

BAB II

SISTEM KOMUNIKASI GELOMBANG RADIO

Tujuan dari komunikasi pada umumnya untuk menyampaikan berita atau informasi dari pihak atau peralatan yang memanggil ke pihak atau peralatan yang dipanggil dengan baik. Dalam telekomunikasi, informasi dirubah menjadi sinyal listrik dan ditransmisikan melalui suatu media, yang dinamakan sirkit transmisi. *Transmission Engineering* mendorong teknologi untuk melakukan penyelidikan secara rasionil dan ekonomis, dan perkembangan sistem-sistem baru, dan untuk perencanaan, disain, pembangunan, dan pemeliharaan sistem-sistem transmisi.

Alat sistem transmisi diklasifikasikan menjadi sistem kawat dan sistem radio. Sirkit transmisi pada masa dahulu adalah sistem yang mentransmisikan arus suara dalam bentuk aslinya, atau sirkit suara dimana hanya sepasang manusia dapat bercakap-cakap, dan terdiri dari sepasang saluran terbuka atau kabel yang penghantar-penghantarnya terbuat dari bahan yang tahanannya kecil, seperti alumunium dan tembaga. Karena timbul permintaan untuk panggilan jarak jauh, penggunaan secara efisien dan ekonomis dari sirkit jarak jauh menjadi persoalan yang sangat penting, sebab biaya pembangunan dan pemeliharaannya sangat besar. Untuk mengatasi keadaan yang seperti itu perlu dikembangkan pemasangan sentral jarak jauh yang menyelenggarakan sirkit jarak jauh dan sistem gelombang pembawa telepon yang dapat menyelenggarakan pembicaraan telepon secara simultan melalui sepasang penghantar.

2.1. 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.

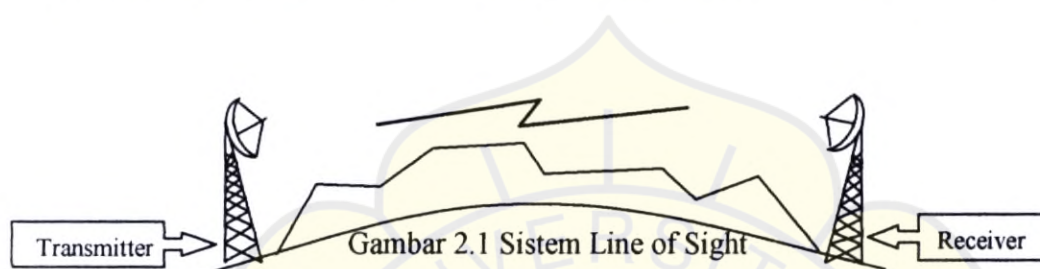
Untuk frekuensi 8 Ghz terdapat masalah *absorpsi* oleh air. Gelombang yang hanya memiliki panjang gelombang beberapa sentimeter ini dapat diabsorpsi oleh hujan. Efek ini dapat dikurangi dengan membangun oven gelombang mikro yang sangat besar diluar.

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.



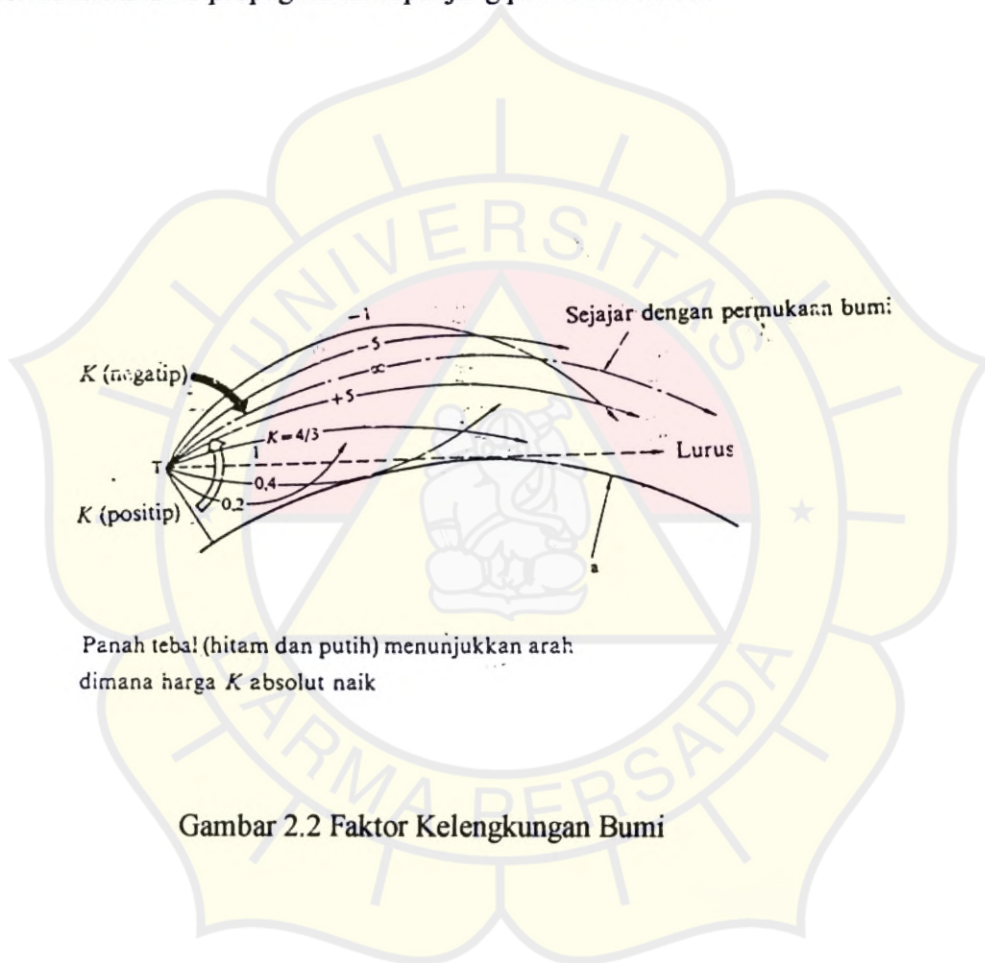
b. Sistem trans horizon

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*.

- Faktor Kelengkungan Bumi (K)

Bila dianggap lintas propagasinya lurus, ini berarti permukaan bumi menjadi lebih datar daripada permukaan sebenarnya. Biasanya lebih mudah menganggap lintas propagasinya lurus dengan cara merubah lengkung bumi daripada menggambar lintas propagasi sebagai garis lengkung. Untuk maksud ini, diadakan analisa propagasi gelombang dengan mengalikan jari-jari bumi K kali. Harga K ini dinamakan “koefisien persamaan jari-jari bumi.” Harga K berubah sesuai dengan daerah dan umumnya mengecil apabila didaerah tersebut pada ketinggian yang rendah, dan membesar untuk ketinggian lebih tinggi. K akan tergantung pada keadaan meteorology. Untuk daerah dengan ketinggian sedang $K = 4/3$ dalam keadaan atmosfer standar.

$K = 1$ apabila persamaan jari-jari bumi sesuai dengan jari-jari bumi yang sesungguhnya. Dalam keadaan demikian keadaan atmosfer adalah homogen, tak ada pembiasan dan gelombang akan berjalan lurus; apabila $K = \alpha$ busur lintas gelombang sama dengan lengkung bumi yang sebenarnya, sehingga gelombang yang dipancarkan secara horizontal akan dipropagasikan sepanjang permukaan bumi



Gambar 2.2 Faktor Kelengkungan Bumi

2.2. Sistem Pulse Code Modulation – Time Division Multiplexing (PCM - TDM)

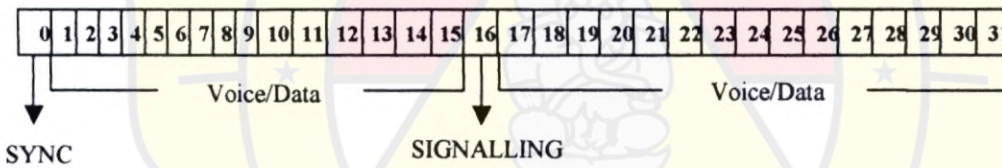
TDM memerlukan sinkronisasi waktu bagi slot-slotnya yang dilakukan oleh stasiun referensi, stasiun bumi.

Untuk stasiun dalam jumlah kecil dan tetap, penentuan slot dapat diatur terlebih dahulu dan tidak pernah berubah. Tapi untuk jumlah stasiun yang berubah-ubah, atau

jumlah stasiun tetap tapi jumlah beban tidak tetap, slot waktu harus ditentukan secara dinamik. Oleh karena itu TDM cukup efisien apabila jumlah stasiunnya sedikit dan lalu lintas komunikasi terus menerus.

Walaupun TDM sangat luas dipakai, TDM juga memiliki beberapa kekurangan. Pertama, memerlukan semua stasiun mensinkronisasikan waktunya, yang dalam prakteknya bukan merupakan hal yang mudah mengingat satelit cenderung menyimpang dari orbitnya, yang mampu mengubah waktu propagasi bagi setiap stasiun buminya.

TDM juga mengharuskan stasiun bumi menangani kecepatan letupan yang sangat tinggi.



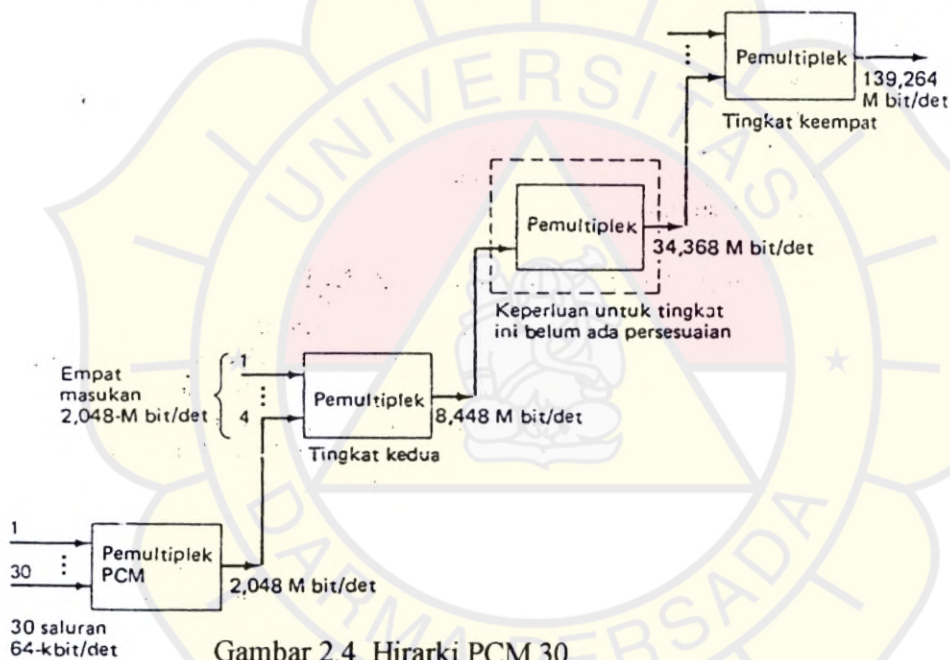
Gambar 2.3 Frame TDM

Gambar diatas menunjukkan dimana satu frame TDM terdiri dari 32 *time slot*, yaitu 30 kanal fisik baik itu suara maupun data ditambah satu kanal 0 *synchronization* dan satu kanal untuk *signaling*. Satu *time slot* mewakili satu buah kanal dengan 64 kbps dan satu *time slot* mempunyai 8 bit.

2.2.1. Hirarki PCM-30

Pemultiplekan sinyal-sinyal memungkinkan suatu saluran transmisi tertentu dipakai bersama-sama oleh sejumlah pemakai, sehingga mengurangi biaya. Suatu hirarki mempergunakan tingkatan-tingkatan laju bit yang berbeda, seperti yang telah dianjurkan

sebagai suatu standar internasional oleh CCITT. Ini didasarkan pada standart internasional PCM bertingkat paling rendah 2,048 Mbit/detik. Standart PCM ini memultiplek 30 saluran masing-masing 64 kbit/detik, dengan dua saluran tambahan yang dipergunakan untuk maksud-maksud pensinyalan dan lain-lainnya. Hirarki digital dianjurkan oleh CCITT nampak pada gambar 2.4 dibawah ini. Hirarki ini terdiri dari empat tingkatan pemultiplekan seperti yang ditunjukkan. Tingkatan I disebut E_1 , tingkatan kedua disebut E_2 , tingkatan ketiga disebut E_3 , dan tingkatan keempat disebut E_4 .



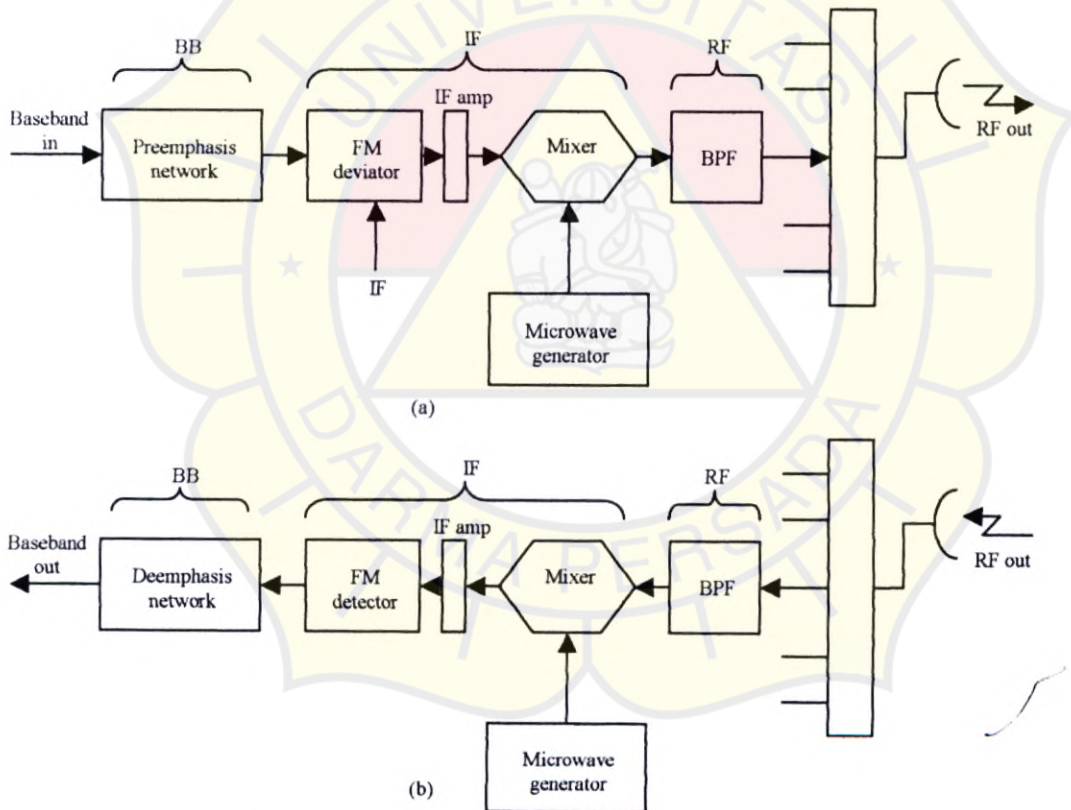
Gambar 2.4 Hirarki PCM 30

Hirarki-hirarki pemultiplekan bekelajuan sangat tinggi ini telah dikembangkan untuk penggunaan oleh bermacam-macam pembawa komunikasi nasional. Berdasarkan sejarahnya mereka didasarkan pada standart-standart PCM yang digunakan untuk memultiplek saluran-saluran suara yang didigitisasi, meskipun tipe-tipe sinyal lainnya juga dapat dimultiplek, misalnya voice, data.

2.3. Sistem Radio Gelombang Mikro FM Sederhana

Diagram blok sederhana suatu sistem radio gelombang mikro FM ditunjukkan pada gambar dibawah ini. *Baseband* adalah susunan sinyal yang memodulasikan FM *carrier* dan dapat terbagi menjadi :

1. *Frequency-division-multiplexed voice band channel.*
2. *Time-division-multiplexed voice band channel.*
3. *Broadcast.*
4. *Wideband data.*



Gambar 2.5 Diagram Blok Sederhana Sistem Radio Gelombang Mikro FM :

(a) Pemancar ; (b) Penerima

2.3.1. Pemancar Radio Gelombang Mikro FM

Dalam pemancar radio gelombang *mikro* FM ditunjukkan pada gambar 2.5a, 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 ratio* 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, dan 70 MHz yang sering digunakan. *Low-index* frekuensi modulasi digunakan dalam FM *deviator*. Secara tepat, modulasi indeks antara 0,5 dan 1. Ini menghasilkan sebuah sinyal FM *narrowband* pada *output deviator*. Konsekwensinya, IF *bandwidth* menyerupai AM *konvensional* dan kira-kira menyamai 2 kali *baseband* frekuensi tinggi.

IF dan penggabungan *side band* diup-konversikan untuk kawasan gelombang mikro oleh AM *mixer*, *oscilator* gelombang mikro dan *bandpass filter*. *Mixing*, lebih baik daripada *multiplying*, yang digunakan untuk mentranslasikan frekuensi IF menjadi frekuensi RF karena indeks modulasi tidak berubah oleh proses *heterodyne*. *Multiplying* IF *carrier* dapat juga mengalikan *deviasi* frekuensi dan indeks modulasi yang menyebabkan pertambahan *bandwidth*. Frekuensi diatas 1 GHz adalah frekuensi gelombang mikro. Saat ini ada beberapa sistem gelombang mikro yang beroperasi dengan frekuensi *carrier* hampir menyamai 18 GHz. Frekuensi gelombang mikro yang sering digunakan adalah 2, 4, 6, 12 dan 14 GHz *band*. *Channel-combining network* melakukan sebuah hubungan lebih dari satu pemancar gelombang mikro untuk *line transmisi* tunggal yang di salurkan ke antena.

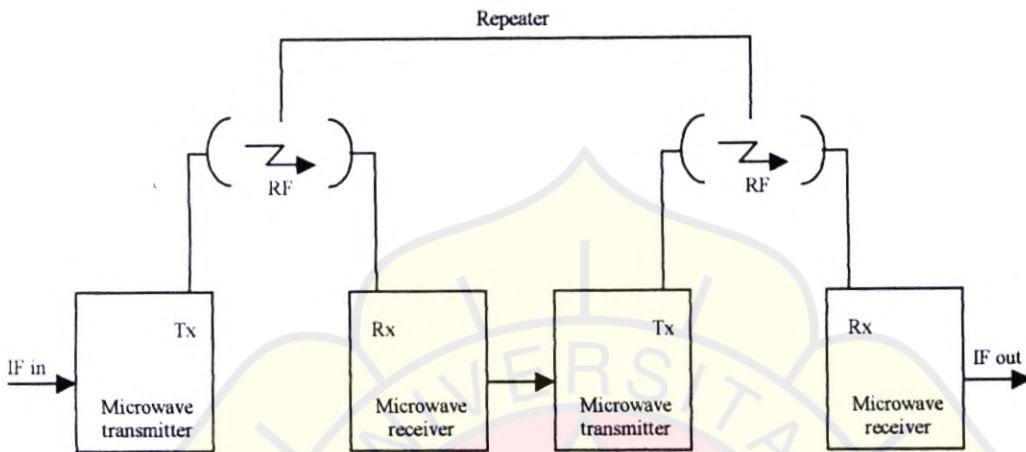
2.3.2. Penerima Radio Gelombang Mikro FM

Dalam penerima radio gelombang mikro FM ditunjukkan pada gambar 2.5b, *channel separation network* melakukan isolasi dan *filter* untuk memisahkan masing-masing kanal gelombang mikro dan mengarahkannya ke masing-masing penerima. *Bandpass filter*, *AM mixer* dan *oscilator* gelombang mikro *down-konversikan* frekuensi gelombang mikro FM menjadi frekuensi IF dan melewatkannya ke *FM demodulator*. *FM demodulator* yang digunakan. Biasanya *noncoherent FM detector* (seperti *diskriminator* atau *PLL demodulator*). Pada *output FM detector*, sebuah *deemphasis network* memperbaiki sinyal *baseband* menjadi amplitudo sebenarnya terhadap karakteristik frekuensi.

2.4. Repeater Radio Gelombang Mikro FM

Jarak yang diperkenankan antara sebuah pemancar gelombang mikro FM dan sekelompok penerima gelombang mikro tergantung pada beberapa variabel sistem, seperti misalnya *power output* pemancar, *noise threshold* penerima, *terrain* (daerah), kondisi atmosfer, kapasitas sistem, reliabilitas, objek dan unjuk kerja (*performance*) yang di harapkan. Biasanya jarak berkisar antara 15 sampai 40 mil. Sistem gelombang mikro *longhoul* jaraknya bisa melebihi dari itu. Secara konsekwen, sebuah sistem *single-hop* gelombang mikro, seperti gambar 2.6, tidak sesuai dengan aplikasi sistem secara nyata. Dengan sistem yang lebih panjang dari 40 mil atau ketika adanya *obstruction* geografi, seperti misalnya gunung, menghalangi *path* transmisi, *repeater* sangat diperlukan. Sebuah *repeater* gelombang mikro adalah sebuah penerima dan sebuah pemancar yang ditempatkan *back to back* atau *tandem* dalam sistem. Sebuah blok diagram *repeater*

menerima sinyal, *amplifies*, dan dibentuk kembali, kemudian memancarkan kembali sinyal *repeater* berikutnya atau terminal stasiun.

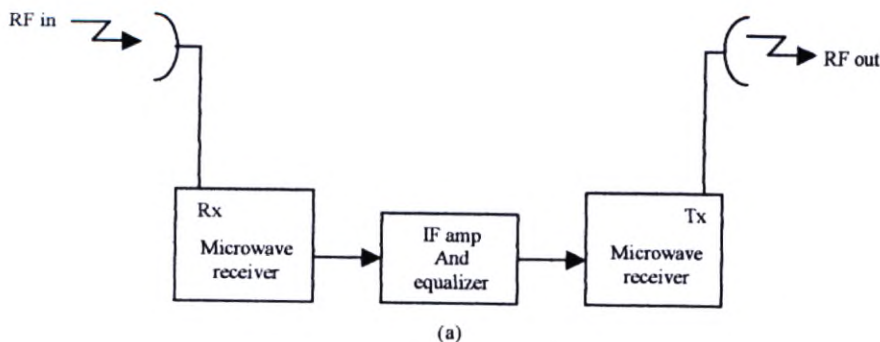


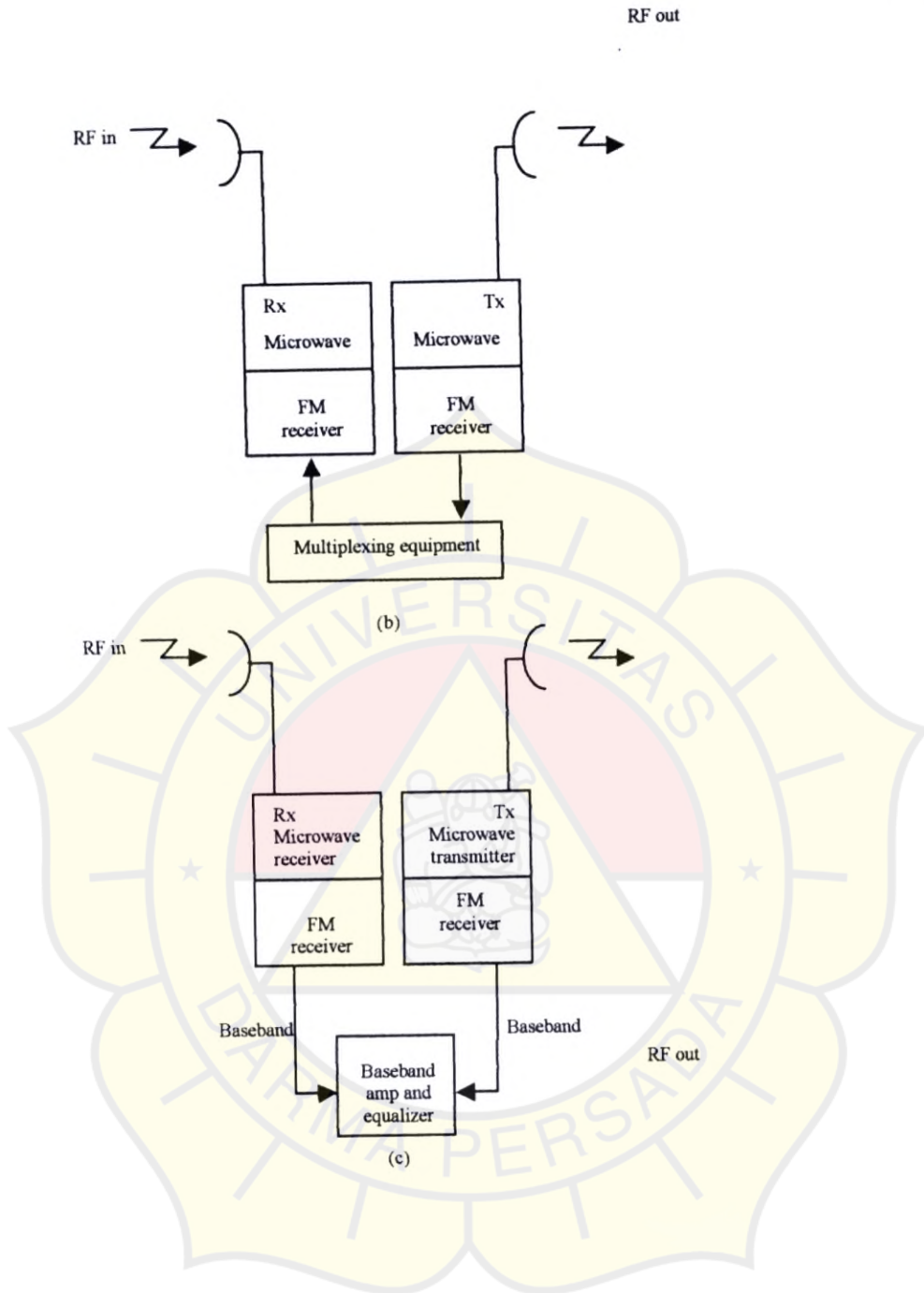
Gambar 2.6 Repeater Gelombang Mikro

Pada dasarnya, ada 2 tipe *repeater* gelombang mikro : *baseband* dan IF (gambar7). *Repeater* IF disebut juga sebagai *repeater heterodyne*. Dengan sebuah *repeater* IF (gambar7a) 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 7b), 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 7c 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 menyerupai 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 sampai 80 MHz. Kerugian sebuah konfigurasi *baseband* adalah adanya penambahan perangkat terminal FM.





Gambar 2.7 Repeater Gelombang Mikro : (a) IF ; (b) dan (c) Baseband

2.5. Diversity

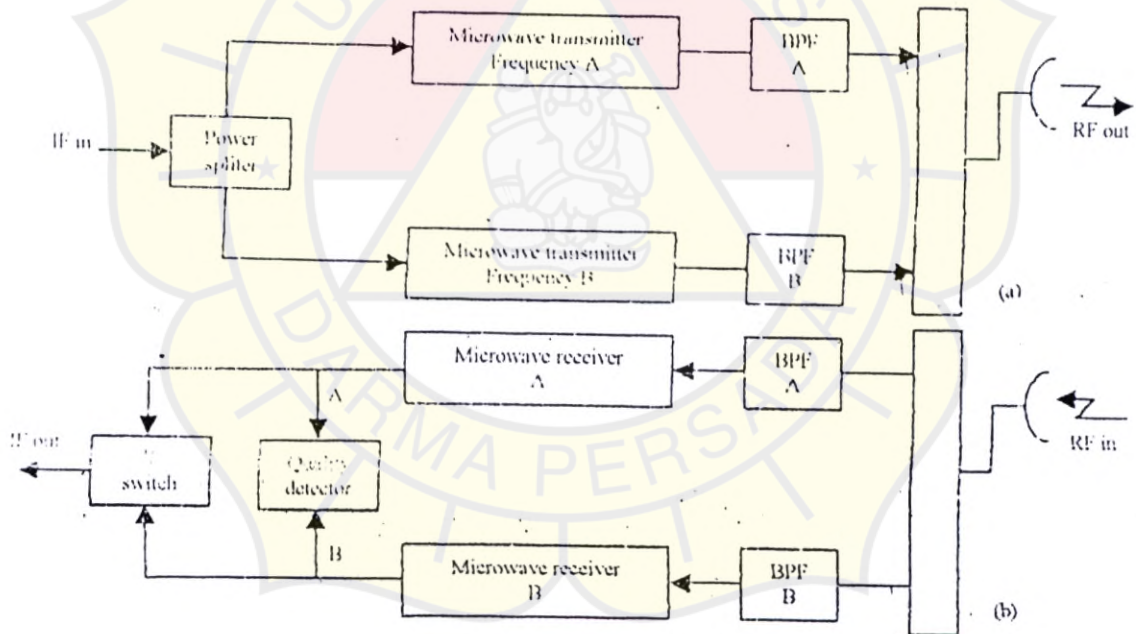
Sistem gelombang mikro menggunakan transmisi *line-of-sight*. Ini berarti harus searah *path* sinyal *line* antara antena pemancar dan penerima. Oleh karena itu *path* sinyal mengalami penurunan beberapa derajat, maka akan terjadi interupsi pelayanan. Dianjurkan menggunakan *diversity* meskipun ada beberapa *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 di gunakan adalah frekuensi, *space* dan polarisasi.

2.5.1. 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 8a, 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 8b), *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.



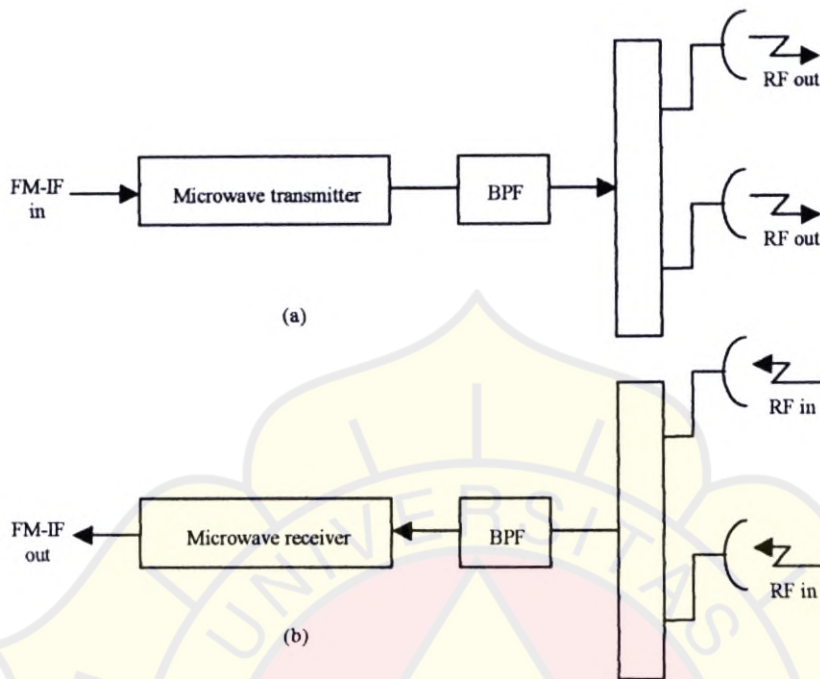
Gambar 2.8 Sistem Gelombang Mikro Frekuensi Diversity :

(a) pemancar; (b) penerima

2.5.2. 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 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*.



Gambar 2.9 Sistem Gelombang Mikro Space Diversity :

(a) Pemancar ; (b) Penerima

2.5.3. 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.

2.6. Protection Switching

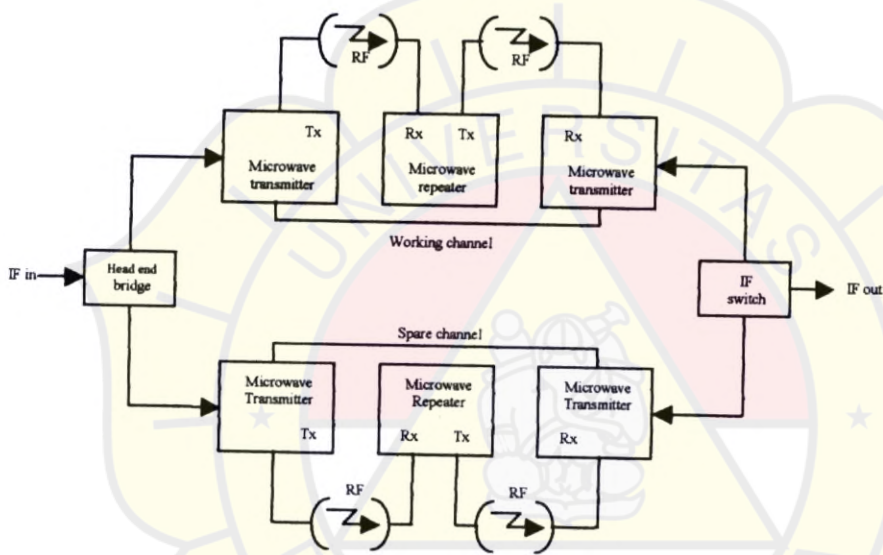
Hilangnya *path* radio disebabkan oleh kondisi atmosfer. Suatu waktu kondisi atmosfer diantara antena pemancar dan antena penerima dapat berubah-ubah yang menyebabkan *reduksi* pada sinyal penerima sebesar 20, 30, 40 dB atau lebih. Reduksi dalam sinyal ini disebut sebagai radio *fade*. Rangkaian *automatic gain control* (AGC), terdapat dalam penerima radio, yang dapat mengkompensasi untuk *fading* sebesar 25 sampai 40 dB, tergantung perencanaan sistem. Bagaimanapun, *fading* yang mempunyai nilai lebih besar dari 40 dB dapat menyebabkan kegagalan penerimaan sinyal. Jika ini terjadi, pelayanan yang berlangsung akan putus/hilang. Untuk mencegah adanya interupsi pelayanan selama selang waktu *fading* atau kegagalan perangkat, fasilitas alternatif telah tersedia yang disebut dengan pengaturan *protection switching*.

Pada dasarnya ada dua tipe pengaturan *protection switching* yaitu *hot standby* dan *diversity*. Dengan proteksi *hot standby*, setiap kanal radio yang bekerja mempunyai sebuah *kanal backup* atau *kanal spare*. Sedangkan dengan proteksi *diversity*, sebuah *kanal backup* yang tersedia untuk paling banyak 11 kanal yang bekerja. Sistem *hot standby* memberikan 100% proteksi untuk setiap kanal radio yang bekerja. Sebuah sistem *diversity* memberikan proteksi 100% hanya kepada satu kanal yang bekerja yang pertama kali mengalami kegagalan. Jika ada dua kanal radio yang mengalami kegagalan pada saat yang bersamaan, interupsi pelayanan akan terjadi.

2.6.1. Hot Standby

Gambar 2.10 menunjukkan sebuah pengaturan proteksi *switching hot standby kanal tunggal*. Pada pemancar akhir, IF masuk ke sebuah *head-end bridge*, yang akan memecahkan *power* sinyal dan diarahkan ke kanal bekerja dan kanal *spare* (*standby*)

gelombang mikro secara serentak. Maka kedua kanal bekerja dan *kanal standby* membawa informasi *baseband* yang sama. Di penerima akhir, *IF switch* melewatkan sinyal IF dari *kanal* yang bekerja ke perangkat terminal FM. *IF switch* secara terus menerus mengawasi penerimaan *power* sinyal pada *kanal* yang bekerja dan jika mengalami kegagalan, akan *men-switch* ke *kanal standby*. Ketika sinyal IF pada kanal yang bekerja telah diperbaiki, *IF switch* kembali ke posisi semula.



Gambar 2.10 Pengaturan Proteksi Switching Gelombang Mikro Hot Standby

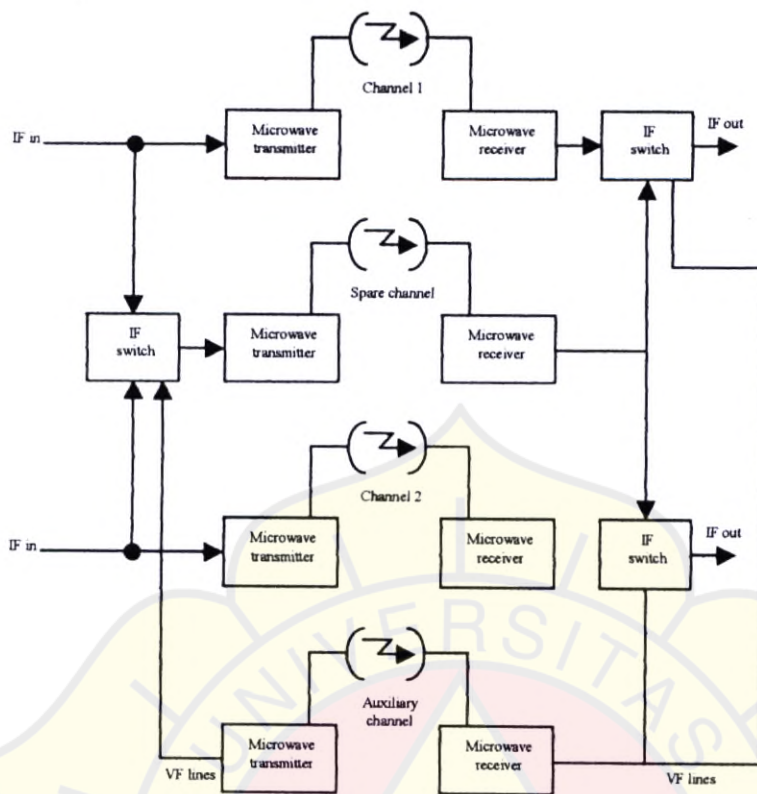
2.6.2. Protection Diversity

Gambar 11 menunjukkan pengaturan proteksi *switching diversity*. Sistem ini mempunyai dua *kanal* yang bekerja (kanal 1 dan kanal 2), satu *kanal spare* dan kanal pembantu (*auxiliary channel*). *IF switch* pada penerima akhir secara terus menerus mengawasi kekuatan *power* sinyal dari kedua kanal yang bekerja. Jika salah satu diantaranya mengalami kegagalan, *IF switch* mendeteksi sebuah *loss carrier* dan

mengirimkan kembali ke stasiun pemancar IF *switch* yaitu VF (*voice frequency*) sinyal suara yang telah dikodekan yang akan mengarahkan untuk memindahkan sinyal IF dari *kanal* yang gagal kedalam *kanal spare* gelombang mikro. Ketika *kanal* yang gagal telah diperbaiki, IF *switch* kembali ke posisi semula. *Kanal* pembantu (*auxiliary channel*) sederhana melakukan sebuah transmisi *path* antara dua IF *switch*. Tepatnya, *kanal* pembantu adalah radio gelombang mikro yang mempunyai kapasitas rendah, *power* rendah yang dirancang hanya untuk digunakan sebagai *kanal* pemelihara.

2.6.3. Reliability

Jumlah stasiun *repeater* diantara *switch* proteksi tergantung pada sistem reliabilitas objek. Tepatnya, ada dua dan enam *repeater* diantara stasiun *switching*. Sebagaimana yang dapat kita lihat, sistem *diversity* dan pengaturan proteksi *switching* hampir sama. Perbedaan yang paling utama dari keduanya adalah sistem *diversity* pengaturan secara permanen dan hanya berfungsi untuk mengkompensasi sementara kondisi atmosfer yang buruk diantara dua stasiun yang dipilih dalam sistem.



Gambar 2.11 Pengaturan Proteksi Switching Gelombang Mikro Diversity

Sedangkan pada pengaturan proteksi *switching* dapat mengkompensasi untuk *fading* radio dan kegagalan perangkat dan juga termasuk enam sampai delapan stasiun *repeater* diantara *switch*.

Kanal proteksi dapat juga digunakan sebagai fasilitas komunikasi sementara, selama perawatan rutin dilakukan pada kanal yang biasa bekerja. Dengan pengaturan proteksi *switching*, semua *path* sinyal dan perangkat radio terproteksi. *Diversity* digunakan secara selektif, hanya diantara stasiun yang mengalami persentasi *fading* yang tinggi pada satu waktu. Sebuah studi statistik dari waktu kegagalan (interupsi pelayanan) disebabkan oleh *fading* radio, kerusakan perangkat dan perawatan adalah hal yang penting dalam perancangan sistem gelombang mikro. Dari penelitian, para insinyur

memutuskan untuk menggunakan tipe *diversity* dan pengaturan proteksi *switching* yang cocok pada aplikasi yang akan dibuat.

2.7. Stasiun Radio Gelombang Mikro FM

Pada dasarnya, ada dua tipe stasiun gelombang mikro FM yaitu terminal dan repeater. Stasiun terminal adalah titik dalam sistem dimana salah satu sinyal baseband dihasilkan atau diakhiri. Stasiun repeater adalah titik dalam sistem dimana sinyal baseband dapat dikonfigurasi ulang atau dimana RF *carrier* secara sederhana diulang (repeated) atau dikuatkan (amplify).

2.7.1 Stasiun Terminal

Sebuah stasiun terminal terdiri dari empat bagian utama yaitu baseband, wire line entrance link (WLEL), FM – IF dan bagian RF. Gambar dibawah menunjukkan blok diagram bagian baseband, WLEL dan FM – IF. Sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya, baseband berupa salah satu dari tipe sinyal yang berbeda-beda. Untuk contoh disini, digunakan frequency – division multiplex voice band channel.

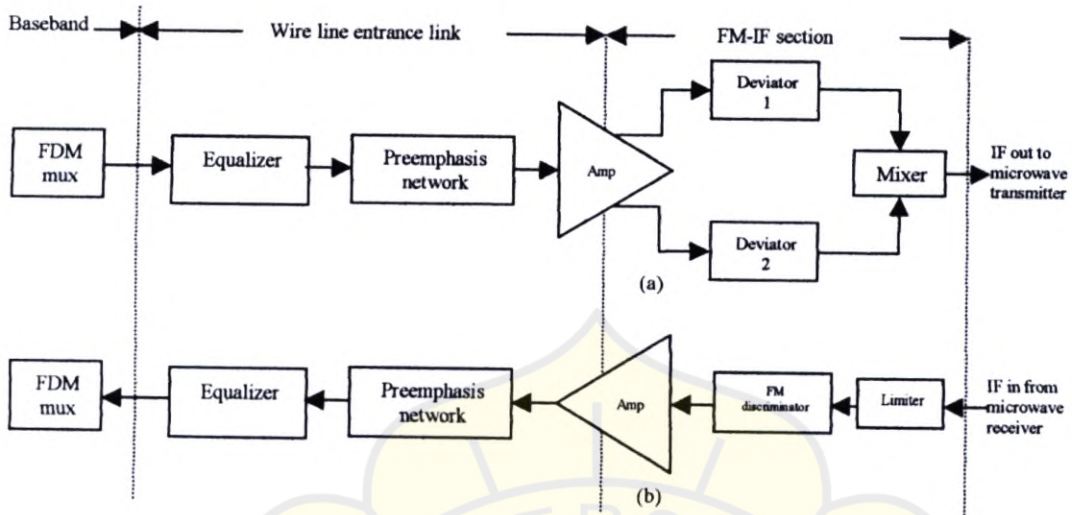
a. *Wire line entrance link* (WLEL)

Sering kali pada jaringan komunikasi yang besar seperti misalnya American Telephone and Telegraph Company (AT & T), mendirikan bangunan stasiun radio besar. Oleh karena itu, memungkinkan untuk meletakkan semua perangkat dalam satu lokasi yang ada (contoh : semua perangkat FDM dalam satu ruangan). Sistem alaram sederhana, kebutuhan power dc untuk perangkat, perawatan dan kebutuhan peralatan pengkabelan secara umum. Perangkat yang tidak sama dapat dipisahkan dengan jarak yang diperhitungkan. Sebagai contoh, jarak antara perangkat multipleks FDM dan bagian FM-

IF berkisar beberapa ratus feet dan dalam beberapa kasus dapat beberapa mil. Untuk alasan inilah dibutuhkan WLEL. Sebuah WLEL melayani sebagai *interface* antara perangkat multipleks terminal dan bagian perangkat FM-IF. Sebuah WLEL pada umumnya terdiri dari sebuah *amplifier* dan *equalizer* (yang bersama-sama mengkompensasi untuk losse transmisi kabel) dan *level shaping device* yang umumnya disebut dengan *pre-* dan *deemphasis network*.

b. Bagian IF

Perangkat terminal FM ditunjukkan pada gambar dibawah ini yang menghasilkan sebuah frekuensi modulasi IF *carrier*. Ini dapat diselesaikan dengan mencampur (*mixing*) dua *output deviasi oscilator* yang membedakan frekuensi dengan IF *carrier* yang diinginkan. *Oscilator* dideviasikan dalam phase yang berlawanan, dimana mengurangi besarnya *phase deviasi* yang dibutuhkan sebuah *deviator* tunggal dengan sebuah 2. teknik ini juga mengurangi deviasi linier perangkat untuk *oscilator* dan melakukan sebagian pembatalan yang menghasilkan modulasi yang tidak diinginkan. Sekali lagi, penerima adalah sebuah konvensional *non coherent FM detector*.



Gambar 2.12 Stasiun terminal gelombang mikro, baseband, wire line entrance dan FM-IF : (a) Pemancar, (b) Penerima

c. Bagian RF

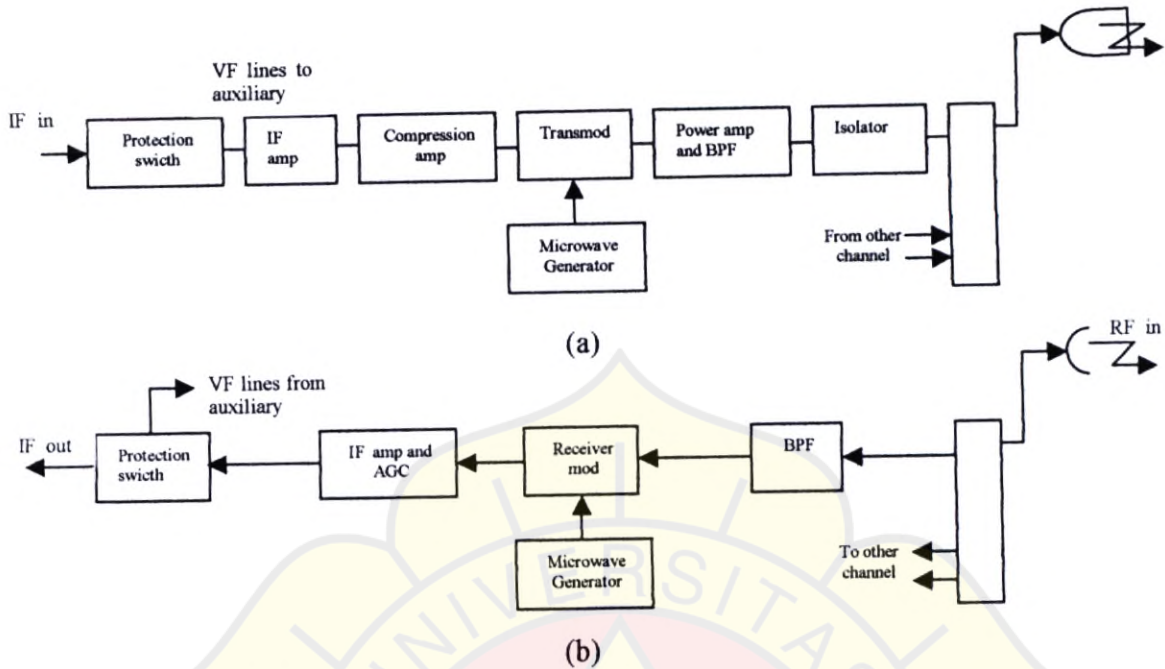
Sebuah blok diagram bagian RF dari sebuah stasiun terminal gelombang mikro ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Sinyal IF memasuki pemancar melalui sebuah proteksi *switch*. IF dan *compression amplifier* membantu menjaga agar power sinyal IF tetap dan mendekati level input yang dibutuhkan untuk *transmit modulator* (transmod). *Transmod* adalah sebuah *balanced modulator* yang digunakan bersama-sama dengan sebuah generator gelombang mikro, *power amplifier*, dan *bandpass filter*, dikonversikan ke atas (*up-convert*) IF *carrier* menjadi RF *carrier* dan menguatkan (*amplify*) RF untuk *output power* yang diinginkan. *Power amplifier* untuk radio gelombang mikro harus sesuai dengan penguatan (*amplifying*) frekuensi sangat tinggi dan melewatkan sinyal *bandwidth* yang sangat lebar. *Klystron tubes*, *traveling-wave tube* (TWT), dan *impact avalanche and transit time* (IMPATT) dioda adalah beberapa perangkat yang sering

digunakan dalam *power amplifier* gelombang mikro. Karena antenna bergain tinggi yang digunakan dan jarak antara stasiun gelombang mikro relatif dekat, tidaklah penting untuk membangun sebuah *power output* yang besar dari *output amplifier* pemancar. Tepatnya gain untuk antenna gelombang mikro berkisar antara 10 sampai 40 dB, dan output power pemancar sebesar antara 0,5 sampai 10 watt.

Sebuah *microwave generator* memberikan input RF *carrier* untuk dikonversikan ke atas (*up-convert*). Ini disebut generator gelombang mikro, lebih baik dari pada sebuah *oscillator* karena sangatlah sulit membuat rangkaian yang stabil yang beresilasi pada besaran Gigahertz. Dari pada itu sebuah *crystal control oscillator* beroperasi dalam batasan 5 sampai 25 MHz yang digunakan untuk memberikan sebuah *base* frekuensi yang dikuatkan ke atas untuk RF *carrier* yang diinginkan.

Isolator adalah sebuah *unidirectional device* yang terbuat dari bahan ferit. Isolator digunakan secara bersama-sama dengan sebuah *channel combining network* untuk mencagah output salah satu pemancar dari interferensi dengan pemancar yang lain.

Penerima RF adalah sama dengan pemancar kecuali bekerja dalam arah berlawanan. Bagaimanapun, satu perbedaannya adalah adanya IF *amplifier* di penerima. IF *amplifier* ini mempunyai rangkaian *Automatic Gain Control* (AGC). Begitu juga pada sisi penerima tidak terdapat RF *amplifier*. Tepatnya, sebuah *balanced modulator* yang sangat sensitif dan noise rendah digunakan untuk *receive demodulator* (*receive mod*). Ini menghilangkan kebutuhan akan adanya RF *amplifier* dan memperbaiki keseluruhan rasio sinyal terhadap noise. Ketika RF *amplifier* dibutuhkan, *low noise amplifier* (LN_1 ^{RF out}) berkualitas tinggi yang digunakan. Contoh yang sering kali digunakan adalah LNA *tunned diode* dan *parametric amplifier*.



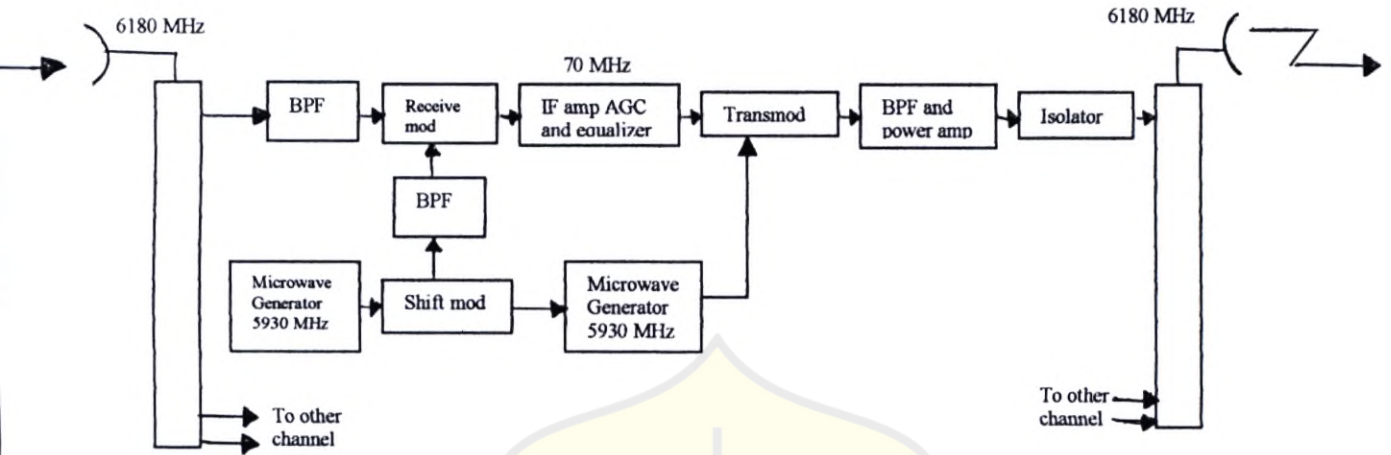
Gambar 2.13 Stasiun terminal gelombang mikro (a) pemancar ; (b) penerima

2.7.2 Stasiun Repeater

Gambar dibawah ini menunjukkan diagram blok sebuah stasiun *repeater* IF gelombang mikro. Penerimaan sinyal RF memasuki alat penerima melalui *channel separation network* dan *band pass filter*. *Receive mod* mengkonversikan kebawah (*down convert*) RF *carrier* menjadi IF. IF AMP/AGC dan rangkaian *equalizer* menguatkan dan membentuk kembali IF. *Equalizer* mengkompensasi *gain* terhadap *frequency nonlinieritas* dan *envelope delay distorsion* yang masuk didalam sistem. Sekali lagi, *transmod* mengkonversikan keatas (*up convert*) IF menjadi RF untuk ditransmisikan kembali.

Bagaimanapun, didalam stasiun *repeater metode* yang digunakan untuk menghasilkan RF gelombang mikro yang membawa *frequency* adalah sedikit berbeda dengan metode yang digunakan didalam sebuah stasiun terminal. Di *repeater* IF, hanya

ada satu generator gelombang mikro yang dibutuhkan untuk penyediaan *transmod* dan *receive mod* dengan sebuah sinyal RF *carrier*. Generator gelombang mikro *shift oscillator* dan *shift modulator* membolehkan *repeater* untuk menerima satu *frequency* RF *carrier*, *down convert* menjadi IF, selanjutnya meng *up convert* kan IF untuk *frequency* RF *carrier* yang berbeda. Ini memungkinkan untuk stasiun C menerima transmisi dari kedua stasiun yaitu stasiun A dan stasiun B secara serentak (ini yang dinamakan *multihop interference*). Ini dapat terjadi hanya ketika ketiga stasiun ditempatkan dalam satu garis lurus secara geografis dalam sebuah sistem. Untuk mencegah terjadinya hal tersebut, alokasi *bandwidth* untuk sistem dibagi menjadi dua yaitu sebuah *low frequency* dan *high frequency band*. Setiap stasiun, pada gilirannya berganti-ganti dari sebuah *frequency low band* menjadi *high band* memancarkan *frequency carrier*. Jika sebuah transmisi dari stasiun A diterima oleh stasiun C, akan dikembalikan dalam *channel separation network* dan tidak mengakibatkan terjadinya *interferensi*. Pengaturan ini dinamakan sistem *repeater* gelombang mikro *high or low*. Peraturannya sangat sederhana; jika sebuah stasiun *repeater* menerima sebuah RF *carrier low band*, akan ditransmisikan ulang sebuah RF *carrier high band* dan berulang-ulang. Hanya *multiple carrier* dengan *frequency* yang sama dapat diterima ketika sebuah transmisi dari sebuah stasiun telah diterima dari stasiun yang lain yang disebut *three hop away*.



Gambar 2.14 Stasiun Repeater IF Gelombang Mikro

Alasan yang lain menggunakan sebuah rencana *high low frequency* adalah untuk mencegah *power* menjadi bocor keluar dari belakang atau samping dari sebuah antenna pemancar dari interferensi dengan sinyal yang memasuki *input* sebuah antenna penerima yang terdekat, ini disebut *ringaround*. Semua antenna tidak dipedulikan berapa besar *gain* dan bagaimana arah radiasi *pattern*, akan meradiasi dengan persentasi kecil *power* keluar kebelakang dan kesamping : memberikan sebuah batasan rasio *front to back* untuk antenna. Meskipun rasio *front to back* sebuah gelombang mikro tinggi, relatif kecil sekitar *power* akan teradiasi keluaran dari belakang antenna yang dapat menyamai besarnya perbandingan terhadap penerimaan *power carrier* dalam sistem secara normal. Jika pemancar dan penerima *frequency carrier* berbeda, filter dalam *receiver separation network* akan mencegah terjadinya *ringaround*.

Stasiun *repeater* gelombang mikro *high low* membutuhkan persediaan dua *carrier* gelombang mikro untuk proses *down* dan *up convert*. Lebih baik daripada menggunakan dua generator gelombang mikro, sebuah generator tunggal dengan sebuah *shift oscillator*,

sebuah *shift modulator* dan sebuah *band pass filter* dapat menghasilkan dua sinyal yang dibutuhkan. Satu *output* dari generator gelombang mikro disalurkan kedalam *transmod* dan *output* yang lain (dari genertor gelombang mikro yang sama) dicampurkan dengan sinyal *shift oscilator* dalam *shift modulator* untuk menghasilkan *frequency carrier* gelombang mikro yang kedua. *frequency carrier* gelombang mikro yang kedua adalah percabangan dari *frequency shift oscilator* yang pertama. *frequency carrier* gelombang mikro yang kedua disalurkan kedalam *receive modulator*.

Posisi ini tidak mengurangi jumlah *oscilator* yang dibutuhkan, tetapi lebih sederhana dan murah untuk membangun satu generator gelombang mikro dan relatif satu *low frequency shift oscilator* dari pada membangun dua generator gelombang mikro. Penganturan ini juga memberikan tingkatan *synchronization* diantara *repeater*. Kerugian yang nyata dari bagian *high low* adalah jumlah *channel* yang tersedia dalam *bandwidth* yang diberikan hanya setengah.

2.8 Kalkulasi Link

Path analisis (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 Isotropicaliy Radiated Power* (EIRP) pada antenna 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).

2.8.1. Gain Antena

Gain antenna adalah parameter pokok dalam teknik radio *link*. Gain biasanya ditunjukkan dalam bentuk *desibel* (dB) dan merupakan penggambaran dari konsentrasi antenna dari power radiasi dalam memberikan arah. Gain antenna terletak pada setiap sisi antenna, pada antenna *isotropic* ditunjukkan dalam bentuk dB. Sebuah antenna isotropic secara teoritis merupakan antenna dengan penguatan 1 (dB). Dalam kata lain adalah sebuah antenna yang beradiasi ke segala arah.

Untuk antenna *parabolic tipe reflektor*, gain merupakan fungsi dari diameter parabola (D) dan frekuensi (f). Secara teoritis gain antenna (G) ditunjukkan oleh persamaan :

$$G_{dB} = 20 \log f_{MHz} + 20 \log D_f - 52,5 \dots\dots\dots(2-1)$$

Atau

$$G = 20 \log f_{Ghz} + 20 \log D_m + 17,8 \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana : f = frekuensi (GHz)

2.8.2. Free Space Path Loss (FSL)

Free space path loss didefinisikan sebagai loss yang terjadi oleh sebuah gelombang elektromagnetik yang dipropagasikan dalam satu garis lurus melalui sebuah vacuum dengan tidak ada penyerapan atau refleksi energi dari objek terdekat. Ekspresi untuk *free space path loss* diberikan sebagai berikut :

$$FSL = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2$$

Dimana :

- FSL = free space path loss
- D = jarak
- f = frekuensi
- λ = panjang gelombang
- c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

Konversi ke dalam satuan dB

$$FSL_{dB} = 20 \log \frac{4\pi f D}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log D$$

Dimana frekuensi yang diberikan dalam MHz dan jarak dalam satuan Km.

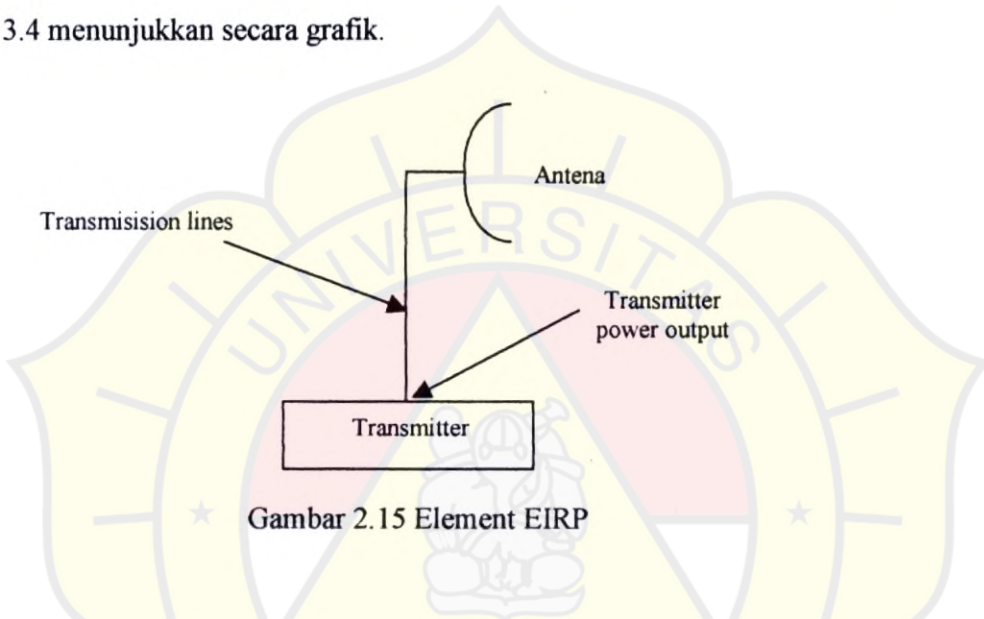
$$\begin{aligned} FSL_{dB} &= 20 \log \frac{4\pi(10)^6 (10)^3}{3 \times 10^8} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f_{MHz} + 20 \log D_{Km} \\ &= 32,4 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log D_{Km} \dots\dots\dots(2-3) \end{aligned}$$

Sedangkan jika frekuensi yang diberikan dalam GHz dan jarak Km maka :

$$FSL_{dB} = 92,4 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log D_{Km} \dots\dots\dots(2-4)$$

2.8.3. 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 antenna dalam dB. Gambar 3.4 menunjukkan secara grafik.



Gambar 2.15 Element EIRP

Secara rumus dapat ditulis sebagai berikut :

$$EIRP_{dBW} = P_o + G_t - L_t \dots\dots\dots(2-5)$$

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

Atau

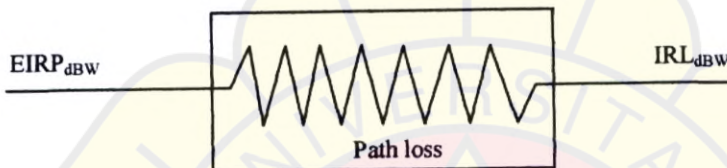
$$EIRP_{dBm} = P_o + G_t - L_t \dots\dots\dots(2-6)$$

- Dimana :
- P_o = power output RF transmitter (dBm)

2.8.4. 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 2.16



Gambar 2.16 Perhitungan IRL

Secara rumus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{IRL}_{\text{dBW}} = \text{EIRP}_{\text{dBW}} - \text{FSL}_{\text{dB}} \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

2.8.5. Receive Signal Level (RSL)

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

$$\text{RSL}_{\text{dBW}} = \text{IRL}_{\text{dBW}} + G_r - L_r \quad \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana : G_r = gain antenna penerima (dB)

L_r = redaman pada penerima (dB)

2.8.6. 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 :

$$NF_{dB} = 10 \log (1 + T_e/290) \dots\dots\dots(2-9)$$

Dimana T_e adalah efektif *noise* temperatur sebuah perangkat. Andaikan *noise figure* sebuah perangkat adalah 3 dB. Maka, noise temperaturnya adalah

$$3 \text{ dB} = 10 \log (1 + T_e/290)$$

$$0,3 = \log (1 + T_e/290)$$

$$1,995 = 1 + T_e/290$$

Kita bulatkan nilai 1,995 menjadi 2, maka :

$$2 - 1 = T_e/290$$

$$T_e = 290^0 \text{ K}$$

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

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

2.8.7. 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 :

$$E_b = RSL_{dBW} - 10 \log (\text{Bit rate}_{bps}) \dots\dots\dots(2-11)$$

Sedangkan N_o dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$N_o = -204 \text{ dBW/Hz} + NF_{dB} \dots\dots\dots(2-12)$$

Sekarang kita dapat memberikan rumusan untuk E_b/N_o :

$$E_b/N_o = RSL_{dBW} - 10 \log (\text{Bit rate}_{bps}) - (-204 \text{ dBW} + NF_{dB}) \dots\dots\dots(2-13)$$

Dapat disederhanakan lagi menjadi :

$$E_b/N_o = RSL_{dBW} - 10 \log (\text{Bit rate}_{bps}) + 204 \text{ dBW} - NF_{dB} \dots\dots\dots(2-14)$$

2.8.8. 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 :

$$C/N_{dB} = RSL_{dBW} - P_n_{dBW} \dots\dots\dots(2-15)$$

2.8.9. 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 3.2.

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 :

$$P_f(\%) = 6.10^{-5} x abfD^3 \dots\dots\dots(2-16)$$

Probabilitas waktu terputusnya hubungan atau P_o adalah :

$$P_o(\%) = P_f x 10^{-FM/10} \dots\dots\dots(2-17)$$

- 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 :

$$FM = 10 \log (abfD^3 \times 10^{-5}) - 10 \log P_o \dots\dots\dots(2-18)$$

Cadangan *fading* juga dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$FM_{dBm} = RSL_{dBm} - P_{th} \dots\dots\dots(2-19)$$

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

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