

BAB II

SISTEM KOMUNIKASI RADIO

2.1 Propagasi Gelombang Elektromagnetik

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 charge* 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. Komunikasi gelombang mikro

Gelombang radio yang berfrekuensi tinggi cenderung menjalar dengan garis lurus, oleh karena itu apabila berfrekuensi diatas 100 Mhz dapat difokuskan. Dimana pemusatan semua energi menjadi titik kecil yang menggunakan antenna 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.

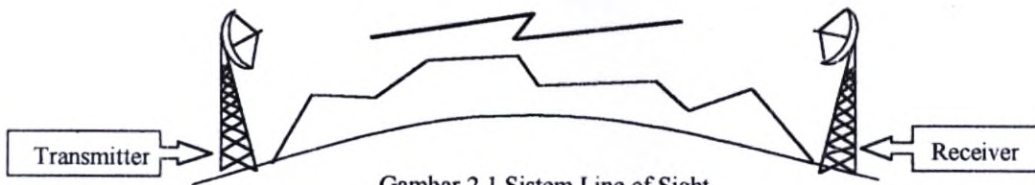
Untuk frekuensi 8 Ghz terdapat masalah *absorpsi* oleh air. Gelombang yang hanya memiliki panjang gelombang beberapa sentimeter ini dapat diabsorpsi oleh hujan. Efek ini dapat dikurangi dengan membangun oven gelombang mikro yang sangat besar diluar.

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

Sistem komunikasi gelombang mikro ini dapat dibagi menjadi dua macam yaitu:

a. Sistem Line Of Sight

Umumnya menggunakan daya pemancar yang cukup kecil dengan jarak *link* sekitar 10 km-100 km. Sistem ini juga dipergunakan pada komunikasi satelit.



Gambar 2.1 Sistem Line of Sight

b. Sistem trans horizon

Menggunakan daya pemancar yang relatif cukup tinggi yaitu diatas 50 kW dengan jarak lintasan 50 km-1400 km per link dengan memperhatikan *difraksi* dan *tropospheric scatter*.

2.2.1 Wireless Local Loop (WLL)

Wireless Local Loop (WLL) adalah salah satu dari sistem telekomunikasi yang digunakan untuk menghubungkan terminal pelanggan dengan sentral telepon lokal dengan menggunakan media akses berupa gelombang radio.

Sistem WLL bersifat transparan terhadap jaringan kabel, artinya sistem kerja dari WLL harus setara dengan pelanggan akses kabel dari sentral yang sama, baik pensinyalan, penomoran maupun pembebanan harus mengacu dan dilakukan di sentral lokal tersebut. Akses WLL 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 tetap, temporer atau emergensi.

- d. Terdapat sejumlah kombinasi penggantian jaringan kabel dengan menggunakan teknologi radio ditingkat *feeder*, distribusi maupun di *drop wire*.

Kelebihan dan kekurangan WLL dibandingkan jaringan fisik :

1. Kelebihan :
 - a. Tidak mudah disadap
 - b. Mempunyai fleksibilitas tinggi
 - c. Dapat menjangkau daerah oleh jaringan fisik (kabel) sehingga sangat cocok untuk daerah pedesaan (rural) atau terpencil (*remote*)
 - d. Instalasi cepat
2. Kekurangan :
 - a. Gangguan propagasi radio (*loss, interferensi, fading, dll*)
 - b. Dimungkinkan terjadi bloking karena adanya konsentrasi saluran (jumlah pelanggan lebih besar dari jumlah saluran)
 - c. Karena menggunakan teknik kompresi untuk layanan data *bit rate* rendah (kondisi saat ini).

Aspek-aspek yang mempengaruhi penerapan WLL meliputi :

1. Aspek pelanggan (bisnis, perkantoran, perumahan dll)
2. Aspek layanan (*voice, data, video*)
3. Aspek kualitas (*availability, quality, security*)

2.2.2. Lingkungan Komunikasi Radio

Lingkungan komunikasi dari pemakai WLL dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

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.

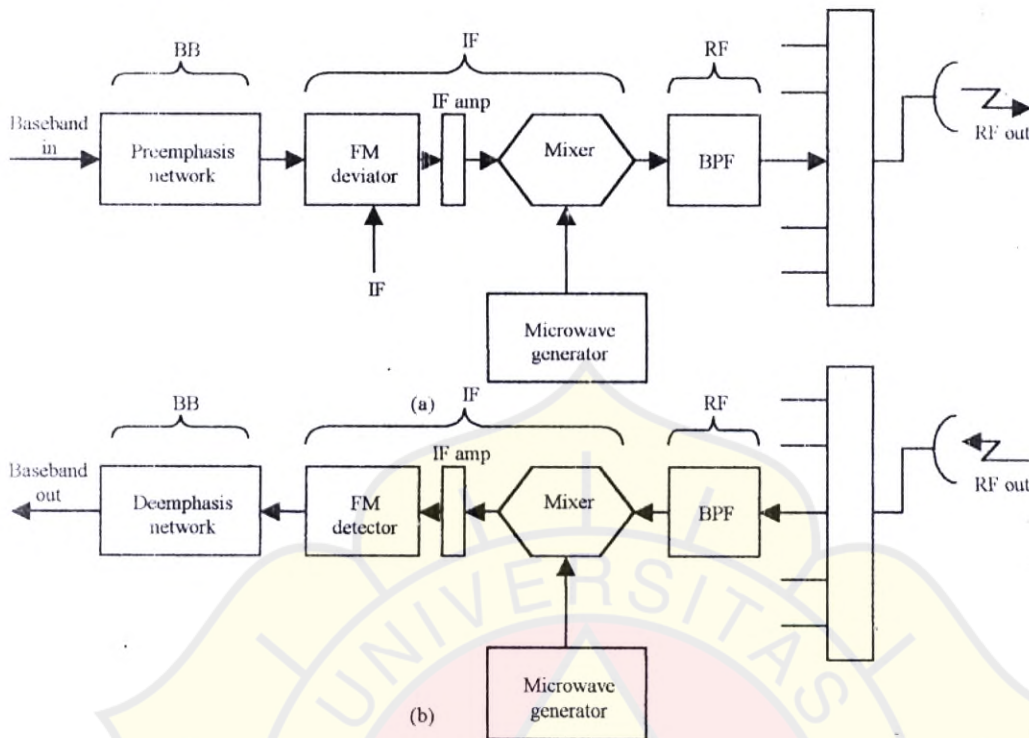
2.2.3. Media Transmisi

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.

3. *Broadcast.*
4. *Wideband data.*



Gambar 2.2 Diagram Blok Sederhana Sistem Radio Gelombang Mikro FM :
(a) Pemancar ; (b) Penerima

2.2.4.1. Pemancar Radio Gelombang Mikro FM

Dalam pemancar radio gelombang *mikro* FM ditunjukkan pada gambar 2.2a, sebuah *preemphasis network* mendahului *FM deviator*. *Preemphasis network* memberikan sebuah penguatan buatan dalam amplitudo untuk *baseband* frekuensi tinggi. Hal ini membolehkan *baseband* frekuensi rendah untuk memodulasikan frekuensi *IF carrier* dan *baseband* frekuensi tinggi untuk modulasi *phase*. Bagian ini menjamin sebuah bentuk *signal-to-noise rasio* melampaui keseluruhan *spektrum baseband*. Sebuah *FM deviator* menyelenggarakan modulasi *IF carrier* yang kemungkinan datang dari *carrier* gelombang mikro utama. Tepatnya, frekuensi *IF carrier* antara 60 dan 80 MHz,

Pada dasarnya, ada 2 tipe *repeater* gelombang mikro : *baseband* dan IF (gambar7). *Repeater* IF disebut juga sebagai *repeater heterodyne*. Dengan sebuah *repeater* IF (gambar2.4.a) penerimaan RF *carrier* di konversikan ke bawah (*down-convert*) menjadi frekuensi IF, dikuatkan (*amplify*), bentuk kembali (*reshape*), dikonversikan ke atas (*up-convert*) menjadi frekuensi RF dan kemudian baru ditransmisikan kembali. Sinyal tidak pernah didemodulasikan dibawah IF. Maka kecerdasan (*intelligence*) *baseband* tidak dimodifikasi oleh *repeater*. Dengan sebuah *repeater baseband* (gambar 2.4.b), penerimaan RF *carrier* di konvesikan ke bawah (*down-convert*) menjadi frekuensi IF, dikuatkan (*amplify*), di *filter* dan selanjutnya didemodulasi menjadi *baseband*. Sinyal *baseband* dimana khususnya *frequency-division-multiplexed voice band channel*, selanjutnya di *demodulasi* ke sebuah *mastergroup*, *supergroup* atau tingkatan *channel*. Hal ini memperbolehkan sinyal *baseband* dikonfigurasi ulang untuk bertemu *routing* yang dibutuhkan keseluruhan jaringan komunikasi. Setelah sinyal *baseband* di konfigurasi ulang, FM memodulasikan sebuah IF *carrier* yang telah dikonversikan ke atas (*up-convert*) menjadi sebuah RF *carrier* dan kemudian ditransmisikan kembali.

Gambar 2.4.c. menunjukkan konfigurasi *baseband repeater* yang lain. *Repeater* mendemodulasikan RF ke *baseband*, dikuatkan (*amplify*) dan dibentuk kembali (*reshape*), selanjutnya memodulasikan FM *carrier*, dengan teknik ini, *baseband* tidak dikofigurasi ulang. Konfigurasi ini mnyerupai dengan yang dilakukan *repeater* IF. Perbedaannya adalah bahwa pada konfigurasi *baseband*, *amplifier* dan *equalizer* bekerja pada frekuensi *baseband* lebih baik daripada IF frekuensi. Frekuensi *baseband* pada umumnya kurang dari 9 MHz, dimana sebagai frekuensi IF-nya berkisar antara 60

2.2.4.4. Diversity

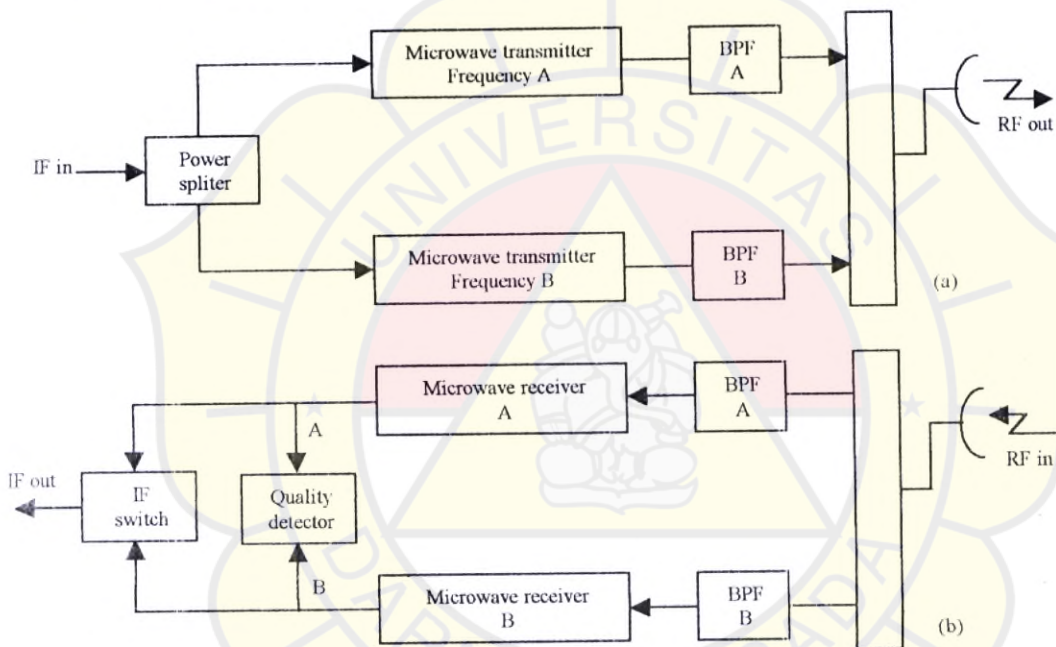
Sistem gelombang mikro menggunakan transmisi *line-of-sight*. Ini berarti harus searah *path* sinyal *line* antara antena pemancar dan penerima. Oleh karena itu *path* sinyal mengalami penurunan beberapa derajat, maka akan terjadi interupsi pelayanan. Dianjurkan menggunakan *diversity* meskipun ada beberapa *path* transmisi atau metode transmisi lainnya yang tersedia antara pemancar dan penerima. Dalam sebuah sistem gelombang mikro, fungsi *diversity* adalah untuk meningkatkan reliabilitas sistem dengan cara meningkatkan kemampuannya. Ada beberapa macam *path* transmisi atau metode transmisi yang tersedia, sistem dapat memilih *path* atau metode yang menghasilkan kualitas sinyal yang tinggi. Pada umumnya kualitas sinyal yang tinggi tergantung oleh nilainya perbandingan *carrier* terhadap *noise* (C/N) pada input penerima atau mengukur *power carrier* sebuah penerima. Meskipun ada beberapa macam cara penyelesaian *diversity*, metode yang paling banyak digunakan adalah frekuensi, *space* dan polarisasi. Berikut ini adalah penjelasan dari teknik *diversity* yang sering digunakan:

a. Frekuensi Diversity

Frekuensi diversity adalah pemodulasian sederhana dua frekuensi RF *carrier* yang berbeda dengan *intelligent* 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 dibawah ini menunjukkan sebuah sistem kanal gelombang mikro frekuensi *diversity* tunggal.

Dalam gambar 2.5a, input sinyal IF disalurkan ke *power splitter*, dimana akan diarahkan ke pemancar gelombang mikro A dan B. output RF dari kedua pemancar digabungkan dalam *channel combining network* dan disalurkan ke antena pemancar.

Pada sisi penerima akhir (gambar 2.5b), *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 2.5 Sistem Gelombang Mikro Frekuensi Diversity :
(a) pemancar; (b) penerima

b. Space Diversity

Dengan *space diversity*, *output* sebuah pemancar disalurkan ke dua antenna atau lebih yang secara fisik dipisahkan oleh besarnya panjang gelombang yang berbeda. Begitu juga pada sisi penerima terdapat lebih dari satu antenna untuk menangkap *input* sinyal ke penerima. Jika antenna penerima *multiple* yang digunakan,

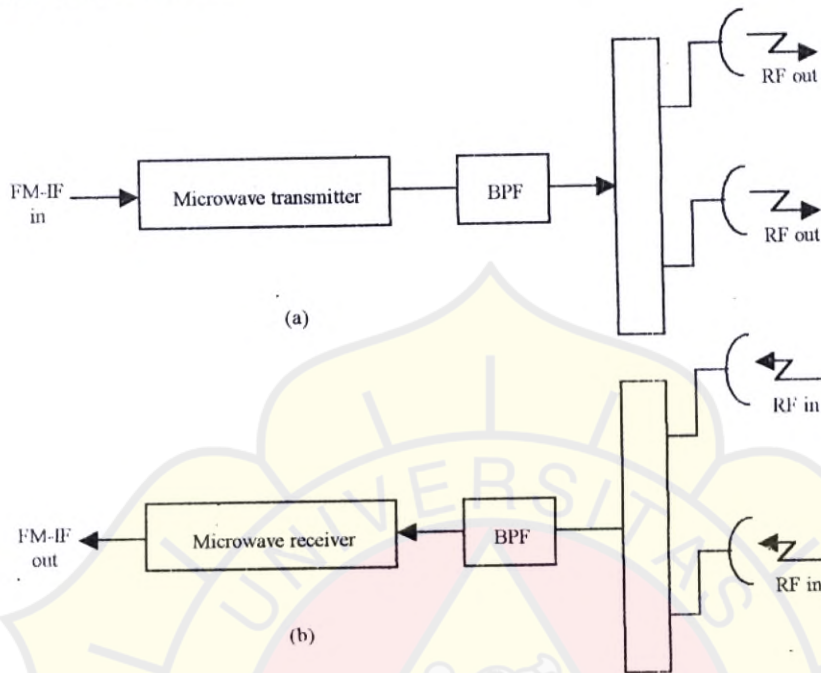
harus juga dipisahkan oleh besarnya panjang gelombang. Gambar 2.6 menunjukkan sebuah sistem *kanal gelombang mikro space diversity* tunggal.

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*.

c. Polarization Diversity

Dengan *polarization diversity*, satu RF *carrier* dipropagasikan 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 antenna pemancar/penerima menggunakan polarisasi *horizontal*. Ini juga memungkinkan untuk menggunakan frekuensi, *space* dan polarisasi secara serentak.



Gambar 2.6 Sistem Gelombang Mikro Space Diversity :
(a) Pemancar ; (b) Penerima

2.3 Teknik Modulasi

Modulasi adalah suatu proses penguatan signal informasi melalui proses penumpangan pada signal carrier. Pada sistem komunikasi radio gelombang mikro ada tiga macam modulasi:

- Modulasi pulsa, disini signal analog dirubah menjadi signal digital, ada beberapa jenis modulasi pulsa diantaranya PCM, PFM, PAM dan sebagainya.

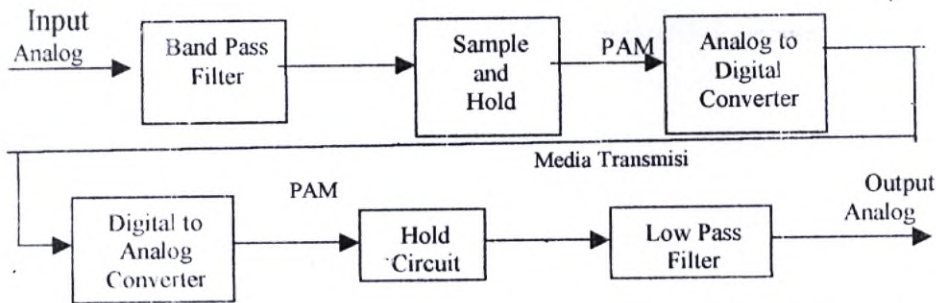
- Modulasi digital, disini signal digital ditumpangkan pada signal carrier IF, ada beberapa jenis modulasi digital diantaranya ASK, FSK, PSK, QAM dan sebagainya...
- Modulasi analog, signal IF analog akan ditumpangkan pada signal RF agar bisa ditransmisikan, . ada beberapa jenis modulasi analog diantaranya AM, FM dan sebagainya..

2.3.1. PCM (*Pulse Code Modulation*)

Dari beberapa macam modulasi pulsa yang ada, pada sistem radio microwave digital digunakan modulasi kode amplitudo. PCM sendiri adalah modulasi yang menghasilkan sederet pulsa dengan amplitudo berubah-ubah sesuai dengan perubahan amplitudo informasinya. PCM adalah satu-satunya teknik modulasi pulsa kode digital yang digunakan dalam sistem transmisi digital.

Untuk menyampaikan sinyal informasi menuju tempat yang diinginkan maka sinyal informasi yang berupa sinyal analog diubah bentuknya secara sampling yang akan menghasilkan sinyal PAM (*Pulse Amplitudo Modulation*). Sinyal ini kemudian diubah kedalam kode biner, sehingga sinyal yang dilewatkan adalah besaran amplitudo yang dikodekan dalam suatu angka tertentu yang mewakili level amplitudo dalam kode biner (logik 1 dan 0). Kode-kode PCM tersebut kemudian ditransmisikan ke penerima. Pada bagian penerima kode diubah lagi ke level sampling PAM dan kemudian pulsa PAM diubah lagi ke bentuk analog.

Berikut adalah blok diagram sederhana dari kanal tunggal, sistem PCM satu arah :



Gambar 2.7 Blok Diagram Kanal Tunggal, Sistem PCM Satu Arah

Band Pass Filter membatasi input sinyal analog ke batasan band frekuensi suara antara 300 sampai 3400 Hz. Lalu *disample-and-hold* secara periodik mengambil *sample* dan mengkonversikan *sample* tersebut ke sinyal PAM. Lalu dikonversikan kembali di *hold circuit* dan *Low Pass Filter* dari sinyal PAM ke bentuk analog. Dalam proses modulasi PCM melalui proses sampling, quantizing dan coding/decoding.

1. 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.

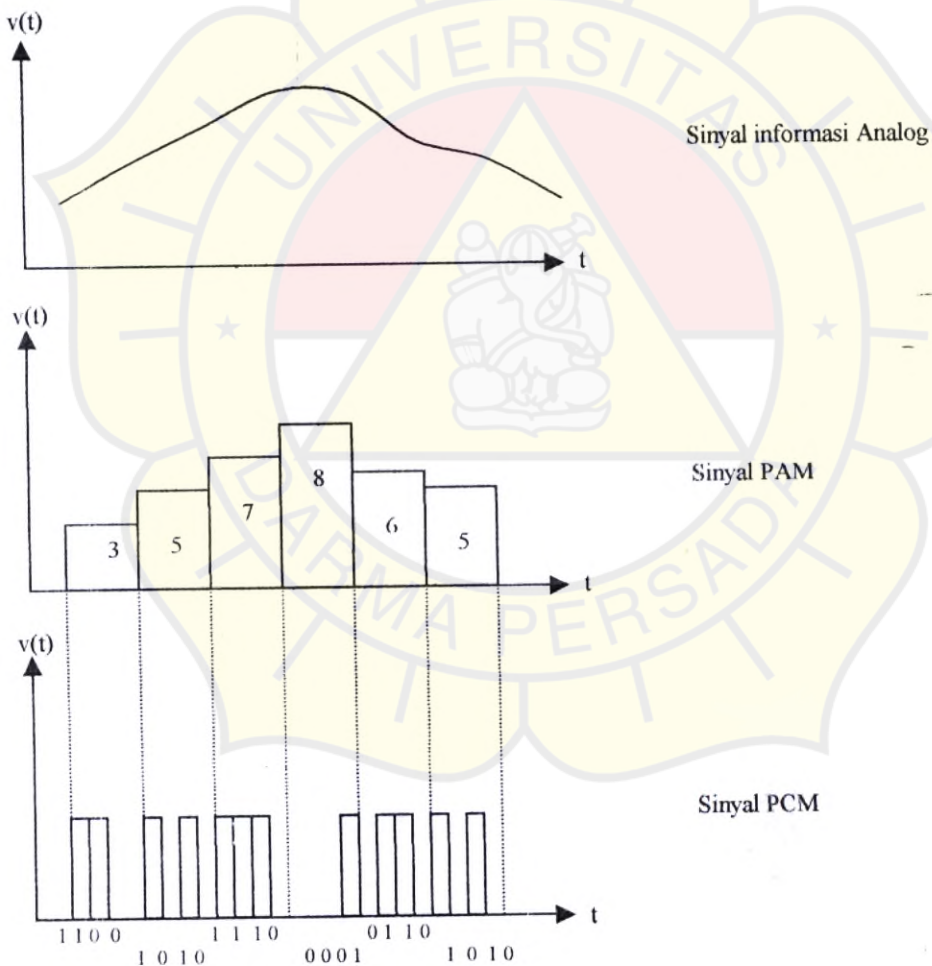
Frekuensi sampling untuk sampling yang periodik adalah jumlah sample per unit waktu. Berdasarkan standart CCITT frekuensi sampling untuk sinyal suara (300 – 3400 Hz) pada jaringan telepon adalah 8000 kali per detik atau 8000 Hz. Maka interval tiap sampling mempunyai periode $1/8000$ Hz atau 125 μ s.

2. Quantizing

Pada proses ini setiap sampling amplitudo gelombang diberikan harga numerik/level kuantum sesuai dengan besar amplitudo.

3. Decoding

Harga numerik dari amplitudo kemudian ditranslasikan menjadi 8 bit biner, dimana bit pertama digunakan sebagai bit tanda positif atau negatif dan 7 bit lain digunakan untuk coding amplitudo sinyal. Setiap 8 bit biner disebut sample. Kecepatan sampling adalah 8000 sample per detik sama dengan 64000 bps.



Gambar 2.8 Proses Pembentukan Sinyal PCM

3. PM (*phase modulation*)

Pada FM (*frequency modulation*), frekuensi gelombang pembawa diubah sesuai dengan signal yang akan dikirim. Secara matematis signal radio dapat ditulis:

$$V = V_0 \sin (w_c t + m \sin w_s t) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : $w_s = 2\pi f_s$ f_s = frekuensi modulasi

$w_c = 2\pi f_c$ f_c = frekuensi pembawa

m = indeks modulasi dan $m = \frac{\Delta f}{f_s}$
 = $\frac{\text{deviasi frekuensi maksimum}}{\text{frekuensi modulasi}}$

2.4. Spektrum Frekuensi

Spektrum frekuensi adalah suatu grafik yang menunjukkan fungsi sudut gelombang serta lebar pita informasi yang terdiri dari gelombang pembawa serta low side band (LSB) dan high side band (HSB) yang merupakan hasil dari modulasi signal.

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). Alokasi frekuensi untuk sistem gelombang radio dapat dilihat pada tabel berikut :

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

2.5. Propagasi Line Of Sight

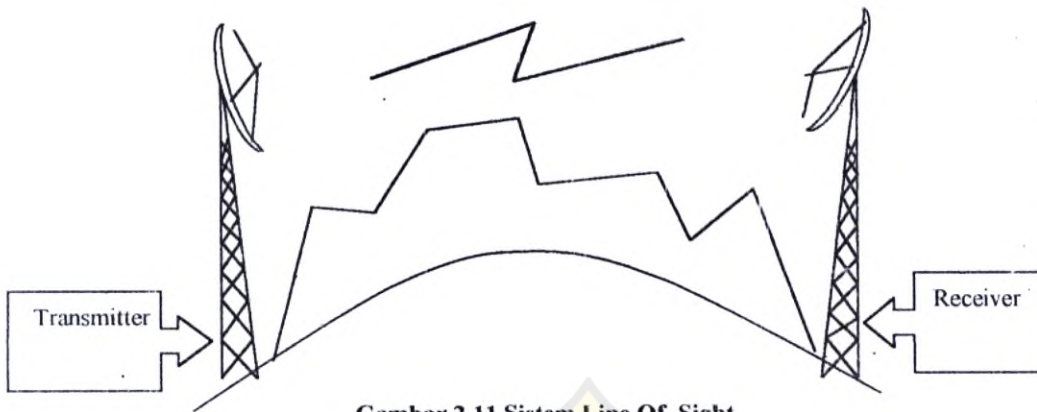
Pada propagasi ini gelombang menjalar dalam garis lurus, *transmitter* dan *teceiver* berada dalam jarak pandang dan menggunakan daya pemancar yang relatif kecil dengan jarak link sekitar 10-100 KM.

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 antenna pemancar (*transmitter*) dengan antenna penerima (*receiver*) tidak boleh terdapat halangan yang dapat menutupi lintasan pantulan gelombang (tampak langsung). Besarnya kuat medan listrik (E) yang diterima oleh antenna RX, dinyatakan dengan persamaan :

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

Dimana :

P = daya pancar gelombang elektromagnetik dari antenna isotropis.



Gambar 2.11 Sistem Line Of Sight

2.6. Penentuan Koordinat Lokasi

Secara teknis, koordinat dari lokasi tidak terlalu berpengaruh langsung terhadap operasi radio, tetapi koordinat lokasi tersebut sangat dibutuhkan 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.

2.7. Daerah Fresnel

Daerah *fresnel* atau lebih sering disebut *Fresnel Zone* adalah daerah berbentuk circular memanjang antara Tx dan Rx yang dianggap aman untuk komunikasi Line Of Sight, besarnya sangat ditentukan oleh jarak dan frekwensi pancar yang digunakan. Daerah *fresnel* I 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 dioperasikan.

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

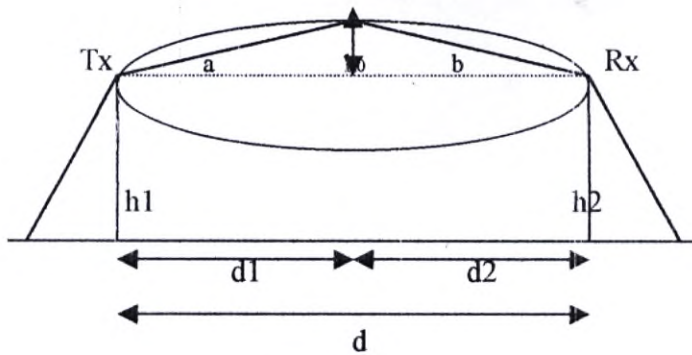
Jari-jari Daerah *fresnel* I, di notasikan dengan h_0 , pada titik sembarang antara dua titik pemancar dan titik penerima. Dimana :

$$h_0 = 17,3 \sqrt{\{(d_1 \times d_2) / (f \times d)\}} \dots\dots\dots(2-3)$$

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)

lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.12 Jari-jari *fresnel* I

2.8. Bentuk Bumi, Penghalang dan Tinggi Koridor

Sifat perambatan gelombang radio frekuensi tinggi adalah *line of sight* (LOS), yaitu kondisi dimana antara antena pemancar (Tx) dengan antena 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.

2.8.1 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 :

$$h = \frac{d_1 \times d_2}{12,75k} \dots\dots\dots(2.4)$$

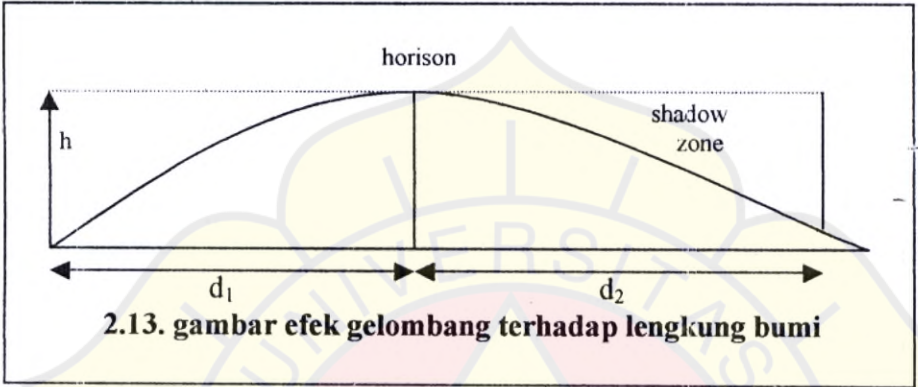
Dimana:

h = perubahan pada arah vertikal dari garis referensi horisontal. (*Earth Bulge*)

k = konstanta radius efektif bumi

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

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



dimana faktor k merupakan perbandingan antara radius efektif bumi dengan radius bumi yang sebenarnya.

$$K = R'/R \dots\dots\dots(2-5)$$

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 lengkung 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 atmosfir 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

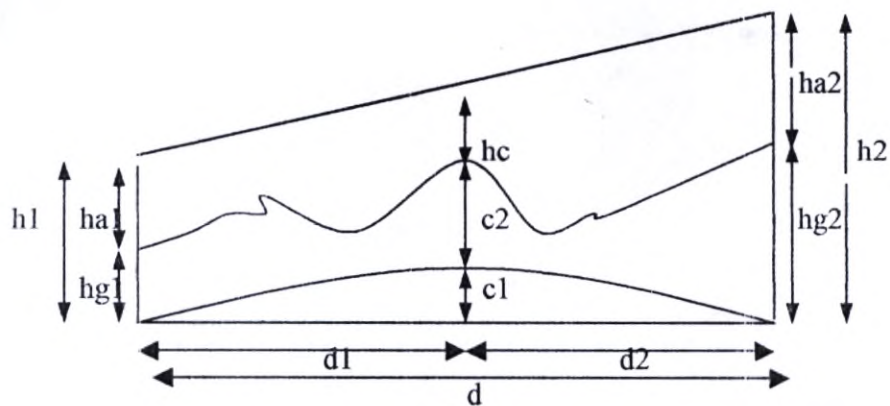
2.8.2. Penghalang

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 dinotasikan c_2 .

2.8.3. Tinggi Koridor

Tinggi koridor (*Height Clearance*) adalah suatu jarak antara sumbu utama lintasan gelombang radio dengan puncak penghalang. Ketinggian koridor dinotasikan dengan hc , dimana $hc \geq \text{Jari-jari Fresnel-I}$.

Tonjolan bumi, Penghalang dan tinggi koridor digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.14. Radio Height Clearance

Besarnya tinggi koridor dapat dihitung dengan rumus, sbb :

$$h_c = \frac{h_1 \cdot d_2 + h_2 \cdot d_1}{d} - c_1 - \frac{d_1 d_2}{2ka} \dots\dots\dots(2-6)$$

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

2.8.4 Tinggi Antena

Apabila lokasi pembangunan radio telah ditentukan 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 maupun 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 :

$$h_2 \geq \frac{d_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot h_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2ka} + \frac{d_1 \cdot h_0}{d_1} \dots\dots\dots(2-7)$$

2.9. Kalkulasi Link

Path analysis (link budget) adalah analisis perhitungan panjangnya suatu lintasan (*link*). Yang dimaksud disini adalah untuk menetapkan parameter-parameter operasi yang digunakan seperti misalnya *power output* pemancar, diameter antena, *noise figure* penerima dan lain-lain.

Kita dapat menghubungkan kinerja (*performance*) yang diinginkan dengan tingkatan sinyal penerima (*receive signal level / RSL*) pada tingkatan pertama yang aktif dari penerima dan karakteristik *noise* penerima. Sebuah referensi RSL dibutuhkan.

Selanjutnya, kita menghitung *free space loss* diantara antena pemancar dan antena penerima. Fungsi ini untuk menentukan frekuensi dan jarak (contoh : operasional frekuensi pemancar gelombang mikro). Kemudian kita menghitung *Effective Isotropically Radiated Power (EIRP)* pada antena pemancar. EIRP adalah penjumlahan

dari *power output* pemancar dikurangi *loss line transmisi* ditambahkan gain antenna, semua dalam satuan desibel.

Ketika kita menambahkan EIRP ke *free space loss* (dalam dB), hasilnya adalah *Isotropic Receive Level* (IRL). Jika kita menambahkan gain antenna penerima terhadap IRL dan dikurangi *loss line transmisi* maka kita mendapatkan *receive signal level* (RSL).

2.9.1 Perolehan Antena

untuk memancarkan dan menerima gelombang radio dibutuhkan suatu alat yaitu antenna. Memperbesar perolehan pada antenna (gain antenna) adalah salah satu cara untuk memperbaiki unjuk kerja perangkat komunikasi gelombang mikro. Besarnya perolehan antenna sangat tergantung pada frekuensi kerja yang dipakai, diameter antenna dan juga efisiensi dari antenna itu sendiri.

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

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

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

$$G = \frac{4\pi \times \text{power radiated per unit solid angle}}{\text{Input power}} \dots\dots\dots(2-9)$$

Ada beberapa tipe antena 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 antena:

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.

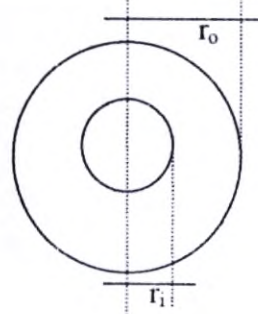
2.9.2 Saluran gelombang mikro dan Pencabangan

Saluran gelombang mikro atau sering disebut *Feeder* adalah suatu komponen pertransmisi 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 penggunaan 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*.

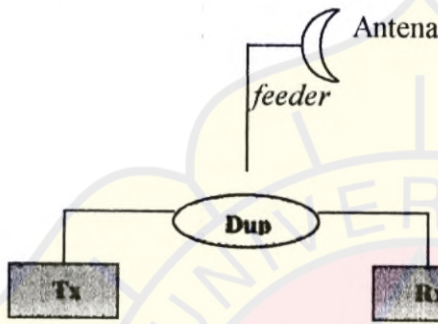
$$\alpha_c = \frac{9,5 \times 10^{-5} \sqrt{f(r_o + r_i)} \sqrt{\epsilon_r}}{r_o r_i \ln(r_o / r_i)} \quad (2.9)$$

dimana:

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



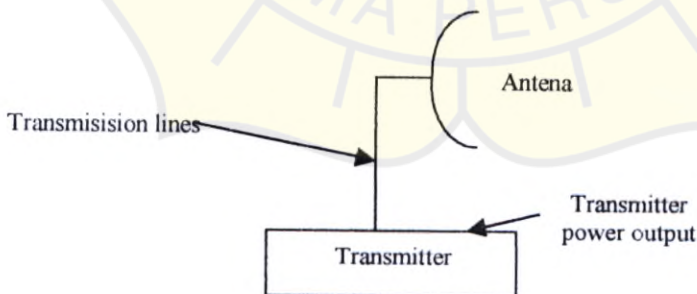
Gbr.15 penampang koaksial



Gambar 2.16 Blok transceiver radio

2.9.3. 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 antena dalam dB.



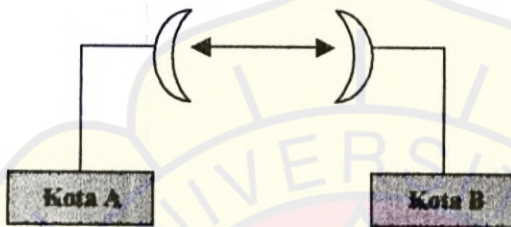
Gambar 2.17 Element EIRP

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 antena pemancar (dB)

2.9.4 FSL (Rugi Propagasi Tampak Pandang)



Gambar 2.18 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 2.17.

Besarnya rugi-rugi ruang bebas dirumuskan sebagai berikut :

$$LFS = 92,4 + 20 \log f + 20 \log d \dots\dots\dots(2-11)$$

Dimana :

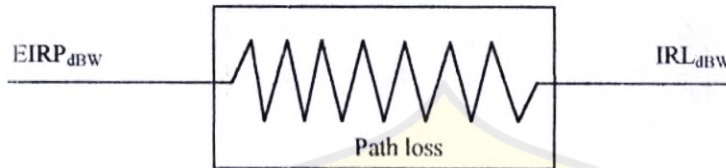
- LFS = Rugi ruang bebas (dB)
- f = Frekuensi kerja radio (GHz)
- d = Jarak antara pemancar ke penerima (Km)

2.9.5. 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 2.19 Perhitungan IRL

Secara rumus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\mathbf{IRL_{dBW} = EIRP_{dBW} - FSL_{Db} \dots\dots(2-12)}$$

2.9.6. Receive Signal Level (RSL)

Receive signal level (RSL) adalah *power level* yang memasuki tingkatan pertama aktif pada sitem 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 :

$$\mathbf{RSL_{dBW} = IRL_{dBW} + G_r - L_r \dots\dots(2-13)}$$

Dimana : G_r = gain antenna penerima (dB)

L_r = redaman pada penerima (dB)

2.9.7 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 : $P_n = -228,6 \text{ dBW/Hz}$

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

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

2.9.8 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 :

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

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 :

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

2.9.9. Bit Error Rate

Bit Error Rate adalah nilai rata – rata kesalahan Bit pada transmisi, pada aplikasinya BER digunakan untuk melihat performansi dari suatu system transmisi digital,ada beberapa ketentuan standar untuk penggunaan BER, pada transmisi signal suara digunakan nilai BER maksimal sebesar 10^{-3} sedangkan untuk transmisi data digunakan BER sebesar 10^{-6} . Untuk rumusan umumnya bisa dilihat sebagai berikut:

$$BER = \frac{e^{-Eb/No}}{\sqrt{4\pi \times Eb/No}} \dots\dots\dots(2-20)$$

2.9.10. 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 :

$$C/N_{dB} = RSL_{dBW} - P_n_{dBW} \dots\dots\dots(2-21)$$

2.9.11. 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 2.1.

Tabel 2.1. 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 :

$$P_f(\%) = 6.10^{-5} \times abfD^3 \dots\dots\dots(2-22)$$

Probabilitas waktu terputusnya hubungan atau P_o adalah :

$$P_o(\%) = P_f \times 10^{-FM/10} \dots\dots\dots(2-23)$$

- Dimana :
- Pf = 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 :

$$FM = 10 \log (abfD^3 \times 10^{-3}) - 10 \log P_o \dots\dots\dots(2-24)$$

Cadangan fading juga dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$FM_{dBm} = RSL_{dBm} - P_{th} \dots\dots\dots(2-25)$$

- Dimana :
- P_{th} = level daya threshold penerima (dBm)
 - P_o = outage time (%)

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

2.10. 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.

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

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

2.11 Perhitungan Gain Sistem

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

$$G_s = P_t - P_{th} - L_s + L_b + L_f - G_t - G_r + M_f \dots\dots\dots(2-26)$$

$$P_{th} = NF - 204 + 10 \cdot \log R + E_b/N_o \dots\dots\dots(2-27)$$

Dimana :

P_t : daya output pemancar (dBm)

P_r : daya input penerima (dBm)

P_{th} : level daya minimum 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)

G_r/G_R : gain antena (dB)

M_f : fading margin (flat fading) ditentukan oleh derau termis (dB)

2.12. 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 :

$$\frac{S}{N} = \frac{Q^2}{1 + 4 Q^2 (BER)} \dots\dots\dots(2-27)$$

Dimana:

- Q : 2ⁿ : banyaknya langkah dalam pemodulasian
- n : level modulasi yang digunakan
- BER : nilai rata kesalahan Bit pada transmisi

