

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian Dekri Belly Liu tahun 2017 yang berjudul “Pengaruh *Space Diversity* Terhadap Peningkatan *Availability* Pada Jaringan *Mikrowave* Lintas Laut dan Lintas Pegunungan”. Pada penelitian ini dengan menggunakan *space diversity*, maka masing-masing dari *site* akan ditambahkan ke satu antenna *receiver space diversity*. Untuk penambahan antenna ini dapat meningkatkan kehandalan (*availability*) pada suatu sistem jaringan. Untuk melakukan simulasi perancangan jaringan menggunakan alat bantu yaitu *software Pathloss 5.0*. Dalam penelitian ini optimasi pada jaringan diperoleh peningkatan *availability* jaringan dengan nilai sebesar 0,961446 %. Dapat disimpulkan bahwa hasil perancangan optimasi dengan menggunakan *space diversity* optimal dapat diterapkan pada jaringan diatas permukaan laut dan Pegunungan[2]. Penelitian Zein Pradana pada tahun 2017 yang berjudul , “Analisis Optimasi *Space Diversity* Pada *Link Microwave* Menggunakan *ITU Models*”, Dengan menggunakan *space diversity*, *availability* dari *link microwave* dapat meningkat. Semakin besar jarak antar antenna, maka akan menghasilkan *Diversity Receive Signal* yang lebih tinggi[3].

Berdasarkan penelitian Syahrul Hidayat Triwibowo pada tahun 2019 yang berjudul “Perbandingan Penggunaan Teknik *Diversity* pada Jaringan Gelombang Mikro di Lingkungan Danau” simulasi perancangan di penelitian ini menggunakan *pathloss 5.0*. Pada penelitian ini menggunakan dua *link site* yaitu *link site* Bintang dan *link site* Mongal dengan menggunakan teknik *space diversity* dan *frequency diversity* sudah memenuhi standar nilai *availability*. Dari hasil penelitian ini nilai *availability* yang paling baik mencapai 99,9977% menggunakan teknik *space diversity* dengan jarak maksimumnya yaitu 2,6 meter[4].

Berdasarkan penelitian Endah Sudarmilah pada tahun 2018 yang berjudul “Antisipasi Pengaruh Pemudaran Gelombang (*Fading*) pada Transmisi Gelombang Mikro Digital dengan *Space Diversity* dan *Frequency Diversity*” Dengan adanya banyak pengaruh redaman dan pudaran pada berkas gelombang mikro maka perlu diberikan suatu solusi untuk mengatasinya yaitu dengan peragaman (*diversity*) baik

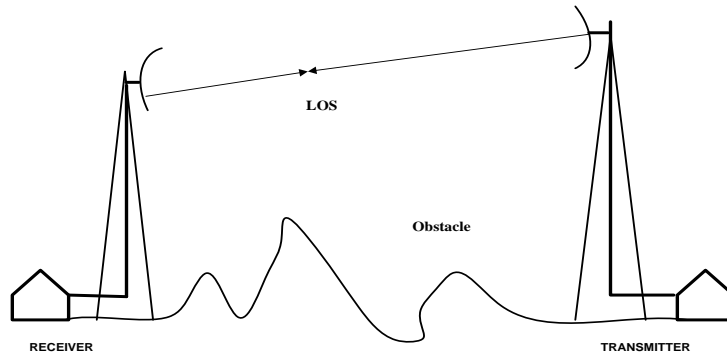
itu peragaman ruang (*space diversity*) maupun peragaman frekuensi (*frequency diversity*) [5]. Penelitian Yosi Rahmawati pada tahun 2016 yang berjudul “Perancangan Jaringan *Backhaul* Sistem Transmisi Gelombang Mikro Digital Menggunakan *Frequency Diversity* di Wilayah Kepulauan Riau” meneliti tentang minimnya informasi publik karena adanya keterbatasan *signal*. Oleh karena itu pada penelitian ini telah melakukan perancangan jaringan *backhaul* sistem transmisi gelombang mikro yaitu dengan menggunakan *frequency diversity*. Pada hasil pengujian rancangan tersebut dengan menggunakan simulator *pathloss 5.0* didapatkan nilai kehandalan sistemnya yang menggunakan *frequency diversity* yaitu 99,96879 %[6].

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 SISTEM TRANSMISI KOMUNIKASI GELOMBANG MIKRO

Sistem komunikasi gelombang mikro merupakan sistem komunikasi yang dapat mengirimkan informasi dari satu lokasi pengirim ke lokasi penerima tanpa ada gangguan dan hasil yang diterima jelas. Komunikasi radio dapat berupa suara, video, dan data yang dikirimkan melalui udara bebas (*air interface*) pada *range* frekuensi 2 GHz sampai dengan frekuensi 24 GHz, sesuai dengan yang telah direkomendasikan oleh CCIR (*Commite Consultative International Radio*)[7].

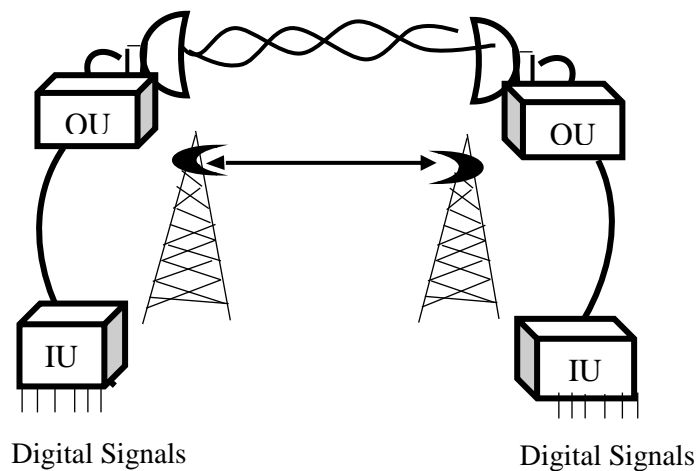
Sistem komunikasi gelombang mikro terdiri dari dua bagian yaitu pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Dalam perjalanannya dari antena pemancar menuju ke antena penerima, gelombang radio *microwave* melalui berbagai rintangan atau lintasan dengan mekanisme perambatan dasar. Mekanisme perambatannya yaitu *line of sight* (LOS) yang merupakan keadaan dimana antara antena pemancar dan penerima mengikuti garis pandang (saling terlihat) tanpa adanya penghalang (*obstacle*) yang menghalangi lintasan perambatan gelombang mikro, seperti pada gambar 2.1 merupakan lintasan propagasi LOS[8].



Gambar 2.1 *Propagasi LOS*[2]

Baik stasiun pemancar ataupun penerima yang digunakan dalam jaringan harus ditempatkan ditempat yang tinggi atau pada menara yang tinggi agar dapat diperoleh daerah propagasi LOS yang maksimum. Sehingga ketika propagasi LOS maksimum akan diperoleh lintasan propagasi langsung (*direct signal path*). Pada propagasi LOS untuk radio gelombang mikro menggunakan sinyal gelombang radio atau radio *frequency* (RF) yang merupakan gelombang elektromagnetik[5]. Komunikasi radio *microwave* biasanya dapat digunakan untuk sistem komunikasi satelit maupun sistem komunikasi terestrial yang dirambatkan melalui atmosfer, sehingga kondisi atmosfer akan sangat mempengaruhi energi perambatan gelombangnya. Fluktasi penurunan energi berkas gelombang akibat atmosfer ini disebut dengan *fading*[8].

2.2.2 Komponen *Link Microwave*



Gambar 2.2 *Link Mikrowave*[8]

Pada Gambar 2.2 merupakan gambar dari *link microwave* yaitu dari pengirim (*transmitter*) ke penerima (*receiver*). Terdapat dua komponen utama dalam *link microwave* yaitu *Indoor Unit (IDU)* dan *Outdoor Unit (ODU)* serta terdapat *multiplexer* dan *combiner* sebagai komponen pendukungnya[9]:

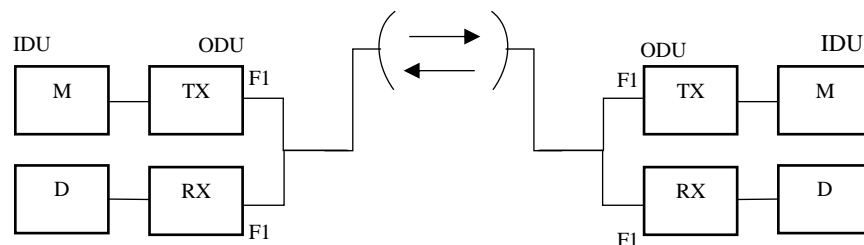
1. *Indoor Unit (IDU)*

Indoor unit atau sering juga disebut juga (IDU) ini, berisi modem yang berfungsi sebagai titik terminasi untuk sinyal digital dari perangkat *end user* dan kemudian mengubahnya menjadi sinyal radio untuk dikirimkan sepanjang media transmisi *microwave* dengan menggunakan skema modulasi dan juga untuk memodulasikan *carrier* ke sinyal digital pada penerima. Untuk penempatan *indoor unit (IDU)* biasanya ditempatkan dilokasi yang terproteksi[8].

2. *Outdoor unit*

Outdoor unit atau sering juga disebut juga dengan (ODU), berfungsi untuk mengkonversi sinyal digital berfrekuensi rendah (*Intermediate Frequency*) menjadi sinyal radio yang memiliki frekuensi tinggi (*Radio Frequency*). Ketika sinyal diterima dari antena, maka sinyal tersebut biasanya dilewatkan ke *Low Noise Amplifier (LNA)* dimana berfungsi untuk menguatkan sinyal yang telah diterima. Setelah sinyal diterima maka sinyal tersebut akan dilewatkan ke *Automatic Gain Control (AGC)* untuk memastikan besar sinyal saat termodulasi yang berfrekuensi rendah dari *indoor unit (IDU)* melalui kabel koaksial. Terdapat tiga konfigurasi yang sering digunakan pada ODU, yaitu[8]:

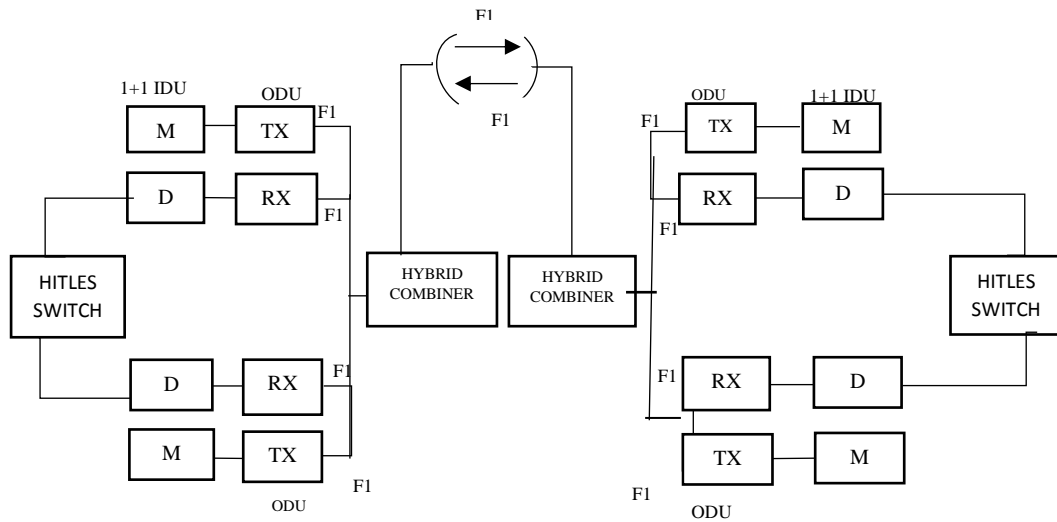
- a. Konfigurasi 1+0 memiliki satu radio ODU dan satu antena *microwave* disetiap BTS. Apabila ONU mengalami kerusakan maka secara otomatis *link* akan terputus. Pada Gambar 2.3 merupakan konfigurasi antena1+0[8].



Gambar 2.3 Konfigurasi 1+0[8]

b. Konfigurasi 1+1 *Hot Standby*

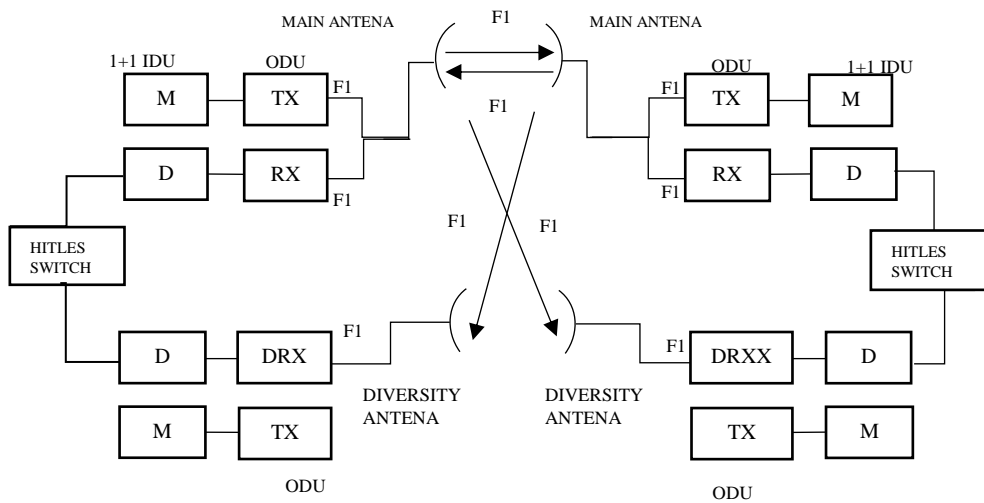
Pada konfigurasi ini memiliki satu antena *microwave* dan dua radio ODU pada setiap BTS. Radio ODU dua-duanya aktif, hanya saja ONU yang kedua bersifat *standby*. Hal ini dilakukan untuk menjaga apabila main radio ODU yang mengalami kerusakan maka secara otomatis akan di *backup* oleh ONU yang kedua. Gambar 2.4 merupakan konfigurasi antena 1+1 *hot standby*[8].



Gambar 2.4 Konfigurasi 1+1 *Hot Standby*[8]

c. Konfigurasi 1+1 *Space Diversity*

Konfigurasi 1+1 *Space diversity* ini memiliki dua antena *microwave* dan dua radio ODU. Gambar 2.5 adalah konfigurasi 1+1 *Space diversity*[8].



Gambar 2.5 Konfigurasi 1+1 *Space Diversity*[8]

3. *Combiner*

Combiner (hybrid) memiliki fungsi untuk menggabungkan kedua sinyal untuk meminimalkan distorsi atau pemecah frekuensi dengan cara menghubungkan dua radio[8].

4. *Multiplexer*

Multiplexer merupakan perangkat pemilihan beberapa jalur data kedalam satu jalur data untuk dikirim ke titik lainnya dan mempunyai dua jalur atau lebih sinyal digital sebagai masukan dan kontrol untuk pemilih data (*selector*). Dimana *multiplexer* dalam pembangunan link transmisi radio digunakan untuk menghubungkan ke bagian IDU[8].

2.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Transmisi Radio

Terdapat Suatu transmisi gelombang radio memiliki faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pada sistem transmisi *microwave* diantaranya yaitu:

2.2.3.1 Antena

Antena adalah suatu perangkat pengubah (*transducer*) yang dapat mengubah besaran listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke ruang bebas dan sebaliknya. Dengan kata lain antena merupakan bagian utama pada komunikasi radio *microwave*, karena antena ini digunakan sebagai struktur perantara antara gelombang yang terbimbing dan gelombang bebas[7].

2.2.3.2 Pengaruh *Atmosphere*

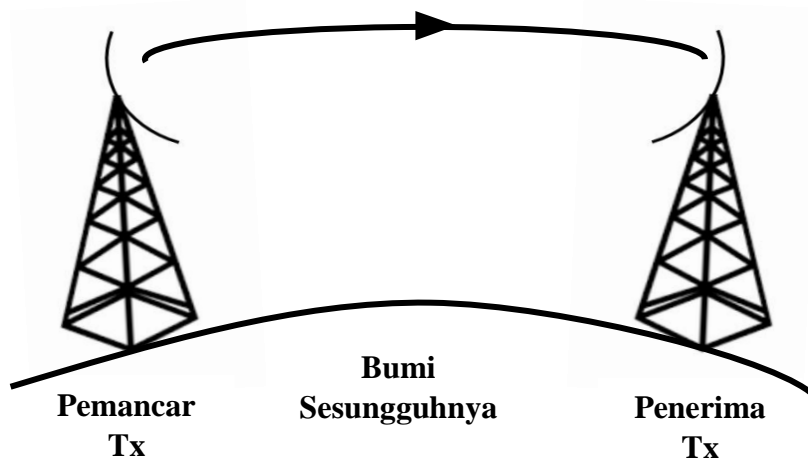
Redaman dari tetesan-tetesan hujan sangat berpengaruh terhadap redaman gelombang elektromagnetik yang melintas. Semakin lebatnya curah hujan maka redaman terhadap lintasan gelombang elektromagnetik juga akan semakin besar[7].

2.2.3.3 *Absorption*

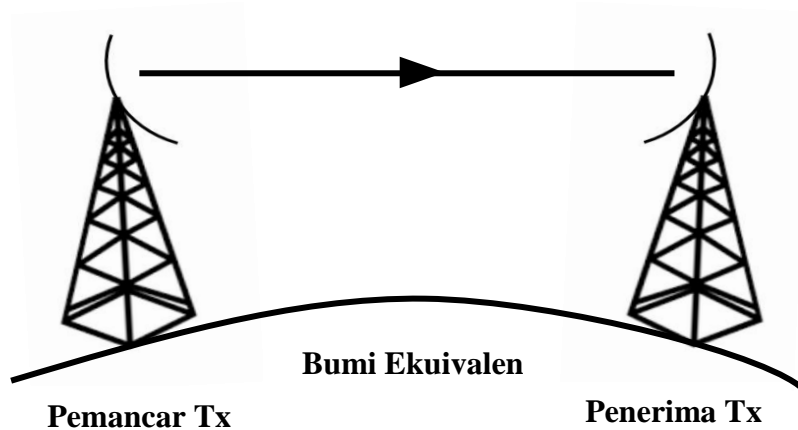
Impedansi *Absorption* (penyerapan) biasanya terjadi karena beberapa hal seperti oksigen dalam atmosfer, hujan dan kabut. Oksigen yang ada didalam atmosfer akan menyerap energi-energi dari gelombang mikro yang mana pelemahan yang diberikan memiliki pengaruh yang kecil. Hal ini dapat mengakibatkan energi akan mengalami redaman[7].

2.2.3.4 Refraction

Refraction adalah pembelokan gelombang radio diakibatkan adanya perubahan karakteristik atmosfer (*temperature*, kerapatan dan kelembapan). Pada perubahan kerapatan atmosfer berpengaruh terhadap cepat rambat gelombang. Lintasan gelombang radio pada nyatanya adalah melengkung seperti Gambar 2.6 merupakan *microwave path real*, maka untuk lebih memudahkan dimanipulasi seperti Gambar 2.7 adalah *Microwave Path Equivalent Earth* agar mempermudah dalam menganalisa[10].



Gambar 2.6 *Microwave Path Real Earth*[8]



Gambar 2.7 *Microwave Path Equivalent Earth*[8]

2.2.3.5 K-Factor

Perubahan dari belokan bumi disebabkan oleh peristiwa *refraction* dapat dinyatakan dengan *K-factor*. *K-factor* merupakan faktor skala yang mengukur

kelengkungan dari pancaran gelombang mikro yang didefinisikan sebagai perbandingan antara radius ekuivalen dari bumi dengan radius bumi yang sebenarnya, seperti pada persamaan 2.1[8]:

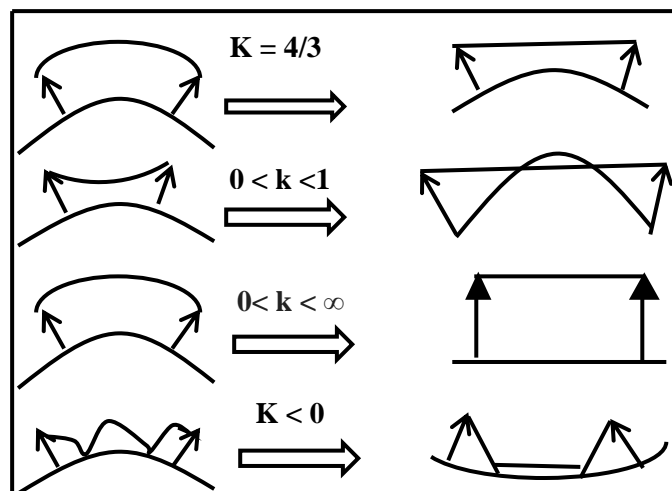
$$K = \frac{\text{equivalent earth radius}}{\text{true earth radius}} = \frac{r}{r_0} \quad (2.1)$$

dengan,

- k = k-faktor
- r = radius bumi ekuivalen
- r₀ = radius bumi sesungguhnya

Saat kondisi atmosfer normal, dalam perhitungan radius bumi ekuivalen biasanya digunakan $k = 4/3$. Bila menggunakan $k = 4/3$ dan mengalihkan radius bumi yang sesungguhnya dengan harga k tersebut, maka pada saat memetakan lintasan propagasi gelombang, dapat memodifikasi kurvatur bumi 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* $k = 4/3$ [8].

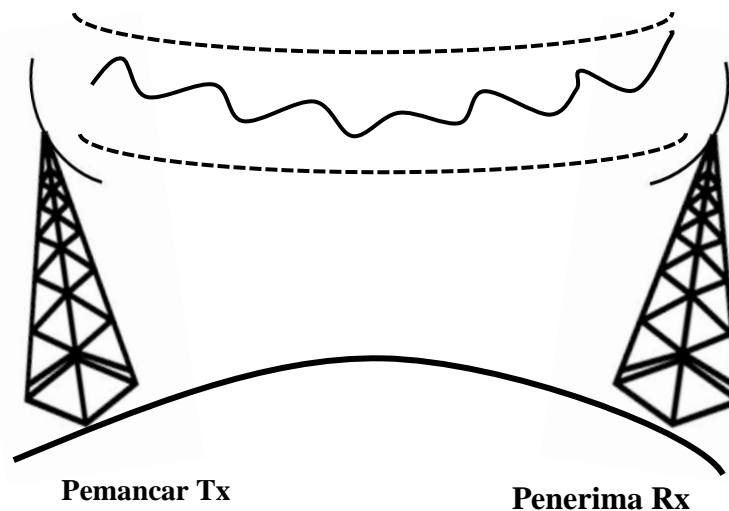
Jika $k < 4/3$ *sub refractive Atm.* Jalur dari gelombang radio terlalu dekat dengan permukaan bumi. Untuk nilai k yang terlalu rendah berhubungan dengan tingginya probabilitas gelombang radio terhalangi oleh permukaan tanah. $K > 3$ *super-refractive Atm.* Jalur dari gelombang radio terlalu jauh dari permukaan bumi dan bisa memperluas interferensi yang tidak diinginkan[8].



Gambar 2.8 Perubahan Harga K-Factor[10]

2.2.3.6 Ducting

Ducting merupakan peristiwa dimana terperangkapnya gelombang mikro dalam sebuah atmosfer *waveguide* seperti pada Gambar 2.9 adalah Peristiwa *ducting* dan benda yang berada dipermukaan bumi dan tidak hanya dipengaruhi oleh atmosfer. Misalnya batu, tumbuhan gedung, bahkan dapat dipengaruhi oleh *Ducting* biasanya terjadi pada ketinggian yang rendah dengan lapisan atmosfer yang sangat padat dan terjadi didekat atau diatas permukaan laut[7].



Gambar 2.9 Peristiwa *Ducting*[8]

2.2.3.7 Terrain effect

Selain atmosfer, kondisi daerah yang dilintasi gelombang radio juga bisa menyebabkan gelombang tersebut mengalami *multipath* atau lintasan jamak. Efek ini disebabkan oleh benda-benda yang berada dipermukaan bumi, misalnya batu, tumbuhan, gedung, bahkan dapat pula disebabkan oleh bentuk kurva bumi itu sendiri. Berikut efek yang disebabkan karena *terrain effect*[5].

1. *Reflection*

Reflection (pemantulan) adalah peristiwa ketika gelombang radio menabrak permukaan bumi, tidak dipantulkan dari suatu titik dipermukaan bumi namun suatu daerah dengan ukuran tertentu. Pantulan tersebut dapat menyebabkan berkas berubah sudut fasenya. Berkas pada gelombang mikro yang berubah sudut fasenya dapat menimbulkan penguatan atau dapat menimbulkan redaman bagi energi

berkas. Salah satu contoh pada pemantulan misalnya pemantulan tanah atau *ground reflection*[5].

2. Fresnel Zone

Daerah *Fresnel* ini sangat memegang peranan penting dalam penransmisian energi gelombang mikro, dimana bentuk daerah *Fresnel* ini berupa *ellipsoid*. Persamaan untuk mencari batas daerah *Fresnel* adalah dengan menggunakan persamaan 2.2[12].

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

dengan,

F_n = radius daerah *Fresnel* ke-n (m)

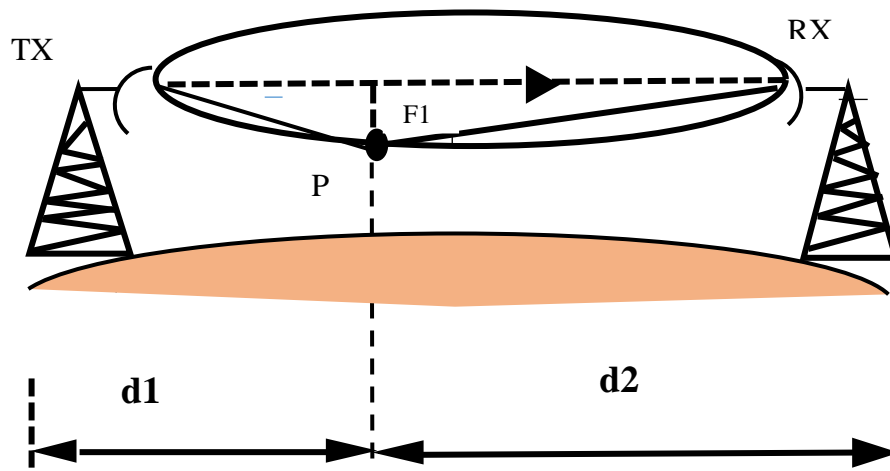
d_1 = jarak antara pemancar dengan penghalang (km)

d_2 = jarak antara penghalang dengan penerima (km)

$D = d_1 + d_2$

f = frekuensi (GHz)

n = daerah *Fresnel* ke (1,2,3 dan seterusnya)



Gambar 2.10 Daerah *Fresnel*[7]

Pada Gambar 2.10 menunjukkan dua berkas lintasan propagasi gelombang radio dari pemancar (Tx) ke pemancar (Rx) dimana berkas lintasan langsung (*direct ray*) dan berkas lintasan pantulan (*reflected ray*). Jika berkas lintasan pantulan mempunyai panjang setengah kali lebih panjang dari berkas lintasan gunung dan bumi dianggap sebagai pemantul yang sempurna dengan (koefisien pantul = -1) yang artinya pada gelombang datang dan gelombang pantul itu berdeda fase 180°.

Maka pada saat dipenerima akan mempunyai fase yang berbeda dengan gelombang langsung. Sehingga dapat mengakibatkan terjadinya intensitas antara kedua gelombang pada saat mencapai antena penerima akan saling menguatkan[7].

3. Clearance

Lintasan sinyal yang ditransmisikan pada sistem *line of sight* harus mempunyai daerah bebas hambatan yang disebut dengan *clearance*. Pada daerah *clearance* ditentukan untuk dapat menghindari pengaruh dari jalur jamak terutama karena pantulan tanah. Untuk *clearance* minimum yaitu 0,6 dari daerah *Fresnel* pertama (0,6 F1). Dalam analisa profil lintasan digunakan peta permukaan bumi datar maka diperlukan faktor koreksi terhadap suatu ketinggian pada suatu titik penghalang (*obstacle*) yang dimana nilainya sama dengan kelengkungan bumi. Nilai faktor koreksi dapat dicari dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.3[8].

$$h_{koreksi} = \frac{0,0785 \times d_1 \times d_2}{k} \quad (2.3)$$

Sehingga nilai *clearance* dengan faktor koreksi ditunjukkan pada persamaan 2.4

$$CL = 0,6F_1 + h_{koreksi} \quad (2.4)$$

dengan,

CL	= daerah <i>clearance</i> (m)
$h_{koreksi}$	= faktor koreksi ketinggian titik penghalang (m)
d1	= jarak antara pemancar dengan penghalang (m)
d2	= jarak antara penerima dengan penghalang (m)
F1	= daerah <i>Fresnel</i> pertama (m)
K	= faktor kelengkungan bumi, dimana
	$k = \frac{6}{5}$ atau $\frac{4}{3}$; daerah dingin
	$k = \frac{4}{3}$; daerah sedang
	$k = \frac{4}{3}$ atau $\frac{3}{2}$; daerah tropis

4. Pengaruh Difraksi

Pengaruh difraksi terjadi ketika gelombang radio akan menghadapi penghalang yang lebih besar lagi apabila dibandingkan dengan panjang gelombang pancarannya. Hal ini dapat menyebabkan meningkatnya pelemahan terhadap sinyal informasi yang akan dikirimkan pada gelombang radio. Untuk penggunaan frekuensi 1000 MHz, akan terdapat difraksi atau pembelokan dari suatu penghalang dengan peningkatan atenuasi digunakan sebagai fungsi penghalang. Sedangkan untuk

frekuensi 1000 MHz, dengan fungsi penghalang yang meningkat, atenuasi akan meningkat lebih signifikan sehingga dapat menyebabkan pengiriman sinyal menjadi tidak akan stabil. Untuk jumlah rugi-rugi yang akan terjadi tergantung kepada area dari pancaran yang terhalang dalam hubungannya pada suatu area frontal total dari energi yang terpropagasi dan sifat difraksi penghalang[8].

2.2.3.8 Fading

Fading merupakan fenomena fluktuasi daya sinyal terima akibat adanya proses dalam propagasi gelombang radio yang dapat mengakibatkan turunnya daya terima dan rusaknya kualitas transmisi[10]. Kebanyakan definisi dasar dari *fading* yang mengacu kepada 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* dapat disebabkan oleh suatu keadaan bumi tertentu atau dengan kondisi cuaca buruk, sehingga menyebabkan komunikasi antar pengirim dan penerima terganggu. Secara umum, terdapat dua kategori utama dari *fading*, yaitu *flat fading* dan *frequency selective fading*[8].

1. Flat fading

Fenomena *Flat fading* dapat menyebabkan pembiasan atau pembelokan pancaran gelombang. Pancaran gelombang mikro dapat berubah dikarenakan oleh indeks pembiasan (konstanta dielektrik) di udara, $k = 3/4$ yang merupakan kondisi atmosfer standar, dimana pancaran gelombang mikro memiliki seperempat dari lengkungan bumi yang sesungguhnya. Ketika kerapatan udara merubah indeks bias atmosfer, maka pancaran yang membelok keatas atau kebawah tergantung kepada *k-factor*. Saat *k-factor* lebih kecil dari $3/4$ maka pancaran akan dibelokan ke atas. Sedangkan apabila kondisi *k-factor* lebih dari $3/4$ maka pancaran akan dibelokan kebawah. Untuk penurunan kuat dari sinyal pada penerima, itu tergantung kepada seberapa jauh pembelokan terjadi dari standar yang ditoleransikan[12].

2. Frequency Selective Fading

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

a. *Multipath Fading*

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[13].

b. *Power fading*

Power fading merupakan pergeseran pancaran dari antenna penerima. *Power fading* diakibatkan oleh beberapa hal, yaitu pertama gangguan dari permukaan bumi atau lapisan atmosfer terhadap jalur propagasi. Penyebab *Power fading* yang kedua yaitu *decoupling* antenna yang dikarenakan berbagai indeks *gradient* pembelokan (nilai *k-factor*), pengaruh cuaca dan salah satu terminal antenna yang berada pada formasi *ducting*, yang terakhir pengaruh *Power fading* adalah pantulan terpisah yang dikarenakan oleh lapisan atmosfer yang lebih tinggi telah mengalami interposisi pada jalur pancaran gelombang radio[8].

2.2.4 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[15].

2.2.5 Penggunaan Pita Frekuensi Radio Microwave

Pita frekuensi merupakan bagian dari spektrum frekuensi radio yang mempunyai lebar tertentu. Penggunaan pita frekuensi harus tergantung pada jarak. Oleh sebab itu penggunaan pita frekuensi radio *microwave link point to point* telah diatur dalam Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2015 tentang Perencanaan Penggunaan Pita Frekuensi Radio *Microwave Link Titik ke Titik (Point to Point)*. Adapun tabel referensi jarak antar stasiun radio *microwave link titik ke titik (point to point)* adalah seperti pada Tabel 2.1 [16].

Tabel 2.1 Referensi jarak antar stasiun radio *microwave* [16].

No.	Pita Frekuensi Radio (GHz)	Jarak (Km)
1	4/6	>20
2	7/8	>8
3	11/13/15	>2,5
4	18/23/28	>1
5	32/38/70/80	>0

2.2.6 Perhitungan *Link Budget Microwave*

Adapun parameter yang digunakan dalam melakukan perhitungan *link Budget microwave*, yaitu sebagai berikut:

1. *Gain* antena

Antena merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk mengirimkan sinyal informasi yang berasal dari pemancar maupun penerima dan antena juga berfungsi untuk mengubah sinyal informasi menjadi sebuah gelombang elektromagnetik. Selain itu antena juga berfungsi sebagai penguat daya informasi yang dikirimkan dan dapat mengubah gelombang RF menjadi gelombang ruang bebas dan sebaliknya[9].

Gain antena berfungsi untuk mengukur kemampuan antena dalam memancarkan gelombang pada arah yang dituju. Untuk jenis antena parabola efisiensi tidak mencapai 100 % karena ada beberapa daya yang hilang oleh *spillover* yg terdapat pada tepi antena ketika dipenaruhi oleh gelombang tetap pada pusatnya. Secara komersial, efisiensi pada antena parabola antara 50 % hingga 70%. Besarnya nilai *gain* antena dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.5[7].

$$G = 20 \log f + 20 \log d + 10 \log \eta + 20,4 \quad (2.5)$$

dengan,

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

2. *Free Space Loss* (FSL)

Pada frekuensi diatas 10 GHz, *pathloss* dianggap sebagai *free space loss* (FSL), *free space loss* merupakan fungsi frekuensi dan jarak. FSL adalah redaman yang ada sepanjang ruang antar antena pemancar dan penerima. Pada ruang ini tidak

dijinkan adanya penghalang, karena transmisinya sendiri berkarakter LOS[12]. Untuk dapat menemukan nilai dari *Free Space Los*, dapat menggunakan persamaan 2.6[8].

$$FSL = 92,45 + 20 \log D(Km) + 20 \log f(GHz) \quad (2.6)$$

dengan,

$$\begin{aligned} FSL &= \text{Free Space Loss (dB)} \\ D &= \text{panjang lintasan (km)} \\ f &= \text{frekuensi kerja yang digunakan (GHz)} \end{aligned}$$

Apabila frekuensi yang digunakan dalam satuan MHz, maka persamaan yang digunakan untuk mencari FSL adalah persamaan 2.7[8].

$$FSL = 32,45 + 20 \log (fMHz) + 20 \log D(Km) \quad (2.7)$$

dengan,

$$\begin{aligned} FSL &= \text{Free Space Loss (dB)} \\ D &= \text{panjang lintasan (km)} \\ f &= \text{frekuensi kerja yang digunakan (MHz)} \end{aligned}$$

3. Transmission loss

Transmission loss adalah redaman yang terjadi pada kedua sisi, yaitu *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter loss* didapatkan dari penjumlahan antara *circulator branching loss*, *connector loss*, *transmission line loss*. Untuk sisi *receiver* pun sama, namun dengan penambahan *atmosphere loss* atau dapat dituliskan dengan persamaan 2.8 dan 2.9 [19].

$$L_{Tx} = \text{Circulator Branching Loss(dB)} + \text{Connector Loss(dB)} + \text{Transmission Line Loss(dB)} \quad (2.8)$$

$$L_{Rx} = \text{Circulator Branching Loss (dB)} + \text{Connector Loss(dB)} + \text{Transmission Line Loss(dB)} + \text{Atmospheric Loss (dB)} \quad (2.9)$$

4. EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*)

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) merupakan daya maksimum gelombang sinyal mikro yang keluar dari antena pemancar atau untuk menunjukkan nilai efektif daya yang dipancarkan antena pemancar, dalam arti daya tersebut sudah mengalami penguatan. EIRP dapat diperoleh dengan cara menjumlahkan daya *output* dari sisi antena pemancar, dengan *gain* antena lalu dikurangkan oleh *loss* atau dapat dituliskan dengan persamaan 2.10 [8].

$$EIRP = P_{Tx} + G_{ant} - L_{Tx} \quad (2.10)$$

dengan,

$$\begin{aligned} EIRP &= \text{Effective Isotropic Radiated Power (dBm)} \\ P_{Tx} &= \text{Daya pancar (dBm)} \\ G_{ant} &= \text{Gain antena (dB)} \\ L_{Tx} &= \text{Transmitter loss (dB)}. \end{aligned}$$

5. Isotropic Received Level (IRL)

Isotropic Received Level (IRL) merupakan nilai level daya isotropik yang diterima oleh antena stasiun penerima. Nilai IRL ini bukan nilai daya yang diterima oleh sistem atau rangkain *decoding*, namun pada besaran tersebut merupakan nilai level daya terima antena stasiun penerima. Untuk mendapatkan nilai daya terima pada antena stasiun penerima, maka nilai IRL didapatkan terlebih dahulu [12]. Besar dari nilai IRL dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan 2.11 [8].

$$IRL = EIRP - FSL \quad (2.11)$$

dengan,

$$\begin{aligned} IRL &= \text{Isotropic Received Level (dBm)} \\ EIRP &= \text{Effective Isotropic Radiated Power (dBm)} \\ FSL &= \text{Free Space Loss (dB)}. \end{aligned}$$

6. Received Signal Level (RSL)

Received Signal Level (RSL) adalah level daya yang diterima oleh piranti pengelola *decoding*. Nilai RSL dapat dipengaruhi oleh rugi-rugi jalur pada sisi antena penerima dan *gain* antena penerima [12]. Untuk dapat menemukan besar dari nilai RSL dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.12 [8]

$$RSL = IRL + G_{Rx} - L_{Rx} \quad (2.12)$$

dengan,

$$\begin{aligned} RSL &= \text{Received Signal Level (dBm)} \\ IRL &= \text{Isotropic Received Level (dBm)} \\ G_{Rx} &= \text{Gain antena (dB)} \\ L_{Rx} &= \text{Receiver Loss (dB)} \end{aligned}$$

Tolak Ukur Sistem Komunikasi

Dalam sistem komunikasi terdapat tolak ukur untuk daya terima yang digunakan, dimana tolak ukur yang digunakan mengacu pada ketentuan menurut *International Telecommunication Union (ITU)*, bahwa [17] :

Receiver (Pr) > -50 dBm : Sangat baik

Receiver (Pr) < -50 s/d -88 dBm : Cukup baik

Receiver (Pr) < -88 dBm : Buruk/tidak layak operasi

7. Hoploss

Hoploss adalah perbedaan atau selisih antara *gain* dan *loss* pada *link* gelombang mikro. *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)[9]. Maka untuk besarnya *hoploss* dinyatakan dengan persamaan 2.13 [8].

$$Lh = FSL + LTx + LRx + LAtm - (GTx + GRx) \quad (2.13)$$

dengan,

Lh = *Hoploss* (dB)
 FSL = *Free Space Loss* (dB)
 LTx = *Transmitter Loss* (dB)
 LRx = *Receive Loss* (dB)
 $LAtm$ = *Atmosphere Loss* (dB)
 GTx = *Gain Transmitt Antena* (dBi)
 GRx = *Gain Receive Antena* (dBi).

8. Fading Margin (FM)

Untuk mengatasi pengaruh *fading*, diperlukan cadangan daya untuk mempertahankan level daya terima agar masih di atas level batas ambang (*threshold*). Cadangan daya ini disebut dengan *fading margin*. Nilai *fading margin* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.14. [9].

$$FM = RSL - RxThreshold \quad (2.14)$$

dengan,

RSL = level daya yang diterima oleh perangkat (dBm)
 $RxTH$ = level daya minimum yang diterima (dBm)
 FM = cadangan daya (dB)

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 2.15 [4].

$$FM_{flat} = -10\log(10^{\frac{-FM_{thermal}}{10}} + 10^{\frac{-FM_{ac}}{10}} + 10^{\frac{-FM_{ex}}{10}}) \quad (2.15)$$

dengan,

$$\begin{aligned} FM_{thermal} &= \text{Thermal fade margin (dB)} \\ FM_{ac} &= \text{Adjacent channel interference fade margin (dB)} \\ FM_{ex} &= \text{External interference fade margin (dBm)} \end{aligned}$$

Setelah *flat fade margin* diketahui, selanjutnya dapat dihitung *effective fade margin*. *Fade margin* ini dipengaruhi oleh *flat fade margin*, *fade occurrence factor*, dan *dispersive fade margin*. Sehingga didapatkan perhitungan seperti pada persamaan 2.16 [4].

$$FM_{effective} = -10\log(10^{\frac{-FM_{flat}}{10}} + R \times 10^{\frac{-FM_{dispersive}}{10}}) \quad (2.16)$$

dengan,

$$\begin{aligned} FM_{effective} &= \text{Effective fade margin (dB)} \\ R &= \text{Fade occurrence factor (dB)} \\ FM_{dispersive} &= \text{External interference fade margin (dBm)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R = 0,5 \text{ sampai } 1 & ; \text{ untuk kondisi propagasi baik} \\ R = 3 & ; \text{ untuk kondisi propagasi rata-rata} \\ R = 5 \text{ sampai } 7 & ; \text{ untuk kondisi propagasi sulit} \\ R = 9 & ; \text{ untuk kondisi propagasi sangat sulit} \end{aligned}$$

9. C Factor

Nilai *C factor* dipengaruhi oleh *climatic factor* dan *terrain roughness*. Nilai *C factor* digunakan dalam perhitungan *unavailability* pada persamaan 2.17 [8].

$$C = cf_x \left(\frac{s}{15,2} \right) - 1,3 \quad (2.17)$$

dengan,

$$\begin{aligned} Cf &= \text{Climatic factor} \\ Cf = 0,5 & ; \text{ untuk lokasi pegunungan dan beriklim kering} \\ Cf = 1 & ; \text{ untuk daerah dengan ketinggian rata-rata} \\ Cf = 2 & ; \text{ untuk daerah pesisir laut dan di atas perairan} \end{aligned}$$

$$S = \textit{Terrain Roughness (m)}$$

10. Availability

Availability merupakan ukuran kehandalam sistem. Secara idealnya, semua sistem harus memiliki ukuran *availability* 100%. Namun hal tersebut tidak mungkin dipenuhi karena dalam sistem pasti terdapat kegagalan sistem dalam memberikan pelayanan atau sering disebut dengan ketidakhandalan (*unavailability*). Istilah lain dari *availability* adalah *reliability* yaitu kemampuan sistem dalam memberikan pelayanan. Selain *availability* ada yang dinamakan dengan *unavailability* atau sering disebut dengan *outage time* yang artinya adalah kegagalan sistem dalam memberikan pelayanan. 99,99000 – 99,99999 % [20]. Adapun persamaan untuk mendapatkan nilai *availability* adalah menggunakan persamaan 2.18 [4].

$$\textit{Availability} = (1 - P) \times 100\% \quad (2.18)$$

Namun untuk dapat menghitung nilai *availability* terlebih dahulu menghitung *unavailability* menggunakan persamaan 2.19 [4].

$$P = 6 \times 10^{-7} \times C \times f \times D^3 \times 10^{-FM_{composite}/10} \quad (2.19)$$

dengan,

$$\begin{aligned} P &= \textit{unavailability (ketidakhandalan) sistem} \\ C &= \textit{C factor} \\ f &= \textit{frekuensi (Ghz)} \\ D &= \textit{panjang lintasan (km)} \\ FM_{composite} &= \textit{effective fading margin (dB)} \end{aligned}$$

Adapun curah hujan akan mempengaruhi *availability* jaringan yang dihasilkan. Curah hujan disetiap 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. Ditinjau dari rekomendasi tersebut, Indonesia dikategorikan ke dalam zona P yang memiliki curah hujan termasuk besar, termasuk Negara tropis lainnya[14].

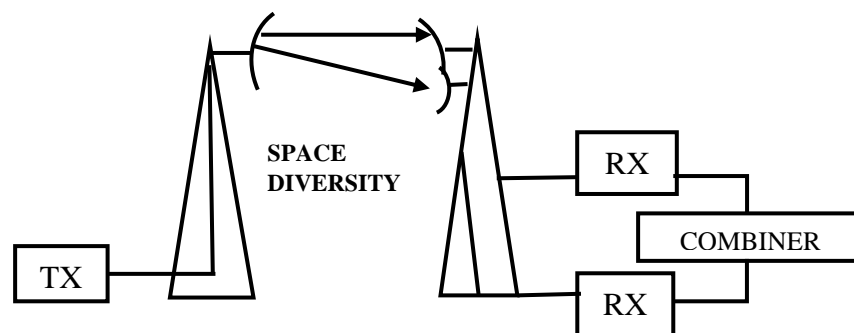
2.2.7 Penanggualangan *Fading*

Terdapat banyak pengaruh redaman dan *fading* yang terdapat pada berkas gelombang mikro, oleh karena itu perlu diberikan suatu solusi untuk dapat mengatasi yaitu dengan cara peragaman (*diversity*). *Diversity* merupakan 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 dua antena atau lebih pada sistem secara bersamaan untuk meningkatkan kualitas sinyal yang diterima. Contoh teknik *diversity* yaitu *space diversity* dan *frequency diversity*[10]. Teknik ini dapat dijelaskan sebagai peralatan yang bersifat *redundancy* yang artinya jalur jaringan *alternative* atau cadangan yang digunakan untuk meningkatkan ketersediaan jaringan sehingga dalam suatu jaringan jika terdapat *link* yang terputus maka untuk jalur tersebut masih bisa terhubung tanpa mempengaruhi konektivitas pada perangkat jalur tersebut[2].

2.2.8 Space Diversity

Penerima dari radio gelombang mikro menerima sinyal dari dua atau lebih antena yang terpisah secara vertikal atau dapat menggunakan beberapa *receiver* yang umumnya terdiri dari dua sistem yang antenanya diletakkan terpisah secara vertikal dan dalam jarak beberapa panjang gelombang (λ) satu sama lain. Oleh karena dimensinya adalah jarak, maka dapat dikatakan sebagai teknik *space diversity* atau peragaman ruang[8]. Setelah sinyal diterima dari masing-masing antena kemudian secara simultan akan dihubungkan ke *diversity combiner* untuk dapat menggabungkan sinyal yang diterima oleh antena penerima. Pada Gambar 2.11 merupakan Konfigurasi Sistem *Space Diversity*[8].



Gambar 2.11 Sistem *Space Diversity*[2]

Untuk mendapatkan mendapatkan operasi yang optimal maka spasi antara kedua antena yang terpisah harus diatur sedemikian rupa. Untuk menerima sebuah sinyal informasi digunakan 2 atau lebih sistem antena yang dipasang secara vertikal dan horizontal dengan antena utama dan antena *space diversity* diberi spasi

setidaknya antara 70λ - 200λ terhadap antena utama[4]. Untuk mencari nilai panjang gelombang (λ) adalah dengan persamaan 2.20 [7].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.20)$$

dengan,

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

Sistem transmisi menggunakan teknik *space diversity* untuk mengatasi *fading* akan diperoleh faktor perbaikan dengan persamaan 2.21 [18].

$$I_{SD} = 1,2 \times 10^{-3} \times \frac{f}{D} \times S^2 \times v^2 \times 10^{A/10} \quad (2.21)$$

dengan,

I_{sd} = faktor perbaikan *space diversity*
 S = jarak antar antena (m)
 v = selisih RSL (mV)
 D = panjang lintasan (km)
 f = frekuensi (GHz)
 A = *Effective Fading Margin* (dB)

Setelah mendapat perbaikan, *fading margin* dengan *space diversity* menggunakan persamaan 2.22 sebagai berikut [18].

$$PSD = \frac{P}{I_{SD}} \quad (2.22)$$

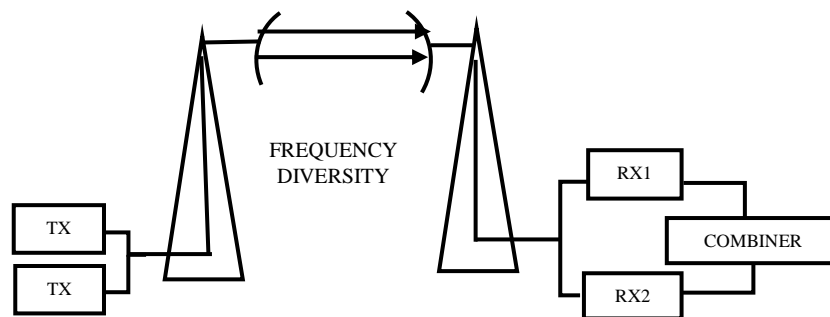
dengan,

P = *unavailability* (ketidakhandalan) tanpa *space diversity*
 PSD = *unavailability* (ketidakhandalan) *space diversity*

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[4].

2.2.9 Frequency Diversity

Frequency diversity merupakan sistem yang dapat mengoperasikan 2 frekuensi gelombang mikro pada satu antenna baik itu dipancarkan maupun dipenerima. Informasi yang dikirimkan oleh ke 2 *transmitter* yang dapat beroperasi pada frekuensi yang berbeda kemudian akan diteruskan ke satu antenna pemancar. Perbedaan frekuensi (Δf) antara kedua frekuensi cukup 2% dan akan lebih baik jika berbeda 6% untuk menghindari terjadinya interferensi yang sangat besar. Pada antenna penerima akan dikumpulkan informasi dan akan memisahkannya menjadi 2 sinyal. Pada Gambar 2.12 tertampil Sistem *frequency diversity*[8].



Gambar 2.12 Sistem *Frequency Diversity*[2]

Apabila menggunakan teknik *frekuensi diversity*, maka diperoleh faktor perbaikan yang ditunjukkan pada persamaan 2.23 [8]

$$I_{fd} = 10 \log \Delta f - 20 \log f - 10 \log D + FM \quad (2.23)$$

Setelah sistem mendapatkan perbaikan, maka didapatkan persamaan *fading margin* dengan *frekuensi diversity* seperti pada persamaan 2.22 [8]

$$FM = 20 \log D + 5 \log(a \times b \times 2.5 \times) + 15 \log f - 5 \log U n A v_{path} - 5 \log \Delta f - 29.5 \quad (2.24)$$

dengan,

FM = *Fading Margin* (dB)

D = Panjang Lintasan (Km)

f = Frekuensi kerja (GHz)

a : faktor kekasaran bumi

a : 4; untuk daerah halus, laut, danau, dan gurun

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

a: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

I_{fd} = Faktor perbaikan *frequency diversity*

Δf = Perbedaan frekuensi yang digunakan dalam sistem transmisi yang menggunakan teknik *frekuensi diversity*

$UnAv_{path}$ = kehandalan system (*Unavailability*)

2.3 PATHLOSS 5.0

Untuk mempermudah perhitungan jalur komunikasi radio dapat digunakan beberapa perangkat lunak yang sudah biasa digunakan. Salah satu perangkat lunak yang sering digunakan adalah *Pathloss 5.0*. Perangkat tersebut merupakan perangkat lunak yang diakui secara internasional untuk menghitung *link budget* jalur komunikasi radio maupun UHF. Perangkat lunak ini diterbitkan oleh *contract telecommunication engineering* dari *British Collumbia, Canada* yang telah diakui oleh ITU sebagai *software* untuk menghitung *link budget*. Untuk dapat menghitung *link budget* tersebut dengan menggunakan *pathloss 5.0* ada beberapa file penunjang yang harus digunakan. Beberapa *file* penunjang tersebut adalah *base* data hujan, informasi perangkat antena, radio dan pengkalanalan frekuensi. Hal yang tak kalah pentingnya adalah peta digital seperti SRTM, DEM, geotiff dan lain-lain. Akan tetapi untuk peta digital ini dapat digantikan dengan memberikan informasi topografi daerah secara manual yaitu peninjauan lapangan maupun pembacaan peta kontur yang tersedia[11].