BAB 2
DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

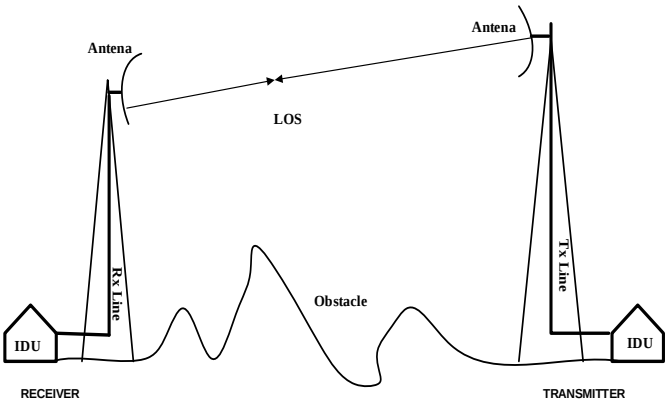
Pada penelitian yang dilakukan oleh Dekri Belly Liu, meneliti tentang peningkatan kinerja jaringan radio gelombang mikro dengan menggunakan teknik *space diversity* pada jaringan transmisinya melalui permukaan laut. Dengan teknik *space diversity*, masing-masing *site* ditambahkan satu antena *receiver space diversity*. Penambahan antena terima ini meningkatkan kehandalan (*availability*) sistem jaringan. Dalam penelitian ini penulis jurnal menggunakan spasi 4 meter di bawah antena utama pada setiap *site*nya. Optimasi pada jaringan tersebut diperoleh peningkatan *availability* jaringan sebesar 0,961446%. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa optimasi dengan teknik *space diversity* optimal diterapkan pada jaringan yang transmisinya melalui atas permukaan laut. [3]

Sedangkan dalam penelitian lainnya yang dilakukan oleh yosi [4], menggunakan teknik *frequency diversity* pada jaringan radio gelombang mikro melalui permukaan laut. Penggunaan teknik *frequency diversity* pada penelitian ini menghasilkan optimasi peningkatan *availability* sebesar 0,15462%. Dari kedua referensi tersebut[3][4] terdapat perbedaan dalam penggunaan teknik optimasi pada jaringan radio gelombang mikro pada permukaan laut, oleh karena itu penulis tertarik untuk meneliti pengaruh optimasi menggunakan teknik *frequency diversity* dan *space diversity* terhadap parameter *availability* pada daerah danau yang sama-sama permukaannya memiliki air seperti laut.

2.2 SISTEM TRANSMISI KOMUNIKASI GELOMBANG MIKRO

Sistem komunikasi radio gelombang mikro adalah sistem komunikasi yang dapat mengirimkan informasi dari satu lokasi pengirim ke lokasi penerima tanpa terganggu kondisi daratan. Komunikasi berupa suara, video, dan data dikirimkan melalui udara bebas (*air interface*) pada *range* frekuensi 2 GHz sampai 24 GHz, berdasarkan standar yang direkomendasikkan oleh *Committee Consultative International on Radio* (CCIR). [1]

Sistem komunikasi microwave terdiri dari 2 bagian utama yaitu pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Dalam perjalanannya dari antena pemancar ke antena penerima, sinyal radio microwave melalui berbagai rintangan dengan mekanisme perambatan dasar. Mekanisme perambatan tersebut adalah *Line-of-sight* (LOS) yang merupakan lintasan propagasi gelombang radio berdasarkan garis pandang manusia. Ini berarti bahwa antara antena pemancar dengan antena penerima tidak boleh ada penghalang (*obstacle*) yang menghalangi lintasan propagasi seperti pada gambar 2.1 di bawah.



Gambar 2.1 Propagasi LOS[1]

Baik stasiun pemancar maupun penerima yang digunakan dalam jaringan harus ditempatkan di tempat yang tinggi, atau pada menara yang tinggi agar diperoleh daerah propagasi LOS yang maksimum. Sehingga ketika propagasi LOS maksimum akan diperoleh lintasan propagasi langsung (*direct signal path*). Propagasi LOS untuk radio gelombang mikro menggunakan sinyal gelombang radio atau *Radio Frequency* (RF) yang merupakan gelombang elektromagnetik[4].

Komunikasi radio *microwave* biasanya digunakan untuk sistem komunikasi satelit maupun sistem komunikasi *terrestrial* yang dirambatkan melalui atmosfer, sehingga kondisi atmosfer akan sangat mempengaruhi energi perambatan gelombangnya. Fluktuasi penurunan energi berkas gelombang akibat atmosfer ini disebut dengan *fading*. *Fading* adalah fluktuasi penurunan daya terima secara tiba-tiba dan merusak kualitas transmisi radio. Efek *fading* dapat berupa refraksi, refleksi, difraksi, *scattering* (penghamburan), atenuasi dan *ducting* dari gelombang radio[5]

2.3 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TRANSMISI RADIO

Dalam sistem komunikasi radio gelombang mikro terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja sistem radio. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tersebut antara lain[1]:

2.3.1 Antena

Antena merupakan suatu perangkat pengubah (*transducer*) energi listrik dari saluran transmisi, menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke ruang bebas, dan sebaliknya. Dengan kata lain antena menjadi struktur perantara pengubah gelombang *Radio Frequency* (RF) terbimbing menjadi gelombang ruang bebas, sehingga perangkat ini merupakan bagian utama pada komunikasi radio *microwave*. [1]

2.3.2 Atmosfer

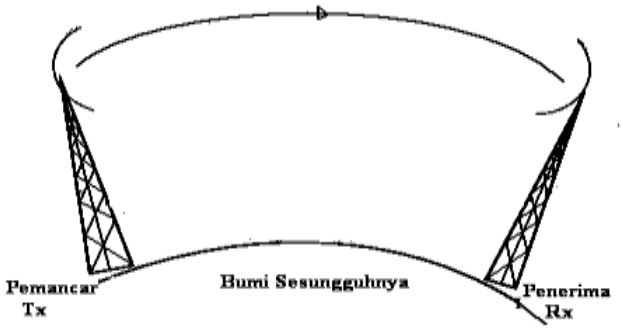
Tetesan-tetesan air hujan dapat memberikan redaman terhadap gelombang elektromagnetik yang melintasinya. Semakin lebat curah hujan maka redaman yang diakibatkan semakin besar. [1]

2.3.2.1 *Absorption Loss*

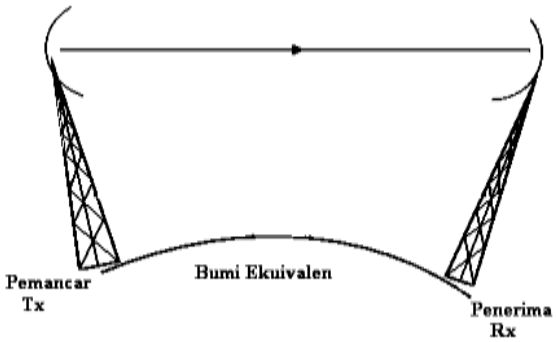
Absorption adalah penyerapan sebagian energi gelombang mikro oleh oksigen dalam atmosfer, hujan dan kabut. Hal ini dapat menyebabkan energi elektromagnetik yang dipancarkan di ruang bebas mengalami redaman. Akan tetapi redaman akibat penyerapan ini masih tergolong cukup kecil. [1]

2.3.2.2 *Refraction*

Refraction adalah pembelokan gelombang radio akibat perubahan karakteristik atmosfer (temperatur, kerapatan, kelembaban). Perubahan kerapatan atmosfer mempengaruhi cepat rambat gelombang[1]. Pada kenyataannya lintasan gelombang radio melengkung seperti pada gambar 2.2. Namun untuk memudahkan analisis, lintasan gelombang radio dimanipulasi seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 ***Microwave Path Real earth*** [6]



Gambar 2.3 ***Microwave Path Equivalen earth***[6]

Pembelokan oleh bumi yang terjadi disebabkan *refraction* direpresentasikan sebagai *k-factor*, yaitu perbandingan antara radius bumi ekuivalen dengan radius bumi sebenarnya, seperti pada persamaan 2.1. [6]

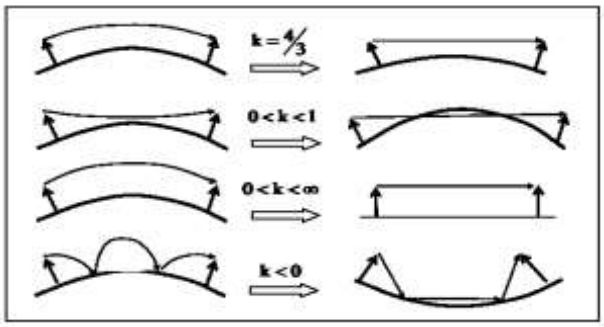
$$k = \frac{equivalent\ earth\ radius}{true\ earth\ radius} = \frac{r}{r_0} \quad \text{.....(2.1)}$$

dengan,

k = *k-factor*
r = radius bumi ekuivalen
r_0 = radius bumi sesungguhnya

Saat kondisi atmosfer normal, dalam perhitungan radius bumi ekuivalen biasanya digunakan k = 4/3. Bila menggunakan k = 4/3 dan mengalikan radius bumi yang sesungguhnya dengan harga k tersebut, maka pada saat memetakan lintasan propagasi gelombang, kurvatur bumi dapat dimodifikasi sedemikian rupa, sehingga lintasan radio dapat digambarkan secara garis lurus. Hasil modifikasi kurvatur bumi untuk radius bumi ekuivalen untuk harga k = 4/3, yang disebut dengan profil lintasan atau *Path Profile* k = 4/3.

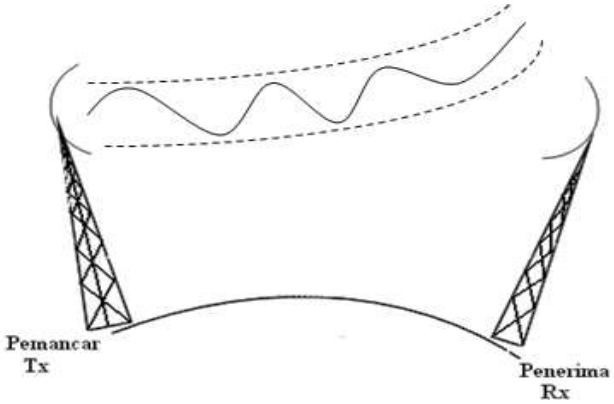
Jika k < 4/ 3 *Sub-refractive Atm*. Jalur dari gelombang radio teralu dekat dengan permukaan bumi. Nilai k yang terlalu rendah berhubungan dengan tingginya probabilitas gelombang radio yang terhalangi oleh permukaan tanah. k > 4/3 *Super-refractive Atm*. Jalur dari gelombang radio teralu jauh dari permukaan bumi dan bisa memperluas interferensi yang tidak diinginkan. [2]



Gambar 2.4 Perubahan Harga *k-factor*[7]

2.3.2.3 *Ducting* (Jebakan Atmosfer)

Ducting adalah peristiwa di mana terperangkapnya gelombang mikro dalam sebuah atmosfer *waveguide* seperti ditunjukan pada gambar 2.5. Ini biasa terjadi pada ketinggian yang rendah dengan lapisan atmosfer yang sangat padat dan terjadi di dekat atau di atas permukaan air[7].



Gambar 2.5 Peristiwa *Ducting*[7]

2.3.3 Efek Permukaan Bumi (*Terrain Effect*)

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

2.3.3.1 Pemantulan Bumi (Refleksi)

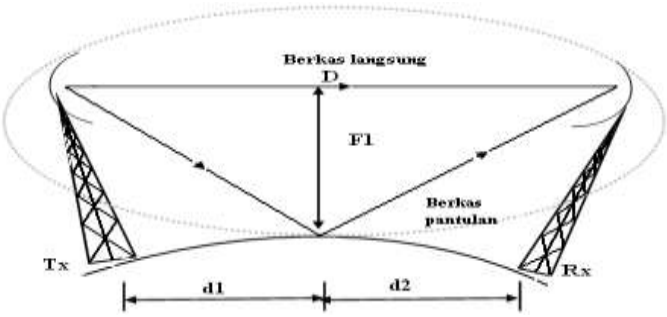
Ketika gelombang radio menabrak permukaan bumi, tidak dipantulkan dari suatu titik dipermukaan bumi, namun dari suatu daerah dengan ukuran tertentu. Ukuran daerah pantulan cukup besar untuk mencakup beberapa zona *fresnel* atau mungkin lebih kecil dari itu. Pengaruh pantulan bumi dapat merubah fasa bergantung pada polarisasi sinyal dan sudut kedatangan. Gelombang dengan polarisasi horizontal, dipantulkan dari permukaan bumi dan menggeser fasa hampir mendekati 180°. Hal ini menyebabkan perubahan panjang jalur hingga setengah panjang gelombang ($\lambda/2$). Sedangkan pada sinyal dengan polarisasi vertikal, pergeseran bervariasi antara 0° dan 180° tergantung kepada sudut kedatangan dan koefisien pantul serta keadaan bumi.

Untuk menanggulangi pantulan bumi pada jalur LOS, tinggi menara dapat diatur untuk memindahkan titik pantul secara efektif pada suatu wilayah tertentu yang sehingga pengaruh pantulan bumi maupun direduksi.[2]

2.3.3.2 *Fresnel Zone*

Untuk menghindari pengaruh *multipath* pada pantulan tanah, maka ditetapkan daerah *clearance* (bebas dari penghalang/obstacle) yang salah satu komponennya adalah *Freznel Zone*. Daerah *Fresnel Zone* merupakan hal yang patut diperhatikan dalam perencanaan lintasan gelombang radio *line of sight*. Daerah ini sebisa mungkin harus bebas dari halangan pandangan karena bila tidak maka akan menambah redaman lintasan. [1]

Gambar 2.6 menunjukkan dua berkas lintasan propagasi gelombang radio dari pemancar ke penerima, yaitu berkas lintasan langsung (*direct ray*) dan berkas lintasan pantulan (*reflected ray*) yang mempunyai radius F_1 dari garis lintasan langsung. Jika berkas lintasan pantulan mempunyai panjang setengah kali lebih panjang dari berkas lintasan langsung, maka dianggap bumi merupakan pemantul yang sempurna (koefisien pantul sama dengan -1, artinya gelombang datang dan gelombang pantul berbeda fase 180°), maka pada saat tiba di penerima akan mempunyai fase yang sama dengan gelombang langsung. Akibatnya akan terjadi intensitas kedua gelombang pada saat mencapai antena penerima akan saling menguatkan.



Gambar 2.6 Daerah *Fresnel*[1]

Persamaan untuk mencari batas daerah *Fresnel* adalah dengan menggunakan persamaan 2.2. [1]

$$F_n = 17{,}3\sqrt{\frac{n\, d_1 d_2}{f\, D}} \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

dengan,

Fn = radius daerah Fresnel ke-n (km)
d1 = jarak antara pemancar dengan penghalang (km)
d2 = jarak antara penghalang dengan penerima (km)
D = d1 + d2
f = Frekuensi (GHz)
n = Daerah Fresnel ke (1,2,3,4,dan seterusnya).

2.3.3.3 *Clearance*

Analisis jari-jari *Fresnel* dihitung pada kondisi permukaan bumi datar, karena itu untuk analisis pada permukaan bumi bulat (kondisi *real*) perlu ditambahkan perhitungan faktor koreksi terhadap ketinggian titik *obstacle* yang bernilai sama dengan kelengkungan bumi. Faktor koreksi terhadap kelengkungan bumi menggunakan persamaan 2.3. [1]

$$\text{h koreksi} = \frac{0{,}0785 \times d1 \times d2}{k} \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

dengan,

h koreksi = faktor koreksi ketinggian titik penghalang (m)
d1 = jarak antara pemancar dengan penghalang (m)
d2 = jarak antara penerima dengan penghalang (m)
k = faktor kelengkungan bumi, dengan:
k = 6/5 – 4/3 ; daerah kutub
k = 4/3 ; daerah sedang
k = 4/3 – 3/2 ; daerah tropis

Sehingga nilai *clearance* dengan faktor koreksi ditunjukan pada persamaan 2.4. [2]

CL = 0,6 F1 + h koreksi ..... (2.4)

dengan,

CL = daerah *clearance* (m)

h koreksi = faktor koreksi ketinggian titik penghalang (m)

F1 = daerah *fresnel* pertama

2.3.3.4 Pengaruh Difraksi

Difraksi terjadi ketika gelombang radio menghadapi penghalang yang lebih besar bila dibandingkan dengan panjang gelombang pancarannya. Hal ini menyebabkan meningkatnya pelemahan terhadap sinyal informasi yang dikirimkan pada gelombang radio. Pada penggunaan frekuensi dibawah 1000 MHz, terdapat difraksi atau pembelokan dari suatu penghalang dengan peningkatan atenuasi sebagai fungsi penghalang. Sedangkan pada frekuensi diatas 1000 MHz, dengan fungsi penghalang yang meingkat, atenuasi meningkat lebih signifikan sehingga menyebabkan pengiriman sinyal menjadi tidak stabil. Jumlah rugi-rugi yang terjadi tergantung kepada area dari pancaran yang terhalang dalam hubungannya pada area frontal total dari energi yang terpropagasi dan sifat difraksi penghalang. [2]

2.3.3.5 *Fading*

Fading adalah pelemahan sinyal dikarenakan perbedaan fasa, polarisasi atau level daya pada suatu sinyal pada penerima. Kebanyakan definisi dari *fading* mengacu pada mekanis propagasi seperti refraksi, refleksi, difraksi, *scattering* (penghamburan), atenuasi dan *ducting* dari gelombang radio. Namun, *fading* merupakan suatu yang alamiah terjadi dalam sistem komunikasi dengan media apapun, sehingga tidak dapat dihindari. Dalam komunikasi radio gelombang mikro, *fading* disebabkan oleh suatu keadaan bumi tertentu atau kondisi cuaca yang buruk, sehingga menyebabkan komunikasi antar pengirim dan penerima

teganggu. Secara umum, terdapat dua kategori utama dari *fading*, yaitu *flat fading* dan *frequency selective fading*. [6]

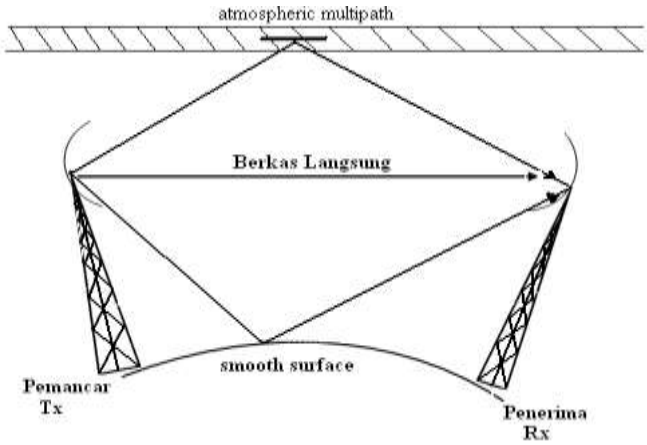
1. *Flat Fading*

   Fenomena *flat fading* menyebabkan pembiasan atau pembelokan pancaran gelombang. Pancaran gelombang mikro dapat berubah dikarenakan dikarenakan oleh indeks pembiasan (konstanta *dielektrik*) di udara, k = ¾ merupakan kondisi atmosfer standar, di mana pancaran gelombang mikro memiliki seperempat dari lengkungan bumi sesungguhnya. Antena pemancar dan penerima ditempatkan pada suatu keadaan tertentu sesuai dengan standar, sehingga suatu sinyal dengan kekuatan penuh diterima penerima dari pengirim. Ketika kerapatan udara merubah indeks bias atmosfer, maka pancaran membelok keatas atau kebawah tergantung kepada K *Factor*. Ketika K *Factor* lebih kecil dari 3/4 , disebut kondisi *subrefractive* atau *substandar*, menyebabkan pancaran dibelokan keatas. Sedangkan ketika k lebih besar dari 3/4, disebut pancaran *superrefractive* atau *superstandar* menyebabkan pancaran dibelokan kebawah. Penurunan kuat sinyal pada penerima, tergantung pada seberapa jauh pembelokan terjadi dari standar yang ditoleransikan.[2]

2. *Frequency Selective Fading*

   Frequency selective fading terbagi menjadi dua, yaitu *Multipath fading dan Power fading.*

   a. *Multipath Fading*



Gambar 2.7 *Multipath Fading*[8]

Multipath fading merupakan propagasi yang dihasilkan dari berbagai jalur sinyal yang ada diantara pemancar dan penerima sehingga dapat menimbulkan gangguan dan pelemahan. Tergantung pada frekuensi, jarak dan keadaan. Peristiwa terjadinya *Multipath Fading* ditunjukan pada gambar 2.7[8].

b. *Power Fading*

Power *fading* adalah pergeseran pancaran gelombang yang diterima (pergeseran pancaran dari antena penerima). *Power fading* diakibatkan oleh beberapa hal, yang pertama yaitu gangguan dari permukaan bumi atau lapisan atmosfer terhadap jalur propagasi gelombang mikro. Penyebab *power fading* yang kedua adalah *decoupling* antena yang dikarenakan berbagai indeks *gradient* pembelokan (nilai K *factor*). Pengaruh cuaca dan salah satu terminal antena berada pada formasi ducting dapat menyebabkan *power fading*, penyebab *power fading* yang terakhir adalah pantulan terpisah yang diakibatkan oleh lapisan atmosfer yang lebih tinggi telah mengalami interposisi pada jalur pancaran gelombang mikro. [2]

2.3.4 *Diversity*

Diversity adalah suatu teknologi yang diterapkan pada penerimaan sistem komunikasi yang pada dasarnya untuk mengatasi pengaruh *fading* yang terjadi pada lintasan jalur komunikasi *microwave* dan operasi sistem ini dilakukan oleh 2 atau lebih pada sistem secara bersamaan untuk meningkatkan kualitas sinyal yang diterima. Contoh teknik *diversity* yaitu *space diversity* dan *frequency diversity*[1]. Teknik ini bisa dijelaskan sebagai peralatan yang bersifat *redundancy*, yaitu jalur jaringan alternatif atau cadangan yang digunakan untuk meningkatkan ketersediaan jaringan sehingga jika dalam suatu jaringan terdapat *link* yang terputus maka jalur tersebut masih bisa terhubung tanpa mempengaruhi konektivitas perangkat pada jalur tersebut. [1]

2.3.5 *Link Budget Analysis*

Perhitungan link budget merupakan perhitungan yang menghitung semua penguatan dan rugi-rugi dari pemancar melalui suatu media ke penerima dalam sistem telekomunikasi. *Link budget* mempertimbangkan berbagai atenuasi disebabkan propagasi, begitupula dengan *antenna gain*, *feedline* dan rugi-rugi lainnya. Analisis *link budget calculation* dilakukan agar perencanaan jaringan transmisi *microwave* antara BTS *Near End* dan BTS *Far End* dapat memenuhi kondisi sistem komunikasi yang bekerja secara optimal dalam melakukan performansi komunikasi radio *microwave*.[2]

2.4 *LINK MICROWAVE*

2.4.1 Klasifikasi *Link Microwave*

Komunikasi radio *microwave* digunakan dalam sistem komunikasi seluler sebagai jalur transmisi yang menghubungkan satu MSC dengan MSC yang lain yang dalam satu jaringannya, penghubung MSC dengan BSC, penghubung BSC dengan beberapa BTS, maupun antar BTS. Walaupun terdapat alternatif lain dengan menggunakan jalur transmisi kabel serat optik, ataupun saluran *wireline* lainnya, jalur transmisi *microwave* masih lebih sering digunakan. Pada umumnya *link microwave* beroperasi pada *range* frekuensi 2 GHz sampai 60 GHz. Berdasarkan *range* frekuensi kerjanya, *link microwave* dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu *short haul*, *medium haul*, dan *long haul*.[2]

2.4.1.1 *Short Haul*

Kategori *short haul* bekerja pada *range* frekuensi yang sangat tinggi (23 GHz – 58 GHz), yang demikian hanya menjangkau jarak yang pendek yaitu 1 - 18 km. Pada *range* frekuensi yang lebih rendah pada *band* ini, *link* akan dipengaruhi oleh *multipath* dan *rain fading* (pelemahan akibat hujan). Pada frekuensi yang lebih tinggi pada saat panjang lintasan hanya beberapa kilometer, pengaruh *multipath* tidak akan memberikan dampak yang signifikan. Tetapi, bagaimanapun, hujan akan memberikan dampak besar pada *link* ini. Berikut frekuensi yang termasuk kategori *short haul*[2]:

1. *Band* Frekuensi 23 GHz

a. Daya jangkau maksimal 18 km
b. Diameter antena 30-120 cm untuk *gain* berkisar antara 35,5 dBi – 47,3 dBi
c. *Rain fading* dan *multipath fading*
d. *Attenuation* atmosfer hujan sekitar 3 dB/km pada saat curah hujan 20 mm/jam
e. Menggunakan 2 polarisasi horizontal dan vertikal

2. *Band* Frekuensi 26 dan 27 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 15 km
   b. *Rain fading*
   c. Diameter antena 30 - 60cm
   d. Menggunakan 2 polarisasi, Horizontal dan vertical.
   e. Atenuasi karena hujan sekitar 3 dB/km saat curah hujan 20 mm/h.
   f. Atenuasi atmosfer 0,1 dB/km.
3. *Band* Frekuensi 38 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 10 km
   b. *Rain fading*
   c. Diameter antena 30 cm dengan *gain* 39,66 dB
   d. Menggunakan 1 polarisasi Vertikal
   e. Atenuasi akibat hujan sekitar 5 dB/km saat curah hujan 20 mm/h
   f. Atenuasi atmosfer 0,12 dB/km
4. *Band* Frekuensi 55 GHz
   a. Daya jangkau maksimal kurang lebih beberapa kilometer saja.
   b. *Rain fading*
   c. Diameter antena 30 cm dengan *gain* 39,66 dB
   d. Menggunakan 1 polarisasi Vertikal
   e. Atenuasi akibat hujan sekitar 5 dB/km saat curah hujan 20mm/h
   f. Atenuasi atmosfer 0,12 db/km
5. *Band* Frekuensi 58 GHz
   a. Daya jangkau maksimal hanya 1 - 2 km
   b. *Rain fading*
   c. Diameter antena 15 cm
   d. Hanya untuk polarisasi vertikal

e. Atenuasi akibat hujan sekitar 7 dB/km saat curah hujan 20 mm/h.
f. Atenuasi atmosfer 12 dB/km

2.4.1.2 *Medium Haul*

Frekuensi operasi *link* ini biasanya antara 11 GHz-20 GHz. Dipengaruhi oleh kondisi iklim dan frekuensi operasi. Panjang lintasan antara 20 - 40 km. *Link* ini juga dipengaruhi oleh *rain fading* dan *multipath fading*[2].

1. *Band* Frekuensi 13 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 40 km
   b. *Multipath fading*
   c. Diameter antena 60cm-120cm untuk *gain* antena berkisar 36,4dB-42,4dB
   d. Menggunakan 2 polarisasi, *horizontal* dan vertical
2. *Band* Frekuensi 15 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 35 km.
   b. *Multipath fading*
   c. Diameter antena 60 cm-120 cm dengan *gain* antena berkisar 38dB-44dB
   d. Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertical
3. *Band* Frekuensi 18 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 20 km
   b. *Multipath fading*
   c. Diameter antena hingga 60cm-180cm dengan *gain* 39 dB-49 dB
   d. Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertikal.
   e. Atenuasi akibat hujan sekitar 1 dB/km saat curah hujan 20 mm/hr.
   f. Atenuasi atmosfer 0,1 dB/km

2.4.1.3 *Long Haul*

Frekuensi operasi *link* ini biasanya antara 2 GHz sampai 10 GHz. Pada kondisi iklim terbaik dan frekuensi operasi, jarak yang dapat dicakup oleh *link* ini dapat berkisar antara 45 km-80 km. *Link* ini dipengaruhi *multipath fading.* [2]

1. *Band* Frekuensi 2 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 80 km
   b. Multipath fading

c. Diameter antenna 370 cm dengan *gain* antenna 36 dB
d. menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertical

2. *Band* Frekuensi 7 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 50 km
   b. *Multipath fading.*
   c. Diameter antenna 370 cm dengan *gain* antena 46,8 dB
   d. Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertical
3. *Band* Frekuensi 10 GHz
   a. Daya jangkau maksimal 45 km
   b. Multipath fading
   c. Diameter antena hingga 60 cm-120 cm untuk *range gain* 34 dB-40 dB
   d. Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertical

2.4.2 Perangkat *Link* Komunikasi Gelombang Mikro

Terdapat dua komponen utama dalam *link microwave*, yaitu *Indoor Unit* (IDU) dan *Outdoor unit* (ODU) serta terdapat *multiplexer* dan *combiner* sebagai komponen pendukungnya: [9]

2.4.2.1 *Indoor Unit*

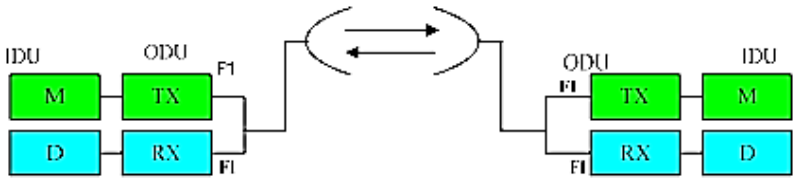
Indoor unit sering disebut juga dengan IDU. IDU berisi modem radio berfungsi sebagai titik terminasi untuk sinyal digital dari perangkat *end user* dan kemudian merubahnya ke dalam sinyal berbasis sinyal radio untuk dikirimkan sepanjang media transmisi *microwave* dengan menggunakan skema modulasi dan juga memodulasikan *carrier* ke sinyal digital pada penerima. Terlepas dari modulasi dan demodulasi sinyal, IDU juga berfungsi sebagai *Forward Error Control* (FEC), pemultipleks-an data user, control unit dan berperan sebagai kanal komunikasi antara NMS dan ODU. IDU biasanya ditempatkan dilokasi terproteksi. [9]

2.4.2.2 *Outdoor Unit*

Outdoor Unit sering disebut juga dengan ODU. ODU berfungsi menkonversikan sinyal digital berfrekuensi rendah (*Intermediate Frequency*)

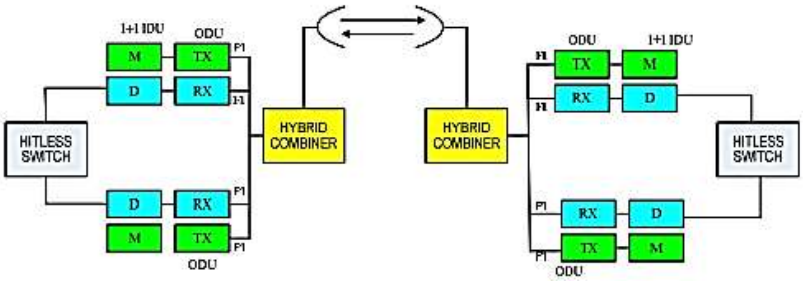
menjadi sinyal radio berfrekuensi tinggi (*Radio Frequency*). Ketika sinyal diterima oleh antena, sinyal dilewatkan ke *Low Noise Amplifier* (LNA) untuk dikuatkan. Kemudian dilewatkan ke *Automatic Gain Control* (AGC). ODU berisi perangkat *Radio Frequency* pengirim dan penerima. Dengan fitur ini, ODU juga disebut sebagai radio *transceiver*. ODU berisi perangkat *Radio Frequency* pengirim dan penerima. untuk memastikan besar sinyal saat memasuki radio penerima. ODU mendapatkan catuan listrik dan sinyal termodulasi berfrekuensi rendah (IF) dari IDU melalui kabel koaksial. Terdapat tiga konfigurasi yang sering digunakan pada ODU, yaitu:

1. Konfigurasi 1+0 yaitu memiliki satu radio ODU dan satu antena *microwave* disetiap BTS. Apabila ODU Mengalami Kerusakan maka secara otomatis *link* akan terputus. Seperti pada gambar 2.2 adalah konfigurasi 1+0. [9]



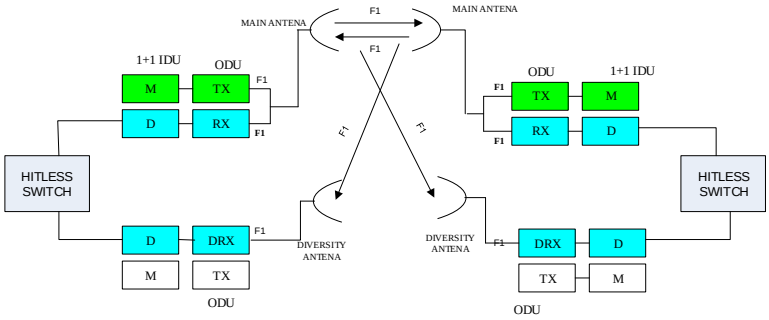
Gambar 2.8 Konfigurasi 1+0[9]

2. Konfigurasi 1+1 *Hot Standby* yaitu memiliki satu antena *Microwave* dan dua radio ODU pada setiap BTS. Radio ODU ini dua-duanya aktif, hanya saja ODU yang kedua Bersifat *Standby*. Hal ini dilakukan untuk menjaga apabila *main* radio ODU mengalami Kerusakan maka secara otomatis akan di *backup* oleh ODU yang kedua. Seperti pada gambar 2.3 adalah konfigurasi 1+1 *Hot Standby*. [9]



Gambar 2.9 Konfigurasi 1+1 *Hot standby*[9]

3. Konfigurasi 1+1 *Space diversity* yaitu, memiliki dua antena *microwave* dan dua radio ODU. Seperti pada gambar 2.4 adalah konfigurasi 1+1 *Space diversity*. [9]



Gambar 2.10 Konfigurasi 1+1 *Space diversity*[9]

a. *Combiner*

Combiner (hybrid) berfungsi untuk menggabungkan kedua sinyal untuk meminimalkan distorsi atau pemecah frekuensi dengan cara menghubungkan dua sinyal radio. [9]

b. *Multiplexer*

Multiplexer merupakan perangkat pemilihan beberapa jalur data ke dalam satu jalur data untuk di kirim ke titik lainnya dan mempunyai dua jalur atau lebih sinyal digital sebagai masukan dan control untuk pemilih data (*selector*). Dengan *multiplexer* dalam pembangunan *link* transmisi radio digunakan untuk menghubungkan ke bagian IDU. [9]

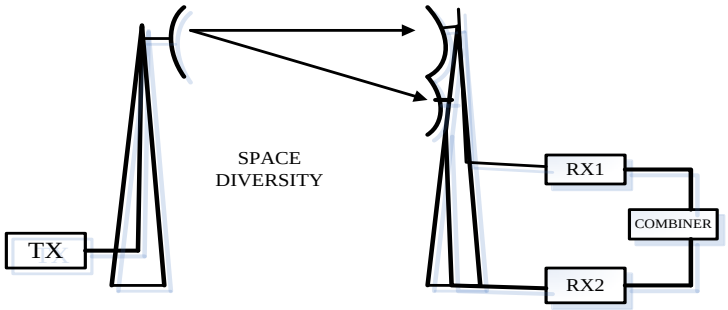
2.5 *PENANGGULANGAN FADING*

Terdapat banyak pengaruh redaman dan *fading* pada berkas gelombang mikro, oleh karena itu perlu diberikan suatu solusi untuk mengatasinya yaitu dengan peragaman (*diversity*). *Diversity* adalah suatu teknologi yang diterapkan pada penerimaan sistem komunikasi yang pada dasarnya untuk mengatasi pengaruh *fading* yang terjadi pada lintasan jalur komunikasi *microwave* dan operasi sistem ini dilakukan oleh dua atau lebih pada sistem secara bersamaan untuk meningkatkan kualitas sinyal yang diterima. Contoh teknik *diversity* yaitu *space diversity* dan *frequency diversity*[1]. Teknik ini bisa dijelaskan sebagai peralatan yang bersifat *redundancy*, *redundancy* adalah jalur jaringan alternatif

atau cadangan yang digunakan untuk meningkatkan ketersediaan jaringan sehingga jika dalam suatu jaringan terdapat *link* yang terputus maka jalur tersebut masih bisa terhubung tanpa mempengaruhi konektivitas perangkat pada jalur tersebut.

2.5.1 *Space Diversity*

Penerima dari radio gelombang mikro menerima sinyal dari dua atau lebih antena yang terpisah secara vertikal atau menggunakan beberapa *receiver* yang umumnya dua sistem dengan antenanya yang diletakkan terpisah secara vertikal dalam jarak beberapa panjang gelombang (λ) satu sama lain. Oleh karena dimensinya adalah jarak, maka dikatakan sebagai jenis teknik *space diversity* atau peragaman spasi / ruang[5]. Setelah sinyal diterima oleh masing-masing antena kemudian secara simultan akan dihubungkan ke *diversity combiner* untuk menggabungkan sinyal yang diterima oleh antena penerima. Konfigurasi *space diversity* ditunjukkan gambar 2.10.



Gambar 2.11 Sistem *Space diversity*[1]

Untuk mendapatkan operasi yang optimal maka spasi antara kedua antena yang terpisah harus diatur sedemikian rupa. Kenyataannya, untuk menerima sebuah sinyal informasi digunakan 2 atau lebih sistem antena, yang dipasang secara vertikal atau horisontal di mana antena utama dan antena *space diversity* diberi spasi setidaknya antara 70λ – 200λ terhadap antena utama[10].

Sedangkan untuk mencari nilai panjang gelombang (λ) adalah dengan persamaan 2.5[11]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

dengan,

λ = panjang gelombang (m)
c = kecepatan rambat cahaya (3×10^8 ms^{-1})
f = frekuensi antena (Hz)

Sistem transmisi menggunakan teknik *space diversity* untuk mengatasi *fading* akan diperoleh faktor perbaikan dengan persamaan 2.6 sebagai berikut[2]:

$$I_{SD} = 1{,}2 \times 10^{-3} \times \frac{f}{D} \times s^2 \times v^2 \times 10^{\frac{A}{10}} \quad (2.6)$$

dengan,

I_{SD} = faktor perbaikan *space diversity* (dB)
f = frekuensi (GHz)
D = panjang lintasan (km)
s = spasi antar antena (m)
v = selisih RSL (mV) ; antena utama dengan antena *space diversity*
A = *effective fade margin (dB)*

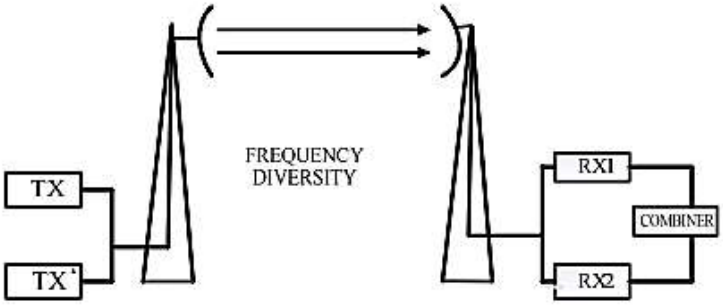
Sinyal RF yang dipancarkan, mungkin dipantulkan oleh *obstacle* atau kondisi dari lapisan atmosfer bumi dalam radio *hop*. Hal ini dapat berarti bahwa sebagian sinyal mencapai antena penerima secara langsung, dan sebagian yang lain secara tidak langsung, yaitu melalui sebuah pantulan dalam *hop* radio. Jika fase dari kedua sinyal sesampainya di penerima berlawanan disebabkan oleh beda panjang lintasan (*multipath propagation*) maka hal ini akan menyebabkan terjadinya *fading.*

Terdapat dua pilihan dalam pemrosesan sinyal yaitu, secara teknik ada yang menggunakan *switch* dan *combiner,* tujuan dari menggunakan *switch* adalah untuk mendapatkan sinyal yang paling baik dayanya. Sedangkan tujuan dari penggunaan *combiner* adalah menggabungkan kedua sinyal untuk meminimalkan distorsi[5].

2.5.2 *Frequency Diversity*

Frequency diversity seperti yang ditunjukan pada gambar 2.12 merupakan sistem yang mengoperasikan dua frekuensi gelombang mikro pada satu antena baik itu di pemancar maupun penerima. Informasi yang dikirimkan secara simultan dikirimkan kedua *transmitter* yang beroperasi pada frekuensi yang

berbeda kemudian diteruskan ke satu antena pemancar. Berdasarkan gambar 2.12 pada antena penerima akan dikumpulkan informasi dan memisahkannya menjadi dua sinyal. Perbedaan frekuensi (Δf) antara kedua frekuensi cukup 2% dan akan lebih baik jika berbeda 6% untuk menghindari terjadinya interferensi yang besar. [2]



Gambar 2.12 Sistem *Frequency Diversity*[9]

Apabila menggunakan teknik *frequency diversity*, maka akan diperoleh faktor perbaikan seperti yang ditunjukan pada persamaan 2.7 : [2]

$$I_{fd} = 10\,log\Delta f - 20\log f - 10logD + FM\ 0.9 \quad (2.7)$$

Setelah sistem mendapatkan perbaikan, maka didapat persamaan *fading margin* dengan *frequency diversity* seperti pada persamaan 2.8 : [2]

$$FM = 20\log D + 5\log(a \times b \times 2.5) + 15\log f - 5\log UnAv_{path} - 5\log\Delta f - 29.5 \quad (2.8)$$

dengan :

FM = Fading Margin (dB)

D = Panjang Lintasan (Km)

f : Frekuensi kerja (GHz)

a : faktor kekasaran bumi

a : 4 ; untuktdaerah halus, laut, danau, dan gurun

a : 1 ; untuk daerah kekasaran rata-rata, dataran

a : 0,25 ; untuk pegunungan dan dataran tinggi

b : faktor iklim

b : 0,5 ; untuk daerah panas dan lembab

b : 0,25 ; untuk daerah normal

b : 0,125; untuk daerah pegunungan (sangat kering)

b : 1 ; untuk kondisi paling buruk

$UnAv_{Path}$: ketidakhandalan system (Unavailability)

Δf : Perbedaan frekuensi yang digunakan dalam sistem transmisi yang menggunakan teknik *frekuency diversity*.

I_{fd} : Faktor perbaikan *frequency diversity* (dB)

2.6 PERHITUNGAN *LINK BUDGET MICROWAVE*

Adapun terdapat 9 parameter perhitungan *Link Budget Microwave* yang biasa dihitung dalam perancangan jaringan radio *microwave*.

2.7 *Gain*

Antena adalah suatu perangkat digunakan untuk mengirimkan dan mmenerima sinyal informasi dari ruang bebas yang berasal dari pemancar maupun penerima. *Gain* adalah parameter pengukur kemampuan antena untuk mengirimkan gelombang yang diinginkan ke arah tujuan. Pada antena parabola, efisiensi tidak mencapai 100% karena beberapa daya hilang. Secara komersial, efisiensi antena parabola antara 50% hingga 70%. Besarnya nilai gain dapat dicari menggunakan persamaan 2.9. [1]

$$G = 20\log f + 20\log d + 10\log\eta + 20{,}4 \quad (2.9)$$

dengan,

G = Gain atau penguatan antena (dBi)
d = Diameter antena (m)
f = frekuensi antena (GHz)
η = Efisiensi antena (50% - 70%)

2.5.1 *Free Space Loss* (FSL)

Pada frekuensi di atas 10 GHz, pathloss dapat dianggap sebagai *Free Space Loss* (FSL), *Free Space Loss* merupakan fungsi jarak dan frekuensi, karena yang mempengaruhi nilai *Free Space Loss* adalah jarak dan frekuensi. *Free Space Loss* adalah redaman yang sepanjang ruang antara antena pemancar dan penerima. Pada ruang ini tidak di bolehkan adanya penghalang, karena transmisinya sendiri berkarakter LOS. Besarnya FSL dapat dihitung dengan persamaan 2.10. [2]

$$FSL = 92{,}45 + 20\log(f_{GHz}) + 20\log(D_{Km}) \quad (2.10)$$

dengan,

FSL = *Free Space Loss* (dB)
f = frekuensi (Ghz)
D = jarak antara antena pemancar dan penerima (km)

Apabila frekuensi yang digunakan dalam satuan Mhz, maka persamaan yang digunakan untuk mencari FSL adalah persamaan 2.11. [2]

$$FSL = 32{,}45 + 20\log(f_{MHz}) + 20\log(D_{Km}) \quad (2.11)$$

dengan,

FSL = *Free Space Loss* (dB)
f = frekuensi (MHz)
D = jarak antara antena pemancar dan penerima (km)

2.5.2 *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP)

EIRP merupakan daya maksimum gelombang sinyal mikro yang keluar dari antena pemancar atau untuk menunjukan nilai efektif daya yang dipancarkan antena pemancar, dalam arti lain daya tersebut sudah mengalami penguatan. EIRP diperoleh dengan menjumlahkan daya output dari antena pemancar dengan gain antena lalu dikurangkan oleh loss atau dapat dituliskan seperti persamaan 2.12. [2]

$$EIRP = P_{Tx} + G_{antena} - L_{Tx} \quad (2.12)$$

dengan,

EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)
P_{Tx} = Daya pancar (dBm).
G_{antena} = *Gain antenna* (dBi)
L_{Tx} = *Transmitter loss* (dB)

2.5.3 *Isotropic Received Level* (IRL)

Isotropic Received Level (IRL) adalah nilai level daya isotropik yang diterima oleh *receiver*. Nilai IRL bukan merupakan nilai daya yang diterima oleh sistem atau rangkaian *decoding*, tetapi merupakan nilai level daya terima antena *receiver*. Besaran nilai IRL harus didapatkan terlebih dahulu untuk mendapatkan

nilai daya terima pada antena penerima. Besar nilai IRL didapatkan dari persamaan 2.13. [2]

$$IRL = EIRP - FSL \quad (2.13)$$

dengan,

IRL = *Isotropic Received Level* (dBW)
EIRP = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBW)
FSL = *Free Space Loss* (dB)

2.5.4 *Received Signal Level* (RSL)

Received Signal Level (RSL) adalah level daya yang diterima oleh piranti pengolah decoding. Rugi-rugi pada jalur di sisi antena penerima serta gain pada antena penerima memperoleh besar nilai RSL. Nilai RSL pada piranti pengolah decoding dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14. [2]

$$RSL = IRL - G_{Rx} - L_{Rx} \quad (2.14)$$

dengan,

RSL = *Received Signal Level* (dBm)
IRL = *Isotropic Received Level* (dBm)
G_{Rx} = *Gain antenna Rx* (dBi)
L_{Rx} = *Receiver Loss* (dB)

2.5.5 Hop Loss

Hoploss adalah perbedaan atau selisih antara gain dan loss pada *link microwave*. *Gain* merupakan penguatan pada sisi lain, sedangkan loss merupakan jumlah dari redaman ruang bebas dan redaman seperti atenuasi ekstra dan atmosfer (uap air dan oksigen). Besarnya *Hoploss* dinyatakan dengan persamaan 2.15. [2]

$$L_h = FSL + L_{ex} + L_{Atm} - (G_{Tx} + G_{Rx}) \quad (2.15)$$

dengan,

L_h = *Hop loss* (dB)
FSL = *Free Space Loss* (dB)
L_{ex} = *Loss* tambahan (dB) ; *loss* sisi tx-rx tanpa pengaruh atmosfer
L_{Atm} = *Atmosphere loss* (dB)
G_{Tx} = *Gain receive antenna* (dBi)
G_{Rx} = *Gain transmit antenna* (dBi)

2.5.6 Fading Margin

Untuk mengatasi adanya fading, maka diperlukan cadangan daya yang digunakan agar dapat mempertahankan level daya terima di atas level batas ambang (*threshold*). Cadangan daya tersebut sering disebut dengan *fading margin*[5]. Terdapat 3 jenis *fade margin,* diantaranya: *thermal fade margin*, *flat fade margin*, *effective fade margin*.

Besarnya *thermal fade margin* dihitung dari selisih antara daya terima dan daya terima minimum (*Rx Threshold*). Adapun hubungan antara *fading margin* dengan *Received Signal Level* ditunjukan pada persamaan 2.16[2].

$$FM_{thermal} = RSL - Rx_{TH} \quad (2.16)$$

dengan,

$FM_{thermal}$ = *Fading Margin Thermal* (dB)
RSL = *Receive Signal Level* (dBm)
Rx_{TH} = *Rx Threshold Level* (dBm)

Selanjutnya *flat fade margin*, yaitu *fade margin* yang dipengaruhi *thermal fade margin* dan *interference fade margin*. Namun jika *interference fade margin* tidak tersedia, maka dapat diabaikan atau dianggap bernilai nol. Seperti pada persamaan 2.17.[2]

$$FM_{flat} = -10\log(10^{\frac{-FMthermal}{10}} + 10^{\frac{-FMac}{10}} + 10^{\frac{-FMex}{10}}) \quad (2.17)$$

dengan,

$FM_{thermal}$ = *Thermal fade margin* (dB)
FM_{ac} = *Adjancent channel interference fade margin* (dB)
FM_{ex} = *External interference fade margin* (dBm)

Setelah *flat fade margin* diketahui, selanjutnya dapat dihitung *effective fade margin*. *Fade margin* ini dipengaruhi oleh *flat fade margin*, *fade occurence factor*, dan *dispersive fade margin*. Sehingga didapatkan perhitungan seperti pada persamaan 2.18. [2]

$$FM_{effective} = -10\log(10^{\frac{-FMflat}{10}} + R \times 10^{\frac{-FMdispersive}{10}}) \quad (2.18)$$

dengan,

$FM_{effective}$ = *Effective fade margin* (dB)

R = *Fade occurence factor* (dB)
$FM_{dispersive}$ = *External interference fade margin* (dBm)

Nilai *fade occurence factor* ditentukan oleh kondisi propagasi sinyal yang dapat dilalui. Keterangannya sebagai berikut:

R = 0,5 sampai 1 ; untuk kondisi propagasi baik
R = 3 ; untuk kondisi propagasi rata-rata
R = 5 sampai 7 ; untuk kondisi propagasi sulit
R = 9 ; untuk kondisi propagasi sangat sulit

2.5.7 C Factor

Nilai C *factor* dipengaruhi oleh *climatic factor* dan *terrain roughness*. Nilai *C factor* digunakan dalam perhitungan *unavailability* pada persamaan 2.19[2].

$$C = cf \times \left(\frac{S}{15,2}\right)^{-1,3} \quad \text{.....(2.19)}$$

cf = *Climatic factor*
cf = 0,5 ; untuk lokasi pegunungan dan beriklim kering
cf = 1 ; untuk daerah dengan ketinggian rata-rata
cf = 2 ; untuk daerah pesisir laut dan di atas perairan
S = *Terrain Roughness* (m)

2.5.8 *Availability*

Ukuran kehandalan sistem sering disebut sebagai *availability*. Secara ideal, semua sistem harus memiliki *availability* 100%. Tetapi hal tersebut tidak mungkin dipenuhi, karena dalam sistem pasti terdapat ketidakhandalan sistem atau *unavailability*. Ketidakhandalan sistem terjadi karena dua faktor, yaitu kesalahan karena manusia (*human error*) dan kesalahan bukan karena manusia seperti perubahan kondisi atmosfer. *Availability* sering disebut juga dengan *reliability* yang didefinisikan dengan kemampuan sistem dalam memberikan pelayanan. [1]

Metode *reliability* yang sering digunakan untuk *microwave link* adalah metode *Vigants–Barnet*. Metode *Vigants–Barnet* menggunaan persamaan antara C *factor* dan *effective fade margin* untuk menghitung *unavailability*. Persamaan tersebut dapat ditunjukan pada persamaan 2.20. [2]

$$P = 6 \times 10^{-7} \times C \times f \times D^3 \times 10^{\frac{-FMcomposite}{10}} \quad \text{.....(2.20)}$$

dengan,

P = *unavailability*
C = *C factor*
f = frekuensi (GHz)
D = panjang lintasan (km)
$FM_{composite}$ = *effective fading margin* (dB)

Maka *availability* dapat dinyatakan dengan persamaan 2.21: [2]

$$Av_{path} = (1 - P) \times 100\% \quad (2.21)$$

dengan,

P = *unavailability* system

Av_{path} = *availability* sistem

Adapun curah hujan juga akan mempengaruhi *availability* jaringan yang dihasilkan. Curah hujan di setiap negara / zona bisa berbeda-beda tergantung pada kondisi dan letak geografisnya. Pembagian zona curah hujan menurut rekomendasi ITU-R Pn.837-1 terbagi menjadi zona A sampai dengan zona Q. [12] Ditinjau dari rekomendasi tersebut, Indonesia dikategorikan ke dalam zona P yang memiliki curah hujan termasuk besar, termasuk negara tropis lainnya.

2.8 *PATHLOSS*

PathLoss versi 5 merupakan perangkat lunak (*software*) untuk perancangan jaringan komunikasi radio *microwave* yang digunakan oleh sebagian besar perencana jaringan. Aplikasi ini dapat menampilkan simulasi yang cukup akurat dalam hal perangkat dan lingkungan di mana jaringan radio akan diterapkan.

Agar jaringan radio dapat disimulasikan dengan sempurna, maka diperlukanlah beberapa data atau *file* pendukung yang berisi spesifikasi perangkat beserta lingkungannya. Data file yang diperlukan diantaranya:

1. *Frequency Plan*

   File *Frequency Plan* ini berisi daftar frekuensi berlisensi yang dimiliki oleh berbagai vendor. Setiap vendor mempunyai daftar frekuensi yang berbeda sesuai dengan lisensi yang dibeli.

2. *Microwave Antenna Data Files* (MAS)

   File MAS ini merupakan representasi karakteristik antena yang diproduksi oleh vendor.

3. *Radio Models Data Files* (MRS)

   Sedangkan file MRS berisi implementasi radio yang sesuai dengan file MAS.

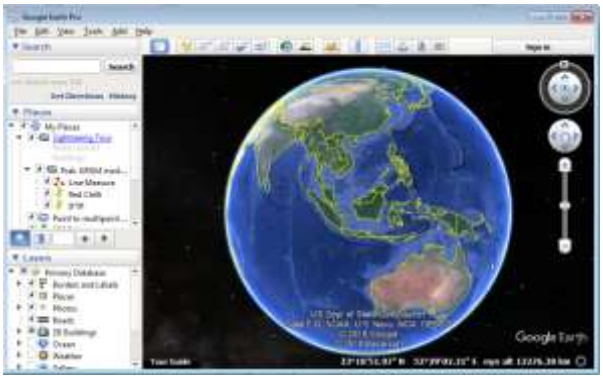
4. SRTM/Data Geografis.

   SRTM berisi data topografi yang dibuat oleh NASA, file ini juga dapat diunduh secara bebas di internet.

Jika empat *data file* diatas sudah lengkap dimiliki, maka simulasi *link budget* pun sudah dapat dibuat. [2]

2.9 *GOOGLE EARTH*

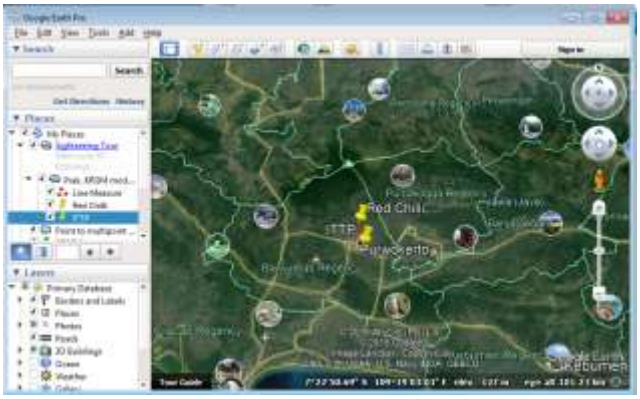
Google Earth merupakan program seperti sebuah globe virtual yang sebenarnya sering disebut *Earth Viewer* yang dibuat oleh perusahaan Keyhole, Inc. Program ini menggambarkan dan memetakan bumi dari pemposisian gambar yang dikumpulkan dari suatu pemetaan satelit, fotografi dari udara dan globe GIS 3D. Awalnya *Google Earth* dikenal sebagai *Earth Viewer* yang dikembangkan oleh Keyhole, Inc., kemudian perusahaan ini diambil alih oleh Google pada tahun 2004. Kemudian produk ini diganti nama menjadi *Google Earth* oleh Google pada tahun 2005, tersedia dan dapat dijalankan untuk komputer personal dengan sistem operasi Windows 2000, XP, Vista, Mac OS X 10.3.9 ke atas, Linux dan FreeBSD.



Gambar 2.13 Tampilan awal *Google Earth*

Globe virtual ini dapat memperlihatkan bangunan, lalu lintas, dan bahkan orang beserta lalu lintasnya. Resolusi gambar yang ditampilkan tergantung pada tempat yang dicari. Untuk saat ini Las Vegas, Nevada, dan Cambridge memiliki resolusi tertinggi, ada ketinggian 15cm (6 inchi). *Google Earth* memungkinkan

penggunanya untuk mencari alamat, mencari titik koordinat, ataupun mencari lokasi dengan menggunakan mouse.



Gambar 2.14 Peta *Google Earth*

Google Earth juga menyimpan data *Digital Elevation Model* (DEM) yang dikumpulkan oleh Misi Topografi Radar Ulang Alik milik NASA. Dengan maksud agar penggunanya dapat melihat *Grand Canyon* ataupun Gunung Everest dalam citra tiga dimensi, daripada hanya dengan melihat citra dua dimensi. Pemandangan 3D untuk Gunung Everest dan pegunungan lainnya sudah dapat dinikmati penggunanya sejak November 2006 dengan penggunaan data DEM untuk melengkapi cakupan SRTM.