (dalam hal ini udara). Apabila gelombang elektromagnetik dipancarkan ke atas

menuju arah lapisan *troposphere* atau pun *ionosphere*, maka akan terjadi pembiasan atau pembelokan arah. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan (*gradient*) dari harga N (*rate of change* dari N terhadap ketinggian).

3. *Space wave* (gelombang angkasa).

Menjalar melalui adanya pantulan dari *Troposphere*. (lebih kecil dari 10 Km dari permukaan Bumi).

2.2 Tinggi Antena Terhadap Faktor k (indeks troposfir)

Faktor k merupakan perbandingan antara radius efektif bumi dengan radius bumi yang sebenarnya.

$$K = R'/R \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

- R' : jari – jari efektif bumi
- R : jari – jari bumi sebenarnya (6340 km)

Bila dianggap lintasan propagasinya lurus, ini berarti permukaan bumi menjadi lebih datar bila dibandingkan dengan permukaan sebenarnya. Biasanya lebih mudah menganggap lintasan propagasinya lurus dengan cara merubah lengkungan bumi daripada menggambar lintasan propagasi sebagai garis yang lengkung. Untuk maksud ini, diadakan analisa propagasi gelombang dengan mengalikan jari-jari bumi K kali. Harga K dinamakan *koefisien persamaan jari-*

jari bumi Harga faktor k berubah-ubah tergantung pada keadaan cuaca dan merupakan fungsi dari gradien indeks bias. Umumnya harga K mengecil apabila didaerah tersebut pada ketinggian yang rendah, dan membesar untuk ketinggian yang lebih tinggi. Harga K tergantung pada keadaan meteorology. Untuk atmosfer standar $k = 4/3$. Pada umumnya $k > 4/3$ pada temperatur panas dan $k < 4/3$ pada daerah dengan temperatur dingin. Pada kondisi tertentu k dapat berharga kurang dari 1 sampai tak terhingga dan bahkan dapat berharga negatif.

Berdasarkan daerah iklim harga faktor k dapat dibedakan sebagai berikut ;

- Faktor k antara $6/5$ dan $4/3$ untuk daerah iklim dingin
- Faktor k sekitar $4/3$ untuk daerah iklim sedang
- Faktor k antara $4/3$ dan $3/2$ untuk daerah iklim tropis

2.3 Propagasi *Line Of Sight*

Pada propagasi ini gelombang menjalar dalam garis lurus, *transmitter* dan *teceiver* berada dalam jarak pandang dan menggunakan daya pemancar yang relatif kecil dengan jarak link sekitar 10-100 KM.

Propagasi *line of sight* menggunakan *Ultra High Frekuensi* (UHF) 1 GHz atau lebih. Pada frekuensi ini gelombang elektromagnetik memiliki sifat pantulan gelombang cahaya, karena itu antara antena pemancar (*transmitter*) dengan antena penerima (*receiver*) tidak boleh terdapat halangan yang dapat menutupi lintasan pantulan gelombang (tampak langsung).



Gambar 2.3 Sistem Line Of Sight

Besarnya kuat medan listrik (E) yang diterima oleh antena RX, dinyatakan dengan persamaan :

$$E = \sqrt{\frac{30 \cdot P}{d}} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dimana :

P = daya pancar gelombang elektromagnetik dari antena isotropis.

2.3.1 Sistem Radio Gelombang Mikro

Gelombang radio yang berfrekuensi tinggi cenderung menjalar dengan garis lurus, oleh karena itu apabila berfrekuensi di atas 100 Mhz dapat difokuskan. Dimana pemusatan semua energi menjadi titik kecil yang menggunakan antena parabola memberikan rasio *signal to noise* tinggi.

Karena gelombang mikro menjalar dengan garis lurus maka bila *repeater* terlalu jauh maka bumi akan meredam gelombang tersebut. Maka *repeater* diperlukan secara periodik dimana semakin tinggi menara, semakin jauh jarak yang dicapai.

Selain itu gelombang mikro tidak dapat menembus ruang dengan baik sehingga terjadi *multipath fading*, gelombang yang mengalami delay akibat

divergensi diudara tiba diluar fasanya dengan gelombang langsung dan menghapus sinyalnya.

Untuk frekuensi 8 Ghz terdapat masalah *absorpsi* oleh air. Gelombang yang hanya memiliki panjang gelombang beberapa sentimeter ini dapat di absorpsi oleh hujan. Efek ini dapat dikurangi dengan membangun oven gelombang mikro yang sangat besar diluar.

Keuntungan yang dimiliki oleh gelombang mikro bila dibandingkan dengan transmisi melalui kabel adalah tidak diperlukannya hak untuk mengikuti jalur yang telah ditentukan, relatif murah karna hanya perlu membangun minimal dua buah menara sederhana dan pemasangan antena pada masing-masing menara dari pada menanam 50 km serat optik.

2.4 Penentuan Koordinat Lokasi

Secara teknis, koordinat dari lokasi tidak terlalu berpengaruh langsung terhadap operasi radio, tetapi koordinat lokasi tersebut sangat di butuhkan untuk melakukan perhitungan dari panjangnya lintasan.

Penentuan panjang lintasan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

a. *Global Positioning System (GPS).*

Dengan bantuan alat *Global Positioning System (GPS)*, kita tinggal menghidupkan alat tersebut, kemudian kita meletakkannya ditempat yang terbuka (lokasi pemasangan), maka beberapa saat kemudian GPS tersebut akan secara otomatis menampilkan koordinat lokasi dimana GPS tersebut

tadi diletakan. Alat GPS ini juga dapat digunakan untuk menentukan panjangnya lintasan.

b. Peta

Apabila tidak ada alat GPS di lokasi, maka sebagai alternatif lain kita dapat menggunakan bantuan peta untuk dapat menentukan koordinat lokasi dan menentukan panjang lintasan. Karena pada peta biasanya selalu dilengkapi dengan garis-garis koordinatnya.

Pembacaan pada peta dapat dilakukan dengan cara interpolasi, dimana kita melakukan perbandingan antara garis-garis lintang dan garis-garis bujurnya.

2.5 Tinggi Antena

Apabila lokasi pembangunan radio telah di tentukan dan ketinggian penghalang juga telah diketahui, maka langkah berikutnya adalah menentukan ketinggian dari antena. Karena salah satu cara untuk mengurangi atau menghindari adanya pengaruh penghalang, adalah dengan cara menambah ketinggian posisi fisik dari antena (baik Tx maupu Rx), dengan cara tersebut maka akan dapat menambah besarnya tinggi koridor dan dapat memungkinkan antara antena pemancar dan penerima dapat saling bebas pandang serta penghalang berada diluar daerah *fresnel* I. Namun demikian dengan bertambahnya ketinggian antena akan mengakibatkan *feeder* juga ikut bertambah panjang dan otomatis rugi-rugi *feeder* juga akan ikut bertambah pula.

Besarnya tinggi kritis di penerima dapat dihitung menggunakan rumus, sbb :

$$h_2 \geq \frac{d \cdot c_2}{d} + \frac{d_2 \cdot h_1}{2ka} + \frac{d \cdot d_2}{d_1} + \frac{d \cdot h_0}{d_1} \dots\dots\dots(2-3)$$

2.5.1 Daerah Fresnel

Daerah *fresnel* adalah tempat kedudukan dimana titik-titik yang mempunyai selisih jarak tetap, dari dua buah lokasi yang tetap pula, yaitu kelipatan dari setengah panjang gelombang radio yang di oprasikan.

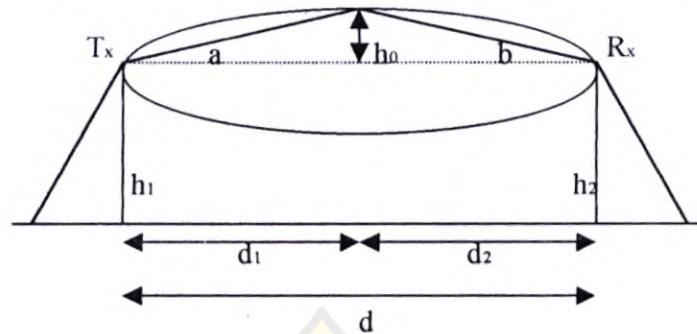
Daerah *fresnel* ini memegang peranan yang sangat penting dalam pentransmisian energi gelombang mikro, dimana bentuk Daerah *fresnel* ini berupa ellipsoid.★

Jari-jari Daerah *fresnel*, di notasikan dengan h_0 , pada titik sembarang antara dua titik pemancar dan titik penerima. Dimana :

$$F = 17,3\sqrt{\{(d_1 \times d_2) / (f \times d)\}} \dots\dots\dots(2-4)$$

dimana :

- f = Frekuensi kerja (GHz)
- d_1 = Jarak dari penghalang ke pemancar terdekat (Km)
- d_2 = Jarak dari penghalang ke penerima terdekat (Km)
- d = Jarak total dari pemancar ke penerima (Km)



Gambar 2.5.1 Jari-jari fresnel

2.5.2 Bentuk Bumi Penghalang dan Tinggi Koridor

Sifat perambatan gelombang radio frekuensi tinggi adalah *line of sight* (LOS), yaitu kondisi dimana antara antenna pemancar (Tx) dengan antenna penerima (Rx) harus dapat saling pandang dan tidak ada penghalang (bebas hambatan). Oleh karena itu dalam merencanakan suatu sistem transmisi radio link gelombang mikro harus memperhatikan tentang tonjolan-tonjolan bumi dan penghalang, sehingga tinggi koridor yang terbentuk bisa lebih besar dari pada daerah *fresnel* I.

a. Tonjolan Bumi

Tonjolan bumi (*Earth Bulge*) adalah sifat alami dari permukaan bumi yang berbentuk cembung, karena bumi yang berbentuk bulat.

Besarnya tonjolan bumi dinotasikan dengan **h**, yaitu :

$$h = \frac{d_1 \times d_2}{12,75k} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

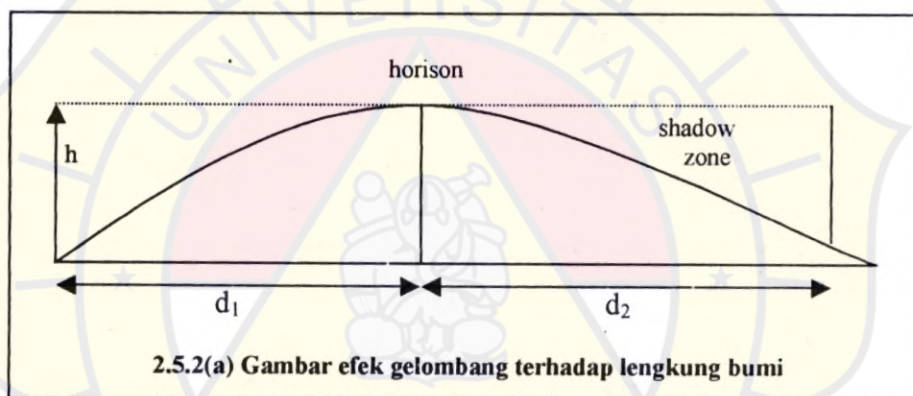
h = perubahan pada arah vertikal dari garis refrensi horisontal.

(*Earth Bulge*)

k = konstanta radius efektif bumi

d_1 = jarak dari titik observasi ke titik garis singgung garis refrensi dengan bumi (km)

d_2 = jarak dari titik observasi ke titik garis singgung garis refrensi dengan bumi (km) dari arah lain.



b. Penghalang

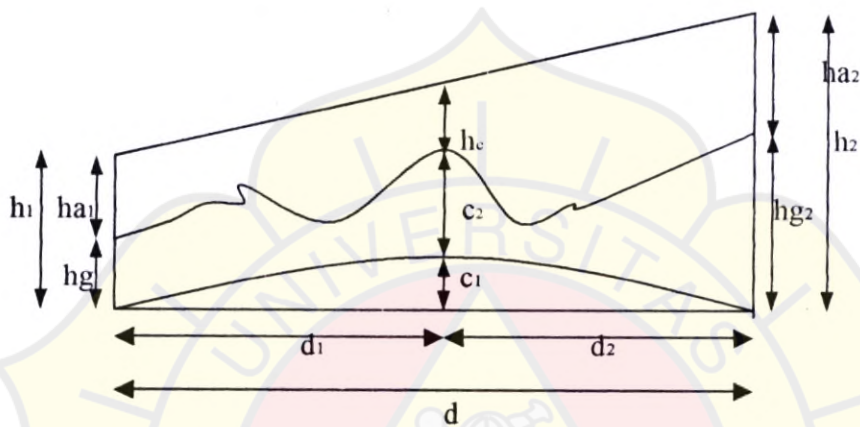
Penghalang (*Obstacle*) adalah suatu benda yang terletak antara antena pemancar (Tx) dan antena penerima (Rx) yang sifatnya menghalangi lintasan gelombang radio, penghalang ini dapat bersifat alami dan buatan. Ketinggian penghalang di notasikan c .

c. Tinggi Koridor

Tinggi koridor (*Height Clearance*) adalah suatu jarak antara sumbu utama lintasan gelombang radio dengan puncak penghalang.

Ketinggian koridor dinotasikan dengan h_c , dimana $h_c \geq \text{Jari-jari Fresnel-I}$.

Tonjolan bumi, Penghalang dan tinggi koridor digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5.2(b) Radio Height Clearance

Besarnya tinggi koridor dapat dihitung dengan rumus, sbb :

$$h_c = \frac{h_1 \cdot d_2 + h_2 \cdot d_1}{d} - c_2 - \frac{d_1 d_2}{2ka} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana :

- h_{ax} = Tinggi antena
- h_{gx} = Tinggi ketinggian lokasi
- h_c = Tinggi koridor
- c_1 = Tinggi bumi
- c_2 = Tinggi penghalang

- d_1 = Jarak penghalang ke titik terdekat
- d_2 = Jarak penghalang ke titik terjauh
- d = Jarak antara Tx dengan Rx

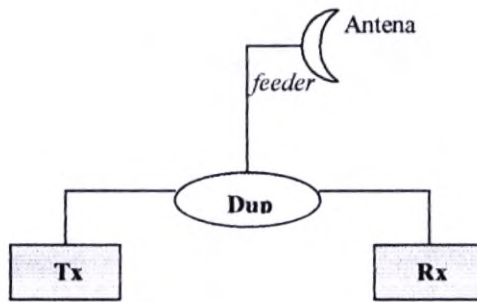
2.5.3 Rugi Feeder dan Pencabangan

Feeder adalah suatu komponen pentransmisi yang berfungsi untuk menghubungkan antara pemancar dengan antena dan antena dengan penerima. Rugi *feeder* biasanya dinyatakan dalam dB/m, sedangkan rugi pencabangan dalam dB. Pencabangan adalah suatu komponen transmisi yang berfungsi untuk memungkinkan kita menggunakan suatu antena secara bersama-sama baik pada pemancar maupun penerima. Akibat adanya penambahan *feeder* dan *duplexer*, maka perambatan sinyal akan mengalami kerugian daya. Ada beberapa bentuk feeder yang sering digunakan diantaranya adalah *coaxial* dan *waveguide*. Untuk kabel coaxial sendiri ada bermacam-macam type yang memiliki karakteristik berbeda, untuk menentukan typenya kabel coaxial dibedakan berdasarkan indeks *attenuation*:

$$\alpha_c = \frac{9,5 \times 10^{-5} \sqrt{f(r_o + r_i)} \sqrt{\epsilon_r}}{r_o r_i \ln(r_o / r_i)} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana:

- f : frekuensi
- ϵ_r : indeks permeability
- r_o : jari – jari bagian luar dari kabel
- r_i : jari – jari bagian dalam dari kabel



Gambar 2.5.3 Blok *transceiver* radio

2.6 Sistem Modulasi

Modulasi adalah suatu proses perubahan signal analog menjadi digital dan proses penumpangan signal informasi pada signal carier. Pada sistem komunikasi radio gelombang mikro ada tiga macam modulasi, yaitu :

- Modulasi pulsa, disini signal analog dirubah menjadi signal digital, ada beberapa jenias modulasi pulsa diantaranya PCM, PFM, PAM dan sebagainya.
- Modulasi digital, disini signal digital ditumpangkan pada signal carrier IF, ada beberapa jenis modulasi digital diantaranya ASK, FSK, PSK dan QAM.
- Modulasi analog, signal IF analog akan ditumpangkan pada signal RF agar bisa di transmisikan, ada beberapa jenis modulasi analog diantaranya AM, FM dan sebagainya.

2.6.1 Teknik *Pulse Code Modulation (PCM)*

Pulse Code Modulation adalah teknik yang digunakan untuk mengubah signal analog ke signal digital dan sebaliknya. Sedangkan CCITT mendefinisikan

PCM sebagai berikut: suatu proses dimana sinyal disampling dan diquantising tergantung dari sinyal sample itu sendiri dan diubah dengan encoding ke dalam sinyal digital. Proses untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

- ***Sampling***

Sampling merupakan langkah pertama dalam proses perubahan sinyal analog menjadi sinyal digital. Dalam proses sampling sinyal analog diubah menjadi sample-sample terpisah dengan interval waktu yang sama. Pada saat sinyal analog disampling sejumlah pulsa akan dihasilkan, pulsa tersebut merupakan pulsa termodulasi amplitudo (PAM). Amplitudo tiap pulsa yang berubah-ubah merupakan amplitudo dari setiap sinyal yang disampling.

Frekuensi sampling untuk sampling yang periodik adalah jumlah sample per unit waktu. Berdasarkan standart CCITT frekuensi sampling untuk sinyal suara (300 – 3400 Hz) pada jaringan telepon adalah 8000 kali per detik atau 8000 Hz. Maka interval tiap sampling mempunyai periode $1/8000$ Hz atau $125 \mu\text{s}$.

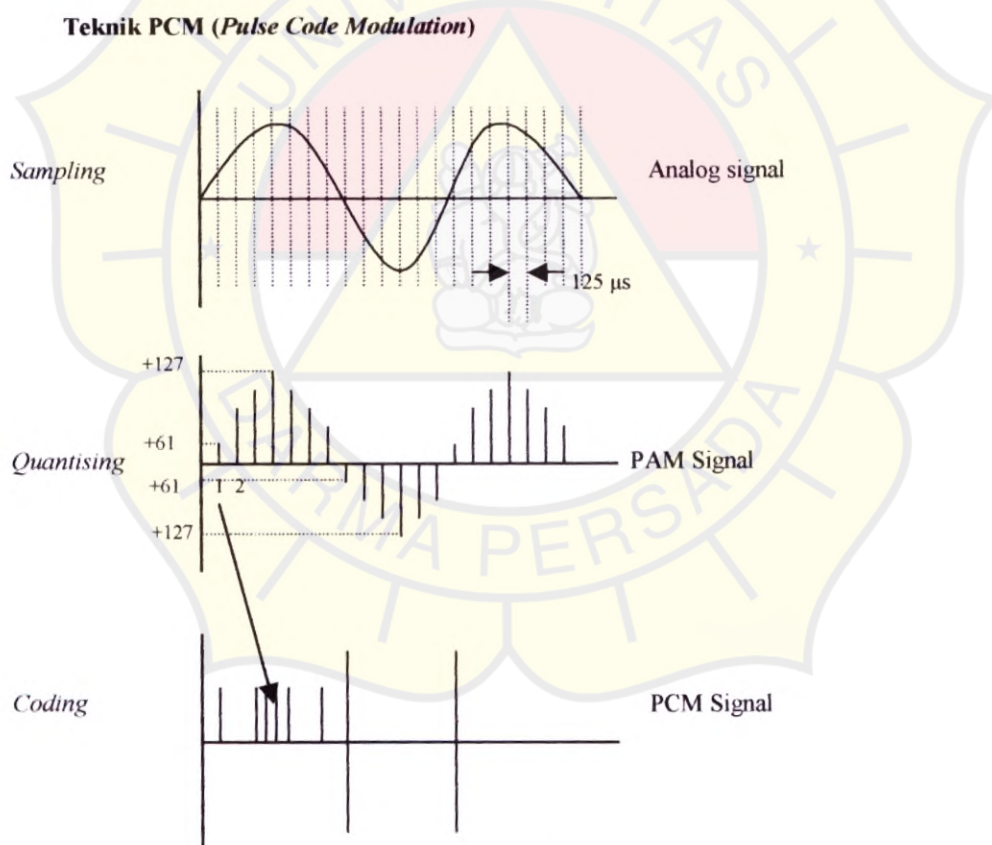
- ***Quantising***

Masing-masing signal Pulse Amplitude Modulation diukur pada skala 255 level yang berbeda (127 level positif, 127 level negatif dan nol). Pada gambar 2.6.1B pengklasifikasian ini disebut quantising.

- **Coding**

Setelah disampling dan diquantising masing-masing sinyal PAM dikodekan dalam bentuk bilangan biner. Coding dilakukan pada sinyal 8 bit. 1 bit digunakan untuk penanda positif, negatif dan 7 bit berikutnya digunakan sebagai kode pada amplitude sinyal.

Pada proses PCM ini merubah bentuk dari sinyal analog ke sinyal digital dan sebaliknya di dalam AD-DA konverter. Sedangkan bit rate pada kanal bicara adalah $8 \text{ Khz sampling} \times 8 \text{ bit/sample} = 64 \text{ Kbit/s}$.



Gambar 2.6.1 Teknik PCM (Pulse Code Modulation)

2.6.2 Modulasi Digital

Ada 3 bentuk dasar teknik modulasi digital yaitu Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK) dan Phase Shift Keying (PSK). Ketiganya dibedakan berdasarkan simbol-simbol yang ditransmisikan.

Teknik modulasi digital lain yang merupakan turunan dari ketiga bentuk dasar di atas diantaranya adalah BPSK, QPSK, M-Ary PSK, M-Ary QAM.

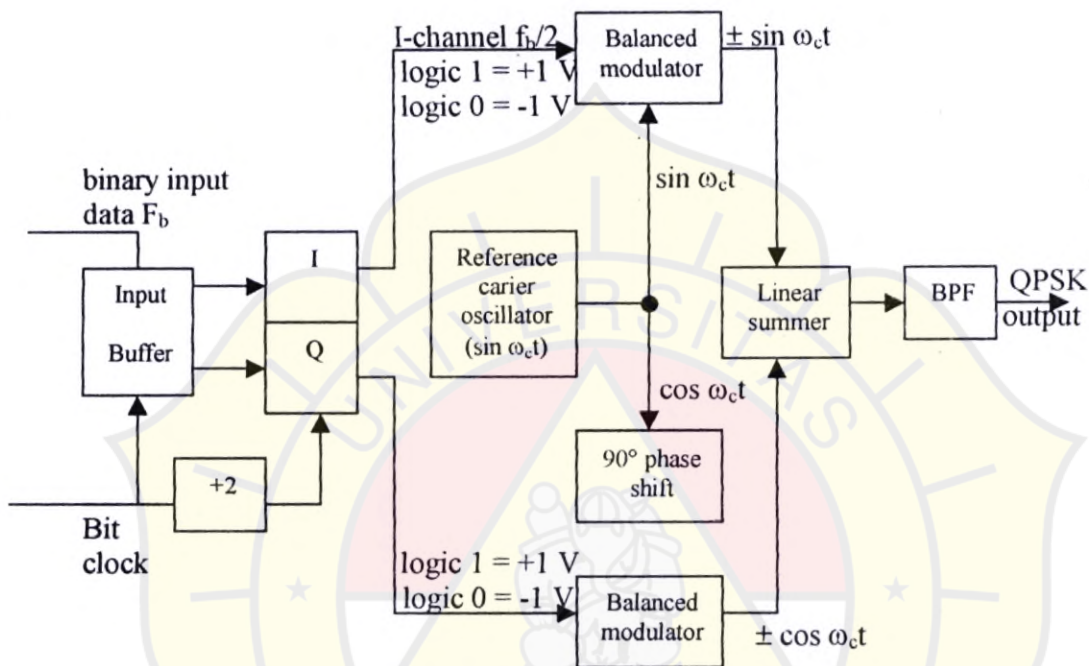
Ada tiga aspek utama yang dipertimbangkan dalam memilih teknik modulasi digital yang tepat yaitu :

- a. Efisiensi spektral frekuensi.
- b. Tingkat performansi yang di butuhkan.
- c. Faktor kompleksitas dan ekonomis sistem.

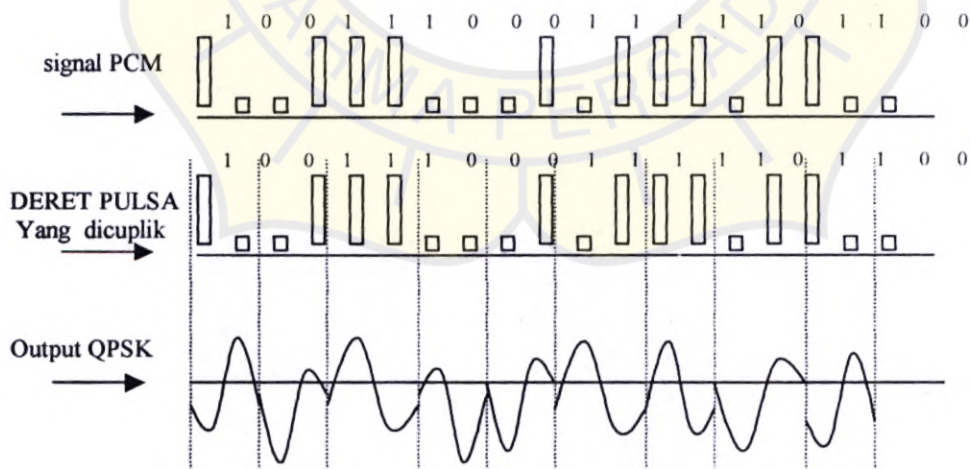
Quaternary Phase Shift Keying (QPSK) atau kadang disebut quadrature PSK, adalah bentuk lain dari modulasi digital dengan sudut termodulasi dan amplitudo yang tetap. QPSK adalah sebuah teknik *encoding M-ary* dimana $M = 4$. Dengan QPSK ke-4 keluaran phasanya dapat menggunakan satu frekuensi *carier*. Karena terdapat empat keluaran phase yang berbeda maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda pula. Karena masukan digital untuk pemodulasi QPSK adalah signal binary, untuk membuat 4 kondisi masukan yang berbeda, diperlukan lebih dari satu bit masukan. Dengan dua bit ada empat kemungkinan kondisi, yaitu : 00, 01, 10 dan 11. Karena itu, dengan QPSK masukan binary data dikombinasikan dalam kelompok yang berisikan 2 bit yang disebut dibit. Masing-masing kode dibit menghasilkan satu dari 4 kemungkinan keluaran phase. Karena

itu, untuk masing-masing 2 dibit yang masuk kedalam modulator, sebuah perubahan keluaran terjadi.

Dibawah ini adalah blok diagram dari pemodulasi QPSK :



2.6.2(a) Block diagram Transmisi QPSK



Gambar 2.6.2(b) Modulasi QPSK

2.6.3 *Bandwith Efeciency*

Efisiensi *bandwith* sering digunakan untuk memberikan perbandingan *performansi* antara suatu teknik modulasi digital dengan modulasi lainnya. Pada dasarnya, ini adalah rasio dari transmision bit rate terhadap *banwith* minimum yang diperlukan untuk tipe modulasi tertentu. Efisiensi *bandwith*

$$B\text{W efficiency} = \text{Transmission rate} / \text{minimum bandwidth} \dots (2-8)$$

2.6.4 Modulasi Analog

Modulasi analog adalah suatu proses penumpangan signal informasi yang berbentuk analog pada signal pembawa yang juga berbentuk analog. Ada 3 macam modulasi analog:

1. FM (*frequency modulation*)
2. AM (*amplitude modulation*)
3. PM (*phase modulation*)

Pada FM (*frequency modulation*), frekuensi gelombang pembawa diubah sesuai dengan signal yang akan dikirim.

2.7 Spektrum Frekuensi

Masalah yang berkaitan dengan penggunaan spektrum frekuensi meliputi tiga aspek utama yaitu pemilihan frekuensi yang paling tepat, interferensi, dan pemilihan cara terbaik dalam penggunaan band frekuensi berdasarkan jenis modulasi dan jarak hubungan

Pengaturan penggunaan frekuensi diatur oleh ITU (*International Telecommunication Union*). ITU membagi daerah menjadi 3 bagian yaitu Region 1 meliputi Eropa dan Afrika, Region 2 meliputi Amerika Utara dan Selatan, dan Region 3 meliputi Asia dan Oceania.

Alokasi band frekuensi untuk aplikasi tertentu berbeda untuk masing-masing daerah (region).

Secara praktis, band frekuensi 1 GHz dan 1,4 GHz dipakai sebagai batas bawah. Frekuensi yang lebih tinggi akan menyediakan gain antena yang lebih tinggi sedangkan penggunaan frekuensi yang lebih tinggi ditentukan oleh efek propagasi gelombang, khususnya pengaruh redaman hujan dan redaman atmosfer.

2.8 *Wireless Local Loop (WLL)*

Wireless local loop (WLL) atau di Indonesia lebih dikenal dengan **JARLOKAR** (Jaringan Lokal Akses Radio) adalah suatu jaringan telekomunikasi yang di gunakan untuk menghubungkan terminal pelanggan dengan sentral telpon lokal (*Local Exchange*) dengan menggunakan media penghubung berupa gelombang radio

Sistem WLL bersifat transparan terhadap jaringan kabel, artinya untuk kerja WLL harus setara dengan pelanggan akses kabel dari sentral lokal yang sama, baik pensinyalan, penomoran maupun pembebanan harus mengacu dan

dilakukan di sentral lokal tersebut. Akses WLL ini tersedia karena beberapa hal, seperti :

- a. Menyediakan sambungan antara terminal pelanggan dengan sentral lokal dengan menggunakan teknologi radio secara total atau parsial.
- b. Digunakan untuk mempercepat ketersediaan jaringan lokal sehingga dapat mempercepat layanan terutama pada area yang kompetitif.
- c. Diaplikasikan untuk memberikan layanan pada suatu area secara tertutup, temporer atau emergensi.
- d. Terdapat sejumlah kombinasi penggantian jaringan kabel dengan menggunakan teknologi radio ditingkat *feeder*, *distribusi* maupun di *drop wire*.

Teknologi WLL ini juga mempunyai kelebihan maupun kekurangan dibandingkan jaringan fisik (kabel), antara lain :

1. Kelebihan :
 - a. Tidak mudah disadap.
 - b. Memiliki fleksibilitas yang tinggi.
 - c. Dapat menjangkau daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan fisik sehingga sangat cocok untuk daerah pedesaan (rural) atau daerah terpencil (remote).
 - d. Instalasi cepat.
2. Kekurangan :
 - a. Gangguan-gangguan propagasi radio (*loss*, *interferensi*, *fading dll*).

- b. Dimungkinkan terjadinya *blocking* karena adanya konsentrasi saluran (jumlah pelanggan > jumlah saluran).
- c. Memerukan catuan listrik pada perangkat pelanggan.

Struktur WLL pada umumnya terdiri dari :

1. *Network Station*, didalamnya terdapat :
 - a. Sentral terminal/*Controller*.
 - b. *Approach Link* (saluran penghubung).
 - c. *Cell Station* (CS).
2. *Subscriber Station*
 - a. *Subscriber Unit* (stasiun radio pelanggan).
 - b. Power Supply.

2.8.1 Ruang lingkup Komunikasi Radio

Ruang lingkup komunikasi radio dari pemakaian WLL dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Daerah Urban.
2. Daerah Sub Urban.
3. Daerah Rural.

1. Daerah Rural

Merupakan daerah alam terbuka serta populasi penduduknya terbatas dan menyebar. Biasanya berbentuk pedesaan, lembah, sepanjang sungai, jalan, ditepi

danau dan pantai. Kepadatan penduduk bervariasi antara 1 sampai 100 penduduk per-km. Total trafik perpelanggan sangat rendah dan hanya membutuhkan layanan dasar telepon yaitu *voice* dan data dengan kecepatan rendah.

2. Daerah Sub Urban

Merupakan daerah pinggiran kota atau kota kecil dengan karakteristik trafik tinggi dan kepadatan penduduk sedang yaitu 1000 -- 3000 penduduk per-km. Daerah ini memiliki rumah-rumah yang tidak terlalu padat dan banyak kompleks perumahan baru.

3. Daerah Urban

Merupakan daerah perkotaan dimana terdapat pusat-pusat bisnis dan pemerintahan dengan karakteristik trafik tinggi dan kepadatan pelanggan tinggi mencapai 5500 penduduk per-km ditandai dengan banyaknya bangunan gedung tinggi.

2.8.2 Media Transmisi

Penyampaian informasi hanya terlaksana bila ada semacam media antara sumber informasi dengan penerima informasi. Media informasi seperti ini sering disebut dengan media penyalur atau media transmisi.

Dalam sistem telekomunikasi dikenal dua macam media transmisi yang dipakai yaitu :

1. Saluran fisik, yaitu semacam media transmisi yang dapat dilihat dan diraba secara fisik, contohnya : *open wire*, kabel koaksial dan kabel serat optik.

2. Saluran non fisik, yaitu media transmisi yang terdiri dari gelombang-gelombang elektromagnetik (gelombang radio), tanpa mempergunakan kawat (*wireless*), contohnya : teresterial dan satelit.

Jenis Frekuensi dan Propagasi, yaitu :

1. *Low Frekuensi* (LF) : 30-300 KHz

Jarak capai jauh, ukuran antena cukup besar, attenuasinya rendah.

2. *Medium Frekuensi* (MF) : 300-3 MHz

Attenuasi rendah pada malam hari dan tinggi pada siang hari.

3. *High Frekuensi* (HF) : 3-30 MHz

Transmisi melalui ionosphere sehingga tergantung pada waktu, siang/malam dan musim.

4. *Very High Frekuensi* (VHF) : 30-300 MHz

Komunikasi line of sight, tidak terlalu tergantung pada ionosphere.

5. *Ultra High Frekuensi* (UHF) : 300-3000 Mhz.

Komunikasi *line of sight* (LOS), tidak terpengaruh *fading*.

6. *Super High Frekuensi* (SHF) : 3-30 GHz

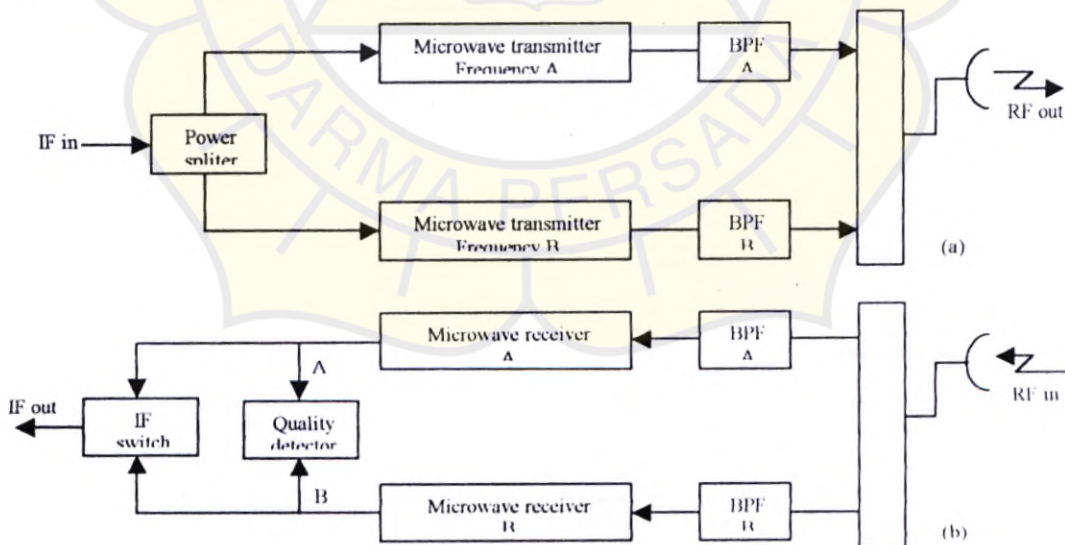
Komunikasi *line of sight*.

2.9 Frekuensi Diversity

Frekuensi diversity adalah pemodulasian sederhana dua frekuensi RF *carrier* yang berbeda dengan *intelephant* IF yang sama, kemudian ditransmisikan kedua sinyal RF ke arah tujuan. Di daerah tujuan, kedua *carrier* didemodulasikan dan salah satu dari keduanya yang mempunyai kualitas sinyal IF yang lebih baik

akan dipilih. Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah sistem *kanal gelombang mikro frekuensi diversity tunggal*.

Dalam gambar 2.9(a), input sinyal IF disalurkan ke *power splitter*, dimana akan diarahkan ke pemancar gelombang mikro A dan B. output RF dari kedua pemancar di gabungkan dalam *channel combining network* dan disalurkan ke antenna pemancar. Pada sisi penerima akhir (gambar 2.9(b)), *channel separator* mengarahkan RF *carrier* A dan B ke masing-masing penerima gelombang mikro, dimana sudah dikonversikan ke bawah (*down-konvert*) menjadi IF. Sirkuit *quality detector* menentukan *channel* yang mana A atau B, yang mempunyai kualitas tinggi dan mengarahkan *channel* tersebut melalui *IF switch* untuk selanjutnya didemodulasikan menjadi *baseband*. Sementara itu, kondisi *atmosfir* yang buruk dapat menurunkan frekuensi sinyal RF yang terpilih. Oleh karena itu diberikan batasan waktu pada *IF switch* agar dapat men-*switch* kembali dan sebaliknya dari penerima A ke B, dan begitu seterusnya.



Gambar 2.9 Sistem Gelombang Mikro Frekuensi Diversity :

(a) pemancar; (b) penerima

2.9.1 *Space Diversity*

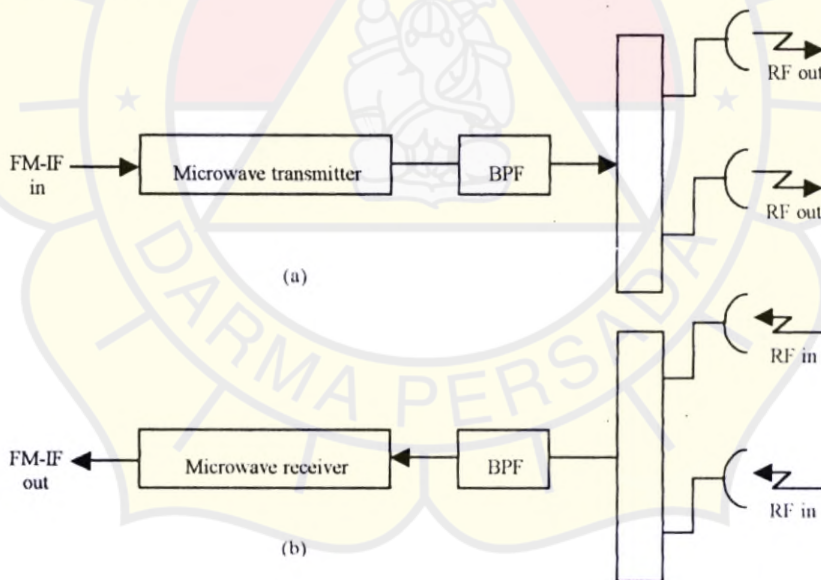
Dengan *space diversity*, *output* sebuah pemancar disalurkan ke dua antena atau lebih yang secara fisik dipisahkan oleh besarnya panjang gelombang yang berbeda. Begitu juga pada sisi penerima terdapat lebih dari satu antena untuk menangkap *input* sinyal ke penerima. Jika antena penerima *multiple* yang digunakan, harus juga dipisahkan oleh besarnya panjang gelombang. Gambar 2.9.2 menunjukkan sebuah sistem *kanal* gelombang *mikro space diversity* tunggal.

Ketika *space diversity* digunakan yang terpenting diperhatikan adalah jarak elektrik dari pemancar untuk setiap antenanya ke sebuah penerima untuk masing-masing antena harus sama dengan panjang gelombang. Hal ini untuk memastikan bahwa dua atau lebih sinyal yang frekuensinya sama tiba di *input* penerima, akan langsung di *phase* dan di jumlahkan. Jika menerima sinyal yang berlainan *phase*-nya maka akan dibatalkan. Konsekwensinya, menghasilkan *power* sinyal penerima lebih rendah dibandingkan jika menggunakan sistem dengan satu antena. Kondisi atmosfer yang buruk sering kali mengisolasi daerah geografi yang sangat kecil. Dengan *space diversity*, terdapat beberapa *path* transmisi diantara pemancar dan penerima. Ketika kondisi atmosfer kurang baik terjadi pada satu *path*, masih ada *path* lain yang kemungkinan tidak mengalami *degradasi*. Maka kemungkinan menerima sinyal yang cocok sangat tinggi ketika *space diversity* digunakan daripada tanpa *diversity*. Alternatif lain *metode space diversity* adalah dengan menggunakan satu antena pemancar dan dua antena penerima yang dipisahkan secara *vertikal*. Tergantung kondisi atmosfer pada saat

itu, satu antena penerima dapat menerima sinyal yang cukup. Kadang-kadang terdapat dua *path* transmisi yang hampir tidak terpengaruh serentak oleh *fading*.

2.9.2 Polarization Diversity

Dengan *polarization diversity*, satu RF carrier di propagasikan dengan dua polarisasi elektromagnet yang berbeda (*vertikal* dan *horizontal*). Gelombang elektromagnetik dari polarisasi yang berbeda tidak mengalami kerugian transmisi yang sama. *Polarisasi diversity* pada umumnya digunakan bersama-sama dengan *space diversity*. Satu pasang antena pemancar/penerima menggunakan polarisasi *horizontal*. Ini juga memungkinkan untuk menggunakan frekuensi, *space* dan polarisasi secara serentak.



Gambar 2.9.2 Sistem Gelombang Mikro *Space Diversity* :

(a) Pemancar ; (b) Penerima

2.10 Kalkulasi Link

Kalkulasi link adalah suatu metode perhitungan secara teoritis yang digunakan untuk menganalisis sistem, hasil perhitungannya dapat dijadikan perbandingan dengan hasil pengukuran dilapangan sebagai bahan perbandingan.

2.10.1 Penguatan (perolehan) Antena

Salah satu cara untuk memperbaiki unjuk kerja perangkat komunikasi gelombang mikro adalah dengan cara memperbesar perolehan pada antena. Besarnya perolehan antena sangat tergantung pada frekuensi kerja yang dipakai, diameter antena dan juga efisiensi dari antena itu sendiri.

Untuk itu agar memperoleh hasil yang maksimal pemilihan antena harus disesuaikan dengan kebutuhan level yang diperlukan.

Adapun jenis antena yang biasa dipakai untuk radio gelombang mikro adalah jenis antena dengan *reflektor parabolik*, baik itu dengan sirip *grid* ataupun *solid*.

Perolehan antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum yang dihasilkan pada daerah yang sama oleh antena referensi, dengan input yang sama. Besarnya perolehan dari suatu antena berbanding lurus terhadap luas lingkungnya (*aperture*) antena itu sendiri. Besarnya perolehan antena dapat dihitung dengan menggunakan rumus sbb :

$$G = 20 \log f + 20 \log d + 17,8 \dots\dots\dots(2-9)$$

Dimana :

- G = Gain antenna (dB)
- d = Diameter antenna (m)
- f = Frekuensi kerja (GHz)
- 17,8 = Konstanta

Ada beberapa jenis tipe antenna, diantaranya:

- Antena dipole digunakan untuk dengan panjang gelombang yang lebih pendek dari gelombang panjang atau gelombang menengah.
- Antena dengan gelombang berjalan
- Antena beam
- Antena rhombic

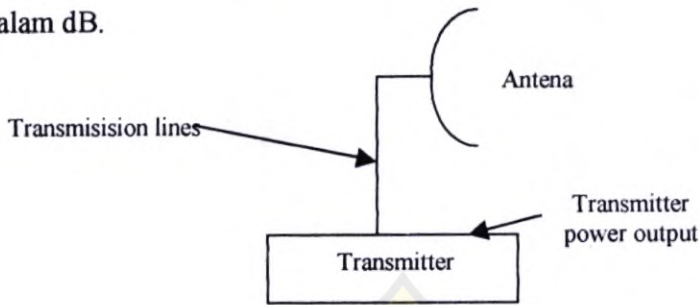
Berdasarkan arah pancaran gelombang ada 2 jenis antenna:

1. antena *omni directional* yang terbagi atas polarisasi *vertical* contohnya antena horn dan *coaxial* serta *horizontal* contohnya antena dengan penguatan super.
2. Antena *directional* ada beberapa jenis diantaranya antena corner reflector, antena yagi-uda, array-antena, antena helical, antena antena log-periodik.

2.10.2 *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)*

Effective Isotropic radiated power adalah menghitung penjumlahan dalam satuan desibel : *power output* pemancar (dalam dBm atau dBW), redaman saluran

transmisi dalam dB (bernilai negatif karena merupakan redaman) dan gain antenna dalam dB.



Gambar 2.10.2 Element EIRP

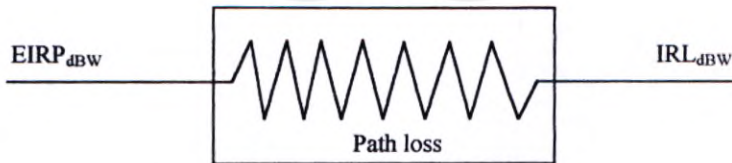
Secara rumus dapat ditulis sebagai berikut :

$$EIRP_{dBW} = P_o + G_t - L_t \dots\dots\dots(2-10)$$

- Dimana : P_o = power output RF transmitter (dBW)
- L_t = redaman saluran transmisi (dB)
- G_t = gain antenna pemancar(dB)

2.10.3 Isotropic Receive Level (IRL)

Isotropic receive level adalah batasan RF *power level* pada antenna penerima. Dapat juga dikatakan sebagai *power* yang diukur pada sebuah isotropic antenna penerima. Perhitungan secara grafik ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



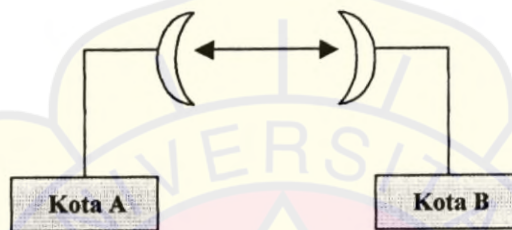
Gambar 2.10.3(a) Perhitungan IRL

Secara rumus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\mathbf{IRL_{dBW} = EIRP_{dBW} - FSL_{Db} \dots\dots(2-11)}$$

Dimana :

FSL : Rugi Propagasi Tampak Pandang



Gambar 2.10.3(b) Propagasi tampak pandang

Rugi propagasi adalah merupakan akumulasi dari rugi ruang bebas, yang disebabkan pelemahan oleh gas (gas H₂O dan O₂) dan pelemahan yang disebabkan hujan, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2.6.

Besarnya rugi-rugi ruang bebas dirumuskan sebagai berikut :

$$\mathbf{FSL = 92,4 + 20 \log f + 20 \log d \dots\dots(2-12)}$$

Dimana :

- LFS = Rugi ruang bebas (dB)
- f = Frekuensi kerja radio (GHz)
- d = Jarak antara pemancar ke penerima (Km)

2.10.4 Receive Signal Level (RSL)

Receive signal level (RSL) adalah *power level* yang memasuki tingkatan pertama aktif pada sistem penerimaan. Besarnya level penerimaan adalah besarnya daya yang dipancarkan distasiun pemancar dikurangi dengan saluran di sisi pemancar ditambah dengan perolehan pada antenna di sisi pemancar kemudian dikurangi dengan rugi-rugi propagasi lalu ditambah perolehan pada sisi penerima, yang dapat dirumuskan, sbb :

$$\text{RSL}_{\text{dBW}} = \text{IRL}_{\text{dBW}} + G_r - L_r \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana : G_r = gain antenna penerima (dB)

L_r = redaman pada penerima (dB)

2.10.5 Receiver Thermal Noise Level

Thermal noise level sebuah penerima adalah fungsi dari *noise figure* penerima dan *bandwidth*-nya. Untuk sistem radio analog, *thermal noise level* penerima dihitung dengan menggunakan *bandwidth Intermediate Frequency (IF)*. Untuk sistem digital, *noise level* hanya 1 Hz *bandwidth* dengan menggunakan notasi N_0 , *noise level* dalam *bandwidth* 1 Hz.

Noise adalah sebuah *device self-generates* yang diberikan oleh *noise figure* (dB) atau nilai temperatur *noise*. Setiap perangkat, meskipun merupakan perangkat pasif, diatas nilai nol menghasilkan *thermal noise*. Kita mengetahui bahwa *power noise level* dalam *bandwidth* 1 Hz dari suatu perangkat penerima yang baik adalah bernilai nol. Maka : $P_n = -228,6 \text{ dBW/H}$

Dimana P_n adalah *noise power level*. Nilai ini banyak dikenal orang sebagai konstanta *Boltzmann's* dalam satuan dBW.

Kita dapat menghitung *thermal noise level* dari perangkat penerima pada temperatur ruang dengan menggunakan rumus :

$$P_n = -228,6 \text{ dBW/Hz} + 10 \log 290^0 \text{ K}$$

$$P_n = -204 \text{ dBW/Hz}$$

Nilai 290^0 Kelvin adalah nilai temperatur ruangan atau besarnya sekitar 17^0 C atau 68^0 F .

Noise figure memberitahukan kepada kita berapa besar *noise* yang harus ditambahkan ke sebuah sinyal selagi melalui sebuah perangkat. *Noise figure* (dB) adalah perbedaan dalam perbandingan sinyal terhadap noise antara input ke perangkat dan output ke perangkat yang sama.

Kita dapat mengkonversikan *noise figure* terhadap noise temperatur dalam kelvin dengan menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$NF_{dB} = 10 \log (1 + T_e/290) \dots\dots\dots(2-14)$$

Dimana : T_e adalah efektif *noise* temperatur sebuah perangkat.

Thermal noise power level dari sebuah perangkat yang beroperasi pada temperatur ruang adalah

$$N = -204 \text{ dBW/Hz} + NF_{dB} + 10 \log (IF \text{ Bandwidth Hz}) \dots\dots\dots(2-15)$$

2.10.6 E_b / N_o

Dalam sistem digital kita menggunakan E_b/N_o , yang berarti perbandingan energi per bit per *noise spectral density*. Kita dapat menghubungkan E_b/N_o terhadap *bit error rate* (BER) yang diberikan pada tipe modulasi.

E_b adalah energi per bit. Andaikan RSL 1 Watt dan menerima 1.000 bit per detik. Maka besarnya energi yang dihasilkan dalam 1 bit adalah 1mW. Kita bagi 1 Watt dengan 1.000 bit per detik. Dalam radio yang bekerja lebih melakukannya pada divisi logaritma karena kita bekerja dalam desibel. E_b dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E_b = RSL_{dBW} - 10 \log (\text{Bit rate}_{bps}) \dots \dots \dots (2-16)$$

Sedangkan N_o dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$N_o = -204 \text{ dBW/Hz} + NF_{dB} \dots \dots \dots (2-17)$$

Sekarang kita dapat memberikan rumusan untuk E_b/N_o :

$$E_b/N_o = RSL_{dBW} - 10 \log (\text{Bit rate}_{bps}) - (-204 \text{ dBW} + NF_{dB}) \dots \dots \dots (2-18)$$

Dapat disederhanakan lagi menjadi :

$$E_b/N_o = RSL_{dBW} - 10 \log (\text{Bit rate}_{bps}) + 204 \text{ dBW} - NF_{dB} \dots \dots \dots (2-19)$$

Atau :

$$E_b/N_o = 10 \log S/N + 10 \log B - 10 \log f_b \dots \dots \dots (2-20)$$

f_b = bit rate

Dengan menggunakan E_b/N_0 maka dapat dicari BER dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{BER} = \frac{e^{-E_b/N_0}}{\sqrt{4\pi \times E_b/N_0}} \dots \dots \dots (2-21)$$

2.10.7 Carrier-to-Noise (C/N)

Carrier-to-noise (C/N) merupakan parameter terpenting yang harus dipertimbangkan untuk mengetahui kinerja dari sebuah sistem komunikasi gelombang mikro (*microwave*). C/N adalah perbandingan lebar pita “*carrier*” dengan *wideband noise power* (penerima dari *noise wideband*). C/N dapat ditentukan pada RF atau titik IF di penerima. C/N dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C/N_{dB} = RSL_{dBW} - P_n_{dBW} \dots \dots \dots (2-22)$$

2.10.8 Fade Margin (FM)

Pada perambatan gelombang radio akan terjadi pemantulan oleh permukaan bumi, sehingga pada penerima akan menerima dua gelombang yang berbeda yaitu gelombang langsung dan gelombang pantul yang jarak tempuh dan waktu perambatan yang berbeda sehingga menimbulkan level daya yang diterima berbeda pada ujung penerima. Perbedaan level daya terima untuk daya pancar yang tetap inilah disebut *fading*.

Untuk menentukan *Fade Margin*, tanpa melakukan tes secara langsung terhadap jalur, sulit dalam rekayasa sistem radio. Oleh karena itu diadakan suatu pendekatan dalam menentukan *Fade Margin* yang disebut *Fading Reyleigh*, dengan perhitungan seperti tabel 2.10.8.

Tabel 2.10.8 Pendekatan *Fading Reyleigh* untuk Hop Tunggal

Reabilitas Propagasi Hop Tunggal (%)	Kebutuhan Fade Margin (dB)
90	8
99	18
99,9	28
99,99	38
99,999	48

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya fenomena *fading* adalah pembiasan, pantulan, difraksi, hamburan dan redaman gelombang radio. Jenis umum yang terjadi pada frekuensi dibawah 10 GHz adalah *Multipath Fading*.

Persamaan *Fade Margin* ditentukan oleh persamaan dibawah ini :

$$P_f(\%) = 6.10^{-5} \times abfD^3 \dots\dots\dots(2-23)$$

Probabilitas waktu terputusnya hubungan atau P_o adalah :

$$P_o(\%) = P_f \times 10^{-FM/10} \dots\dots\dots(2-24)$$

Dimana : P_f = probabilitas terjadinya fading (%)

FM = *Fade Margin* (dB)

D = panjang lintasan (Km)

f = frekuensi (GHz)

- a = 4, untuk dataran rata dan berair
 = 1, untuk daerah rata-rata
 = 0,25, untuk daerah pegunungan
- b = 0,5, untuk daerah lembab dan panas
 = 0,25, untuk iklim sedang
 = 0,125, untuk daerah pegunungan

Untuk memperbaiki atau meminimalisasi efek *fading* maka perlu ditambahkan cadangan *fading* pada sinyal terima minimum yang diperlukan.

Secara umum cadangan *fading* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$FM = 30 \log D + 10 \log (6. a. b.f) - 10 \log (1 - R) 70 \dots\dots\dots(2-25)$$

Cadangan *fading* juga dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$FM_{dBm} = RSL_{dBm} - P_{th} \dots\dots\dots(2-26)$$

Dimana : P_{th} = level daya threshold penerima (dBm)

P_o = outage time (%)

Penambahan cadangan *fading* ini diperlukan untuk mengantisipasi kemungkinan penurunan penguatan/*gain* sistem.

2.11 Performance Objective

Performance dari suatu sistem gelombang mikro digital di evaluasi berdasarkan persentasi waktu, dimana sitem berada pada saat *out of service*. Kejadian dan lamanya kondisi ini sangat tergantung pada redaman propagasi, keandalan sistem gelombang mikro dan aktivitas dari manusia.

Ada dua kriteria yang digunakan untuk memberikan penilaian *performance* sistem, yaitu :

1. *Availability*

Availability untuk lintasan radio digital diatur dalam CCITT Rec. 557-1

yaitu :

- Untuk $L \leq 280$ Km

$$A\% = U\% - 280 / 2500$$
- Untuk $280 \leq L \leq 2500$

$$A\% = U\% - L / 2500$$

Dimana :

- A = *Availability*
- U = *Unavailibily*
- L = Panjang lintasan

2. *Quality*

Performance untu tiap rate mengikuti isi CCIR Rec. 556-1, dimana HRDP (*Hypothetical Reference Digital Path*) sepanjang 2500 Km terdiri dari 9 seksi (hop).

- Untuk $280 \leq L \leq 2500$ Km.

$$BER = 10^{-3} P(\%) \leq L \cdot 2500 \cdot 0,054\%$$

$$BER = 10^{-6} P(\%) \leq L/2500 \cdot 0,4\%$$
- Untuk $L \leq 280$ Km.

$$BER = 10^{-3} P(\%) \leq 280/2500 \cdot 0,054\%$$

$$BER = 10^{-6} P(\%) \leq 280/2500 \cdot 0,4\%$$

2.12 Perhitungan *Gain* Sistem

Gain sistem didefinisikan sebagai perbedaan antara daya output pemancar dan level daya threshold penerima untuk BER tertentu.

$$G_s = P_t - P_{th} - L_s + L_b + L_f - G_t - G_r + M_f \dots\dots\dots(2-27)$$

$$P_{th} = NF - 204 + 10 \cdot \log R + E_b/N_o \dots\dots\dots(2-28)$$

Dimana :

- P_t : daya output pemancar (dBm)
- P_{th} : level daya minim penerima untuk BER tertentu (dBm)
- NF : faktor derau penerima (dB)
- R : bit rate (bps)
- L_s : redaman lintasan free space (dB)
- L_b : redaman branching network
- L_f : redaman feeder (dB)
- Gr/GR : gain antena (dB)
- M_f : fading margin ditentukan oleh derau termis (dB)

2.13 Signal to Noise Ratio.

Pada suatu sistem komunikasi signal output yang dihasilkan memiliki kualitas tertentu. Untuk mengukur kualitas dari outputnya digunakan signal to noise ratio, dimana perbandingan antara besarnya signal yang dikirim dengan

besarnya noise yang dilalui. Untuk menghitung S/N ada beberapa macam pendekatan salah satunya dilihat dari tipe modulasinya :

$$\frac{S}{N} = \frac{Q^2}{1 + 4Q^2 (BER)} \dots\dots\dots(2-29)$$

Dimana:

Q : 2^n : banyaknya langkah dalam pemodulasian

N : level modulasi yang digunakan

BER : nilai rata kesalahan Bit pada transmisi

