

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian [2] pada tahun 2017 yang berjudul “Pengaruh *Space Diversity* Pada Jaringan *Microwave* Lintas Laut Dan Lintas Pegunungan” membahas mengenai keandalan sistem pada jaringan *microwave*. Dalam penelitian ini, akan dibuat perancangan jaringan *microwave*, di mana jaringannya berada pada lokasi yang berbeda dan masing-masing terdiri dari 2 *link hop*. Namun kedua jaringan tersebut memiliki frekuensi dan perangkat yang sama. Lokasi jaringan pertama berada di atas permukaan laut dan lokasi jaringan kedua berada di pegunungan. Kemudian jaringan tersebut akan di optimasi menggunakan teknik *space diversity*. Dengan menggunakan teknik *space diversity*, maka akan terdapat penambahan antena *diversity* yang fungsinya untuk menangkap pancaran sinyal dari sisi transmiter, sehingga daya sinyal yang diterima akan lebih besar. Semakin besar daya sinyal yang diterima, maka *availability* akan meningkat. Hal ini telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya bahwa dengan teknik *space diversity*, mampu meningkatkan nilai *availability*.

Penelitian [5] di tahun 2017 yang berjudul, “Analisis optimasi *Space Diversity* pada *Link Microwave* Menggunakan *ITU Model*”, membahas tentang penggunaan *space diversity* menggunakan *ITU models*, *fading* dapat berkurang dapat dilihat pada *availability* meningkat dari 99,96949% menjadi 99,98767%. *Diversity Receive Signal* tertinggi didapatkan pada 200λ , dengan nilai *Diversity Receive Signal* adalah -83,94 dBm pada *Site* Cibatu Tiga dan *Site* Dampyak Jonggol.

Berdasarkan penelitian [6] di tahun 2019 yang berjudul “Perbandingan Penggunaan Teknik *Diversity* pada Jaringan Gelombang Mikro di Lingkungan Danau” simulasi perancangan pada penelitian ini memakai *Pathloss 5.0*. Pada penelitian ini menggunakan 2 *link site* yaitu *Site* Bintang serta *link Site* Mongal menggunakan Teknik *space diversity* serta *frequency diversity* telah memenuhi standar nilai *availability*. Hasil penelitian ini nilai *availability* yang paling baik

mencapai 99,9977% menggunakan teknik *space diversity* dengan jeda maksimumnya 2,6 meter.

Pada penelitian [7] pada tahun 2018 yang berjudul “Analisis Perbandingan Interferensi *Link* Gelombang Mikro pada Daerah Urban dan Rural Menggunakan *Software Pathloss 5.0*” Penelitian ini dilakukan pada daerah urban yaitu pada *link hop* Pluit Karang Barat - Kuningan Barat - Condet serta pada jaringan yang berada di daerah rural yaitu pada *link hop* Cibadak – Cibolangkaler -Sukabumi. Interferensi yang terjadi menyebabkan penurunan nilai *availability*. Ada beberapa metode yang digunakan untuk menghilangkan kasus interferensi yaitu dengan mengganti *sub band*, mengubah polarisasi antena, serta menambahkan *power* pada jaringan. Setelah dilakukan optimasi dengan mengganti *sub band*, maka interferensi yang terjadi dapat dihilangkan dan besarnya peningkatan *availability* setelah optimasi bernilai sama dengan besarnya penurunan.

Di penelitian [8] pada tahun 2020 yang berjudul “Analisa Perbandingan *Hybrid Diversity* dan *Space Diversity Link Microwave* Lintas Pulau Terhadap Pengaruh *Multipath*” Teknik *Space Diversity* menggunakan antena *spacing* 70λ , 135λ dan 200λ . Pada Teknik *Hybrid Diversity* menggunakan *frequency spacing* 150 MHz, 300 MHz dan 450 MHz dan antena *spacing* 70λ , 135λ dan 200λ . Beberapa optimasi tersebut akan dikombinasikan pada Teknik *Hybrid Diversity* dan *Space Diversity*, untuk mengetahui optimasi manakah yang lebih baik untuk menangani *multipath fading* dan mendapatkan *availability* yang baik.

2.2 DASAR TEORI

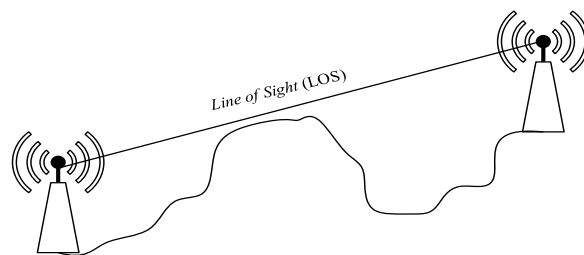
2.2.1 Sistem Komunikasi Gelombang *Microwave*

Pada saat mengirimkan suatu sistem transmisi dari satu lokasi ke lokasi lain dapat digunakan beberapa media, baik media fisik atau yang biasa dikenal dengan media kabel, maupun media non fisik yang dikenal dengan media nirkabel. *Wireline* adalah teknologi yang menggunakan kabel tembaga atau serat optik untuk mengirimkan data. Sedangkan jaringan nirkabel menggunakan udara terbuka seperti gelombang mikro untuk mengirimkan data. Sistem komunikasi gelombang mikro (*microwave*) adalah sistem untuk mentransmisikan informasi menggunakan gelombang radio. Gelombang radio dikirim atau dipancarkan di ruang bebas dan

diterima oleh antenna. Tujuan dari komunikasi gelombang mikro adalah untuk mengirimkan informasi dari satu tempat ke tempat lain tanpa gangguan, informasi yang dikirim harus dapat diterima dengan jelas. Menurut rekomendasi CCIR (*Commitee Consultative International on Radio*), frekuensi yang digunakan dalam sistem transmisi gelombang mikro adalah dari 2 GHz hingga 24 GHz [7]. Secara umum sistem komunikasi gelombang mikro dapat dibagi menjadi tiga, yaitu [8]:

- a. Gelombang-mikro terestrial.
- b. Gelombang-mikro satelit.
- c. Gelombang-mikro komunikasi bergerak.

Sistem komunikasi gelombang mikro dapat dibangun lebih cepat dan lebih mudah, bahkan di area yang sulit. Sistem komunikasi gelombang mikro juga relatif lebih murah karena jika menggunakan kabel dalam radius beberapa puluh kilometer akan menghabiskan banyak biaya dan memerlukan instalasi yang cukup rumit. Selama transmisi dari antenna pengirim ke antenna penerima, gelombang radio berjalan melalui jalur yang berbeda dengan beberapa mekanisme propagasi dasar [9]. Mekanisme propagasi adalah *line of sight* (LOS). *Line of sight* adalah keadaan lintasan gelombang radio dalam garis pandang. Artinya, sepanjang jalur gelombang mikro antara antenna pengirim dan antenna penerima, tidak ada halangan pada transmisi gelombang mikro, pembangkitan *link* gelombang mikro garis pandang pada Gambar 2.1 [11] dapat dilihat.



Gambar 2. 1 Kondisi *Line of Sight* Sistem Komunikasi *Microwave* [11].

Pemancar, penerima, dan stasiun relai ditempatkan tinggi pada tiang antenna yang tinggi, sehingga saluran transmisi dapat mencakup area LOS maksimum, sehingga menerima jalur sinyal langsung. Transmisi gelombang mikro LOS menggunakan gelombang radio atau RF (*radio frequency*), yang juga merupakan gelombang elektromagnetik. Komunikasi gelombang mikro dapat digunakan untuk

komunikasi satelit serta komunikasi terestrial yang berjalan melalui atmosfer, sehingga efek atmosfer sangat mempengaruhi energi dan pancaran. Redaman dan redaman balok ini disebut redaman [11].

Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja suatu sistem komunikasi gelombang mikro, antara lain sebagai berikut:

2.2.2 Antena

Antena adalah perangkat transisi antara saluran transmisi dan ruang hampa udara dan sebaliknya, perangkat yang mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik dan merambat di udara, atau sebaliknya, menerima sinyal gelombang elektromagnetik di udara bebas dan mengubahnya menjadi sinyal gelombang elektromagnetik. sinyal. listrik. Berdasarkan definisi tersebut, antena memiliki tiga fungsi utama, yaitu [11]:

- 1) Antena bertindak sebagai adaptor konverter. Dikatakan konverter karena antena mengubah bentuk sinyal, yaitu dari sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik atau sebaliknya.
- 2) Antena bertindak sebagai *heat sink* radiator. Dikatakan radiator karena antena memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara bebas di sekitarnya. Jika sebaliknya (antena menerima atau menangkap energi radiasi dari gelombang elektromagnetik di udara bebas), maka fungsi tersebut dikatakan sebagai re-radiator.
- 3) Antena bertindak sebagai pencocokan impedansi (penyesuaian impedansi). Ini disebut pencocokan impedansi karena antena selalu menyesuaikan impedansi sistem. Sistem yang dimaksud adalah open air dan saluran transmisi. Ketika antena bekerja atau beroperasi, antena akan menyesuaikan impedansi karakteristik saluran dengan impedansi karakteristik udara.

a. *Gain*

Penguatan (*directional gain*) adalah parameter antena yang mengukur kemampuan antena untuk mengarahkan pancaran sinyalnya atau menerima sinyal dari arah tertentu. Dengan kata lain, *gain* digunakan untuk mengukur efisiensi antena. Keuntungan diukur dalam desibel. Besarnya nilai gain dapat dipengaruhi oleh frekuensi kerja, diameter antena dan efisiensi antena [11].

b. *Bandwidth* Antena

Bandwidth antena adalah sudut pancaran antena di mana daya dibagi dua (-3 dB) dari daya maksimum yang diterima atau dapat dipahami sebagai sudut di *lobe* utama (*main lobe*) dari pola pancaran antena yang terbentuk di antara dua titik. 3 dB di bawah puncak *lobe* utama, di mana satu titik berada di sebelah kiri *lobe* utama dan titik lainnya di sebelah kanan *lobe* utama [11].

c. Antena *Noise*

Kebisingan adalah sinyal yang tidak diinginkan dalam suatu sistem informasi atau komunikasi. *Noise* sinyal dapat mempengaruhi kualitas penerimaan sinyal dan reproduksi sinyal yang ditransmisikan. Kinerja sistem komunikasi diukur berdasarkan kesamaan antara sinyal yang diterima dan sinyal yang ditransmisikan, dan tidak tergantung pada penerimaan faktor lain. Umumnya kehadirannya dalam sistem komunikasi yang berasal dari dalam sistem disebut *internal noise*, dan yang berasal dari luar sistem disebut *external noise* [11].

Kebisingan termal disebabkan oleh arus listrik, ketika elektron bertabrakan dengan molekul dalam konduktor. Jika suhu konduktor meningkat, kebisingan juga meningkat karena molekul bergerak lebih cepat dan menyebabkan lebih banyak tumbukan. Amplitudo kebisingan termal tidak terkait dengan frekuensi tertentu sehingga kebisingan ini dapat terjadi di seluruh rentang frekuensi. Daya kebisingan yang dihasilkan sebanding dengan suhu konduktor, yang dinyatakan oleh persamaan (2.1) [11].

$$P_n = kTB \quad (2.1)$$

P_n = daya *thermal noise* (W)

k = konstanta *Boltzman* = $1,38 \times 10^{-23} \text{ J}/(^{\circ}\text{K})$

T = temperatur absolut (derajat kelvin = $^{\circ}\text{K}$), yaitu 273°

B = lebar bidang frekuensi/*bandwidth*(Hz)

2.2.3 Pengaruh Atmosfer

Gejala yang ditimbulkan oleh cuaca dan iklim seperti suhu udara, kelembapan, dan angin merupakan efek yang terjadi di atmosfer bumi. Curah hujan menyebabkan redaman gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan. Semakin

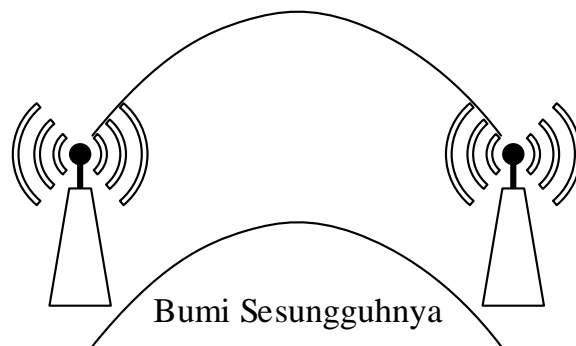
deras hujan, semakin besar redamannya. akibat perubahan pengaruh atmosfer antara lain sebagai berikut [11]:

1) *Absorbtion* (Penyerapan)

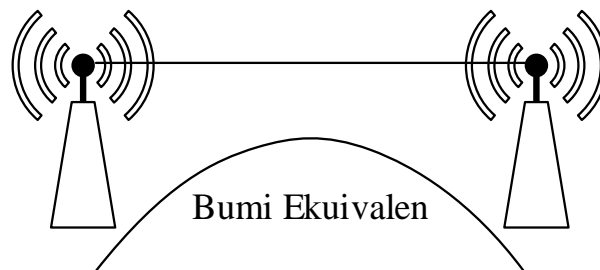
Penyerapan ini karena oksigen atmosfer, hujan dan kabut. Hal ini menyebabkan pelemahan energi propagasi. Oksigen atmosfer menyerap sebagian energi dan gelombang mikro, tetapi redamannya sangat kecil pengaruhnya [11].

2) *Refraction* (Pembiasan)

Pembiasan adalah pembelokan atau pembengkokan gelombang radio akibat perubahan sifat atmosfer (akibat perubahan suhu, densitas, kelembaban). Perubahan densitas atmosfer mempengaruhi kecepatan rambat gelombang. Lintasan gelombang radio memang melengkung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, sehingga untuk memudahkan analisis, lintasan gelombang radio dikendalikan oleh jari-jari bumi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 [11].



Gambar 2.2 *Microwave Path Real Earth* [11].



Gambar 2.3 *Microwave Path Equivalent Earth* [11].

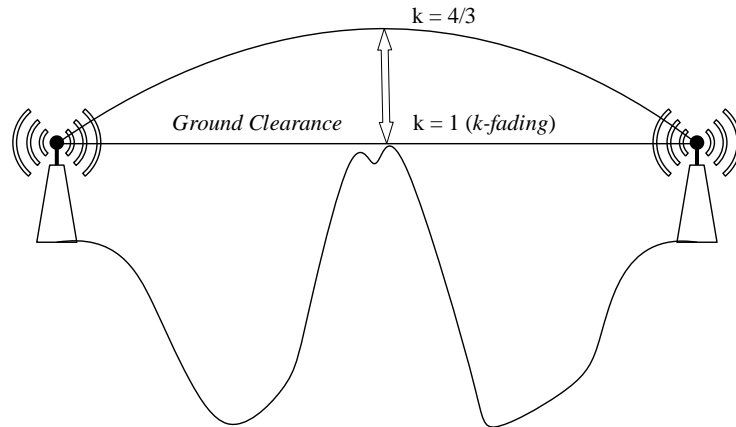
Perubahan kelengkungan bumi yang disebabkan oleh pembiasan dinyatakan sebagai faktor k , yang didefinisikan sebagai rasio jari-jari ekuivalen bumi dengan jari-jari bumi yang sebenarnya, seperti pada Persamaan (2.2) [11]:

$$k = \frac{r}{r_0} \quad (2.2)$$

$k = k$ – faktor

$r =$ radius bumi ekuivalen

$r_0 =$ radius bumi sesungguhnya



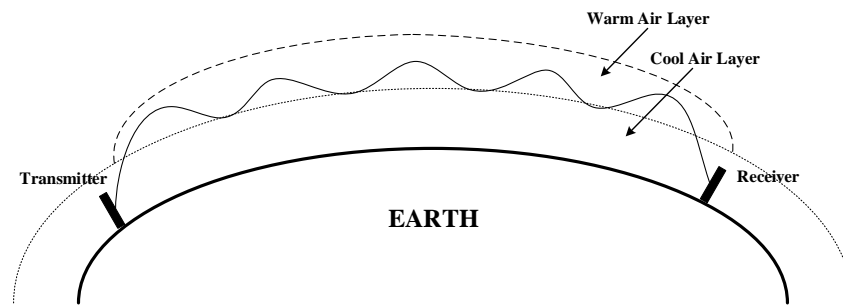
Gambar 2.4 Perubahan Harga K-Faktor [11].

Ketika kondisi atmosfer normal, dalam perhitungan radius ekuivalen bumi, $k = 4/3$ sering digunakan. Dengan menggunakan $k = 4/3$ dan mengalikan jari-jari bumi yang sebenarnya dengan nilai k , dan kemudian memetakan jalur gelombang, dimungkinkan untuk mengubah kelengkungan bumi sehingga garis radio dapat diplot terhadap garis lurus. Hasil perubahan kelengkungan bumi terhadap jari-jari bumi setara dengan nilai $k = 4/3$, yang disebut profil jalur atau $k = 4/3$ profil jalur. Terdapat beberapa kondisi k -faktor lainnya, dengan variasi nilai harga k -faktor, seperti terlihat pada Gambar 2.4 [11].

Jika $k < 4/3$ Sub-refractive Atm, jalur dari gelombang radio terlalu dekat dengan permukaan bumi. Nilai k yang terlalu rendah berhubungan dengan tingginya probabilitas gelombang radio terhalangi oleh permukaan tanah. Pada kondisi $k > 4/3$ Super-refractive Atm, jalur dari gelombang radio terlalu jauh dari permukaan bumi dan dapat memperluas interferensi yang tidak diinginkan [11].

3) *Ducting* (Jebakan atmosfer)

Kanalisisasi adalah peristiwa di mana gelombang mikro terperangkap dalam pandu gelombang atmosfer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 [11].



Gambar 2.5 Peristiwa *Ducting* [11].

Peristiwa penyaluran ini biasanya terjadi di dataran rendah dengan atmosfer yang sangat rapat dan terjadi di dekat atau di atas permukaan air.

2.2.4 Pengaruh Permukaan Bumi

Efek tanah (*terrain effect*) adalah efek yang disebabkan oleh adanya pagar atau penghalang yang menghalangi bidang pandang komunikasi radio gelombang mikro. Hasilnya adalah:

1) *Reflection* (Pemantulan)

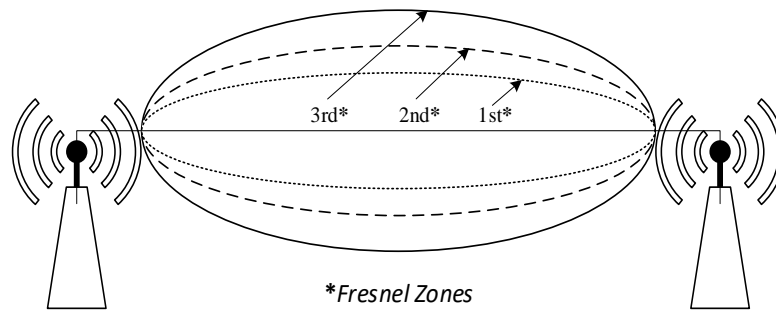
Karena pemantulan tidak langsung menyebabkan berkas mengubah sudut fasa, berkas gelombang mikro dengan perubahan sudut fase dapat menyebabkan energi berkas diperkuat atau dilemahkan. Contoh pemantulan adalah pemantulan tanah [11].

2) *Diffraction* (Difraksi)

Difraksi adalah sifat gelombang elektromagnetik yang terjadi ketika berkas bertemu dengan rintangan. Difraksi terjadi ketika gelombang radio mengenai suatu objek atau rintangan berupa tepi, sudut tajam, atau permukaan batas. Gelombang radio ini meluruh dan dapat mencapai daerah yang diarsir. Gelombang frekuensi tinggi cenderung mengikuti garis pandang dan tidak terdifraksi pada daerah di belakang bayangan, sedangkan untuk frekuensi rendah difraksi lebih sering terjadi dan menyebabkan lebih banyak kehilangan citra [11].

3) *Fresnel Zone*

Zona Fresnel atau *Fresnel zone* merupakan wilayah berbentuk elips yang terbentuk dari pola radiasi yang dipancarkan oleh antena. Gambar 2.6 menggambarkan tiga berkas pada jalur gelombang radio dari pemancar (Tx) ke penerima (Rx), yaitu berkas langsung dan berkas pantul [11].



Gambar 2.6 Daerah *Fresnel Zone* [11].

Jika sinar pantul adalah setengah panjang berkas yang ditransmisikan dan bumi dianggap sebagai reflektor sempurna (koefisien *reflektansi* = -1, yaitu gelombang datang dan gelombang yang dipantulkan keluar dari fase sebesar 180°), maka ketika mencapai penerima, mereka berada dalam fase, keluar dari fase dengan gelombang langsung. Hal ini akan membuat kekuatan kedua gelombang saat mencapai antenna penerima akan saling melemahkan. Batas daerah Fresnel dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2.3) [11]:

$$F_n = 17,3 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f D}} \quad (2.3)$$

- F_n = radius daerah *fresnel* ke n (km)
- 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, dst.)

4) *Clearance*

Jalur sinyal yang akan ditransmisikan melalui sistem *line of sight* harus memiliki area yang tidak terhalang yang disebut *clearance*. Area *clearance* ditentukan untuk menghindari pengaruh beberapa jalur terutama karena refleksi tanah. Jarak minimum adalah 0,6 dari area *Fresnel* pertama (0,6 F_1). Saat menganalisis profil orbit menggunakan peta permukaan bumi datar, faktor koreksi untuk ketinggian penghalang diperlukan sama dengan kelengkungan bumi. Nilai faktor koreksi dapat sesuai dengan persamaan (2.4) dan (2.5) [11]:

$$h_{\text{koreksi}} = \frac{0,0785 \times d_1 \times d_2}{k} \quad (2.4)$$

$$CL = 0,6 F_1 + h_{\text{koreksi}} \quad (2.5)$$

dengan,

CL = daerah *clearance* (m)

h_{koreksi} = faktor koreksi ketinggian titik penghalang (m)

d_1 = jarak antara pemancar dengan penghalang (m)

d_2 = jarak antara penerima dengan penghalang (m)

F_1 = daerah *fresnel* pertama (m)

k = faktor kelengkungan bumi

k = 6/5 - 4/3; daerah dingin

k = 4/3; daerah sedang

k = 4/3 - 3/2; daerah tropika

5) *Free Space Loss (FSL)*

Rugi ruang bebas didefinisikan sebagai rugi yang disebarkan di ruang bebas antara dua antena isotropik karena energi yang tersebar. Harga FSL ini menunjukkan tingkat energi yang dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik dari sumber pemancar. Amplitudo tergantung pada frekuensi yang digunakan dan panjang lintasan [11].

2.2.5 *Availability*

Ukuran keandalan sistem sering disebut sebagai *Availability*. Idealnya, semua sistem harus memiliki *Availability* 100%. Namun hal ini tidak dapat dicapai, sehingga dalam sistem pasti ada sistem yang ke tidak andalan (*unavailability*). *Availability*, sering disebut sebagai keandalan (*reliability*), ditentukan oleh kemampuan sistem untuk menyediakan layanan.

2.2.6 *Fading*

Fading adalah fenomena fluktuasi daya dari sinyal yang diterima karena propagasi gelombang radio, yang mengurangi daya yang diterima dan menurunkan kualitas transmisi. Untuk mengatasi *fading*, diperlukan cadangan daya yang digunakan untuk menjaga level sinyal yang diterima di atas level ambang batas. Cadangan daya ini sering disebut sebagai *fade margin*. Pola *fading* pada komunikasi radio gelombang mikro adalah sebagai berikut [11]:

1. *Fading* Tipe k

Fading ini disebabkan oleh refleksi karena perubahan faktor k.

2. *Fading* karena *Duct*

Disebabkan oleh gelombang yang membengkok ke atas atau ke bawah, menghasilkan bentuk baji yang tidak dapat diterima oleh gelombang.

3. *Absorbtion Fading*

Disebabkan oleh penyerapan atau hamburan oleh hujan, salju dan kabut. Pada frekuensi di atas 10 GHz, ini dapat mengakibatkan pemutusan.

2.2.6.1 *Multipath Fading*

Multipath fading merupakan *fading* yang paling sering terjadi, terutama pada *link* radio LOS. Hal ini menyebabkan dispersi (penyebaran) sinyal, di mana menjadi masalah dalam *link* LOS digital yang berkecepatan bit *rate* tinggi. *Multipath Fading* dapat disebabkan oleh beberapa mekanisme antara lain [10]:

- 1) Interferensi antara banyak pancaran langsung dan komponen *specular* dari suatu gelombang yang terpantul bumi.
- 2) Komponen *non-specular* dari suatu gelombang yang terpantul bumi.
- 3) Pemantulan terpisah dari lapisan atmosfer
- 4) Jalur-jalur gelombang langsung tambahan (jalur yang tidak dipantulkan).

Hal yang penting diperhatikan dalam merancang *link* radio gelombang mikro adalah *fading rate*, merupakan jumlah yang mengalami pelemahan per satuan waktu, dan kedalaman *fading* yaitu seberapa banyak intensitas sinyal pada penerima bila dibandingkan dengan nilai *free space*, yang dinyatakan dalam desibel.

2.2.7 *Link Analysis*

Suatu jalur (*link*) gelombang mikro dapat terbentang jarak beberapa kilometer hingga beberapa ribu kilometer. Tiap-tiap satu loncatan (*hop*), lintasan antar antena harus *line of sight* atau bebas pandang. Ukuran dari antena, daya keluaran pemancar (transmitter), daya penerimaan minimum dan panjang lintasan, semua hal tersebut saling berhubungan. Daya terima minimum adalah titik awal dalam perencanaan lintasan. Besarnya daya minimum untuk masing-masing dapat dicari dengan persamaan (2.6) [11].

$$P_{t \min} = L_{tr} + FM + C_{\min} \quad (2.6)$$

- L_{tr} = redaman transmisi (dB)
- FM = *fading* margin (dB)
- C_{min} = level sinyal terima minimum (dB)

Sedangkan *loss* transmisi atau rugi-rugi transmisi dapat dicari dengan persamaan (2.7) [11]:

$$L_{tr} = L_{fs} + L_f + L_b + A_{eff} - G_{total} \quad (2.7)$$

- L_{fs} = redaman ruang bebas (dB)
- L_f = *loss feeder* / redaman saluran transmisi (dB)
- L_b = *loss branching* / percabangan (dB)
- A_{eff} = redaman efektif hujan (dB)
- G_{total} = total Gain antara antena pemancar dengan penerima (dB)

Level sinyal penerimaan minimum dapat dicari dengan persamaan (2.8) dan persamaan (2.9) [11]:

$$C_{min} = N_{th} + C/No \quad (2.8)$$

Sedangkan N_{th} dapat dicari dengan persamaan:

$$N_{th} = 10 \log K T B + N_f \quad (2.9)$$

- C_{min} = *carier to noise ratio* (dB)
- C/No = level sinyal terima minimum (dB)
- N_f = *noise figure* (dB)
- K = konstanta *Boltzman* (1.38×10^{-23} J/oK)
- T = temperatur absolut (oK)
- B = lebar bidang / *bandwidth* (Hz)

2.2.8 Sistem Transmisi Gelombang *Microwave*

Sistem transmisi gelombang mikro terdiri atas dua macam yaitu sistem analog dan sistem digital [11].

1) Sistem Analog

Sistem gelombang mikro (*microwave*) analog menggunakan gelombang radio dengan modulasi FM (*Frequency Modulation*), baik dengan sistem penjamakan (*multiplexing*) frekuensi atau *Frequency Division Multiplexing* (FDM) maupun penjamakan waktu atau *Time Division Multiplexing* (TDM).

2) Sistem Digital

Sistem gelombang mikro digital menggunakan gelombang radio yang termodulasi digital *Phase Shift Keying* (PSK), atau modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

Sedangkan jika dilihat dari bentuk konfigurasinya, sistem gelombang mikro dibedakan menjadi dua [11]:

1) *Point to Point Digital Microwave*

Point to Point Digital Microwave adalah transmisi gelombang mikro digital yang terjadi antara satu titik dengan titik lain. Sistem ini menggunakan antena parabola, sedemikian rupa sehingga gelombang yang dikirim memiliki per arahan (*directivity*) yang tinggi dengan daerah berkas (*beam area*) yang sempit, yang dikenal dengan antena *directional*.

2) *Point to Multipoint Digital Microwave*

Point to Multipoint Digital Microwave adalah transmisi gelombang mikro digital yang terjadi antara satu titik (*master*) ke banyak titik (*remote*) atau sebaliknya. Menara yang berfungsi sebagai master dilengkapi dengan antena yang bersifat segala arah (*directional*) agar dapat menerima dan mengirimkan informasi dari dan ke banyak arah, sehingga dapat menjangkau ke daerah-daerah lokasi *remote* yang luas. Sedangkan dari sisi menara *remote* menggunakan antena terarah (*directional*), yang pada umumnya digunakan adalah berbentuk parabola [11].

Transmisi dengan jarak 30 km- 60 km atau lebih digunakan *repeater* sebagai *regenerator* sinyal, agar informasi yang diterima sesuai dengan data yang ditransmisikan. Transmisi pada area yang relatif sempit tidak membutuhkan *repeater* karena jarak antara pengirim dan penerima tidak terlalu jauh, pada keadaan ini variabel jarak tidak banyak berpengaruh pada transmisi sinyal [11].

2.2.9 Klasifikasi *Link Microwave*

Pada sistem seluler ini, komunikasi *microwave* digunakan pada jalur antara *site* MSC dengan MSC yang lain dalam jaringannya, antara MSC dengan BSC, antara BSC dengan beberapa BTS-nya maupun antara BTS, walaupun sebagai alternatifnya adalah jalur transmisi serat optik ataupun saluran sewa berbentuk *wireline*. *Link microwave* pada umumnya beroperasi antara frekuensi 2 GHz - 58

GHz. Berdasarkan *range* frekuensinya, *link microwave* diklasifikasikan dalam tiga kategori [11]:

a. *Short Haul*

Link ini beroperasi pada *range* frekuensi tinggi (23 GHz - 58 GHz) dengan demikian menjangkau jarak yang lebih pendek, pada *range* ini frekuensi yang lebih rendah di *band*, *link* dipengaruhi oleh *multipath* dan *rain fading*. Pada frekuensi yang lebih tinggi saat panjang lintasan hanya beberapa kilometer, fenomena *multipath* tidak mempunyai dampak signifikan, akan tetapi dampak hujan berpengaruh besar pada *link* jenis ini [11].

1. Frekuensi *band* 23 GHz

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

2. Frekuensi *band* 26 GHz dan 27 GHz

- a) Daya jangkauan maksimal 15 km.
- b) *Rain fading*.
- c) Diameter antena 30 cm – 60 cm.
- d) Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertikal.
- e) Atenuasi karena hujan sekitar 3 dB/km saat curah hujan 20 mm/h.
- f) Atenuasi atmosfer 0,1 dB/km.

3. Frekuensi *band* 38 GHz

- a) Daya jangkauan 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. Frekuensi *band* 55 GHz

- a) Daya jangkauan 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 20 mm/h.
 - f) Atenuasi atmosfer 0,12 dB/km.
5. Frekuensi *band* 58 GHz
- a) Daya jangkauan maksimal hanya 1 km - 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.

b. *Medium Haul*

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

1. Frekuensi *band* 13 GHz
- a) Daya jangkauan maksimal 40 km
 - b) *Multipath fading*
 - c) Diameter antena 60 cm – 120 cm untuk *gain* antena berkisar 36,4 dB - 42,4dB
 - d) Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertikal
2. Frekuensi *band* 15 GHz
- a) Daya jangkauan maksimal 35 km.
 - b) *Multipath fading*.
 - c) Diameter antena 60 cm - 120 cm dengan *gain* antena berkisar 38 dB - 44 dB.
 - d) Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertikal.
3. Frekuensi *band* 18 GHz
- a) Daya jangkauan maksimal 20 km.
 - b) *Multipath fading*.
 - c) Diameter antena hingga 60 cm - 180 cm dengan *gain* 39 dB - 49 dB.
 - d) Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertikal.

c. *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* [11].

1. Frekuensi *band* 2 GHz
 - a) Daya jangkau maksimal 80 km.
 - b) *Multipath fading*.
 - c) Diameter antena 370 cm dengan *gain* antena 36 dB.
 - d) Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertikal.
2. Frekuensi *band* 7 GHz
 - a) Daya jangkau maksimal 50 km.
 - b) *Multipath fading*.
 - c) Diameter *antenna* 370 cm dengan *gain antenna* 46,8 dB.
 - d) Menggunakan 2 polarisasi, horizontal dan vertikal.
3. Frekuensi *band* 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 vertikal.

2.2.10 Komponen *Link Microwave*

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)

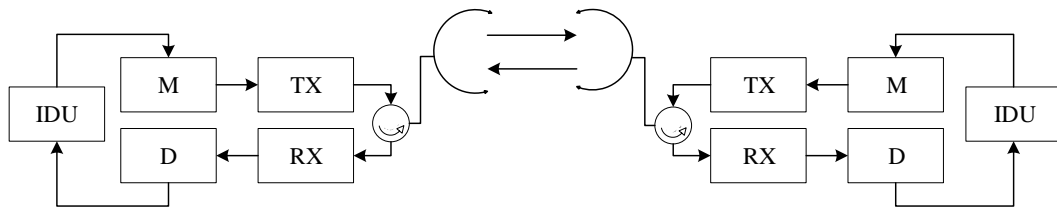
IDU berisi modem radio yang berfungsi sebagai titik terminasi untuk sinyal digital dari perangkat *end user* dan kemudian mengubah ke dalam sinyal yang berbasis sinyal radio untuk dikirimkan sepanjang media transmisi *microwave* dengan menggunakan skema modulasi dan juga memodulasikan *carrier* ke sinyal digital pada penerima. Terlepas dari modulasi dan dimodulasi sinyal, IDU juga berfungsi sebagai *Forward Error Control* (FEC), pemultipleksan *data user*, *control unit* dan berperan sebagai kanal komunikasi antara NMS dan ODU. IDU biasanya ditempatkan di lokasi yang terproteksi [9].

2. Outdoor Unit (ODU)

ODU berfungsi untuk mengonversi sinyal digital berfrekuensi rendah (*Intermediate Frequency*) menjadi sinyal radio berfrekuensi tinggi (*Radio Frequency*). ODU berisi perangkat *Radio Frequency* pengirim dan penerima [9]. Dengan fitur ini, ODU juga disebut sebagai radio transiver. Ketika sinyal diterima dari antenna, sinyal biasanya dilewatkan ke *Low Noise Amplifier* (LNA) untuk menguatkan sinyal yang diterima. Kemudian dilewatkan ke *Automatic Gain Control* (AGC) untuk memastikan besar sinyal saat memasuki radio penerima. ODU mendapatkan catuan listrik dan sinyal termodulasi berfrekuensi rendah dari IDU melalui kabel koaksial. Ada tiga konfigurasi yang digunakan pada ODU, yaitu [11]:

a) Konfigurasi 1 + 0

Konfigurasi 1 + 0 adalah konfigurasi yang memiliki satu radio ODU dan satu antenna *microwave* di setiap BTS. Jika ODU mengalami kerusakan maka *link* secara otomatis akan terputus. Gambar 2.7 menunjukkan konfigurasi 1 + 0.



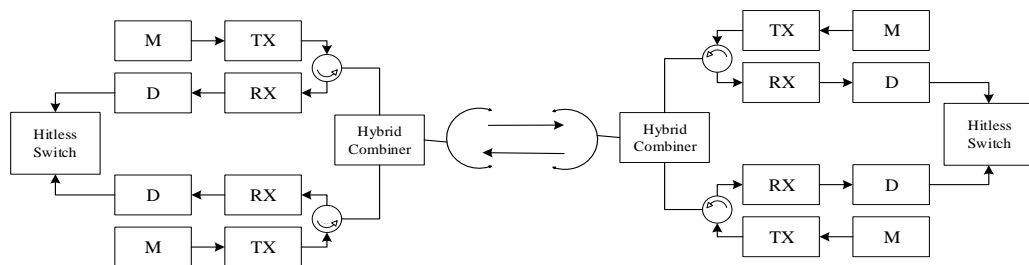
Gambar 2. 7 Blok diagram sistem konfigurasi 1 + 0 [11].

Pada konfigurasi antenna *non diversity* (TR-TR) menggunakan satu buah antenna, dengan satu buah radio ODU dan IDU. *TR* merupakan transmitter dan *Receiver*, yang di mana satu buah antenna berfungsi sebagai pengirim dan penerima. Perangkat *IDU* akan memberikan data pada *M* yang disebut sebagai modulasi. Modulasi sendiri adalah proses penumpangan sinyal pembawa terhadap sinyal informasi di mana amplitudo sinyal pembawa yang dipancarkan berubah mengikuti perubahan amplitudo sinyal informasi, yang kemudian akan dikirimkan oleh *ODU* sebagai *data* transmitter. Pada sisi penerima *ODU* akan menerima *data* sebagai *data receive*, yang akan diberikan pada *D* yang disebut sebagai dimodulasi (dikonversikan kembali ke

bentuk asalnya) dan data akan diterima oleh *IDU*. Konfigurasi ini dapat disebut sebagai konfigurasi 1+0, jika *ODU/IDU* mengalami kerusakan maka *link* secara otomatis akan terputus.

b) Konfigurasi 1 + 1 *Hot Standby*

Konfigurasi 1 + 1 *Hot Standby* adalah konfigurasi yang memiliki dua radio ODU dan satu antena *microwave* di setiap BTS. Pada setiap ODU terdapat proses modulator (M) di mana parameter dari suatu gelombang divariasikan secara proporsional terhadap gelombang lain dan proses dimodulasi (D) yang berarti sinyal yang diterima dikonversikan kembali ke bentuk asalnya. Kedua radio ODU ini aktif, namun ODU yang kedua bersifat *standby*. Sehingga apabila ODU utama mengalami kerusakan maka secara otomatis akan di *backup* oleh ODU yang kedua. Konfigurasi 1 + 1 *Hot Standby* ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Konfigurasi 1 + 1 *Hot Standby* [11].

3. *Combiner*

Combiner berfungsi untuk menggabungkan kedua sinyal agar meminimalkan distorsi atau pemecah frekuensi dengan cara menghubungkan dua radio [11].

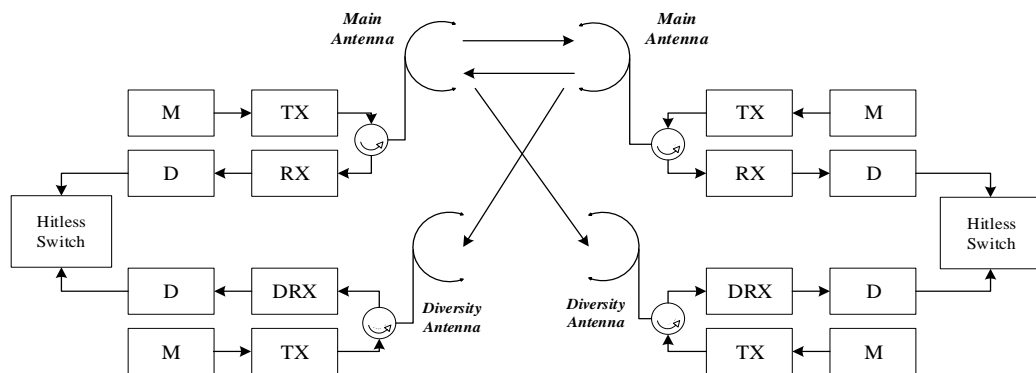
2.2.11 *Antena Diversity*

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 [3].

Teknik ini dapat 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 dapat terhubung tanpa mempengaruhi konektivitas perangkat pada jalur tersebut. Dengan demikian *fading* dapat diatasi dengan cara sebagai berikut :

1. *Space Diversity*

Penerima dari radio gelombang mikro menerima sinyal dari dua atau lebih antenna 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 ruang. Setelah sinyal diterima oleh masing-masing antenna kemudian secara simultan akan dihubungkan ke *diversity combiner* untuk menggabungkan sinyal yang diterima oleh antenna penerima [3]. Blok diagram sistem konfigurasi *space diversity* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Blok diagram sistem konfigurasi *space diversity* [11].

Pada blok diagram sistem konfigurasi *space diversity*, Antena *main* (TR) merupakan transmitter dan *receiver*, yang di mana satu buah antenna berfungsi sebagai pengirim dan penerima. Antena *diversity* (DR) merupakan *receiver* dan berfungsi sebagai *backup* (*hot-standby*), yang di mana ketika antenna *main* mengalami gangguan atau kerusakan, antenna *diversity* akan berfungsi sebagai antenna *main*, yang biasa disebut konfigurasi 1+1 *hot-standby*. Sinyal yang diterima oleh masing-masing antenna kemudian secara simultan dihubungkan menuju *hitless switch* agar sinyal yang diterima oleh antenna penerima dapat digabungkan.

Pada *space diversity* menggunakan optimasi *antenna spacing*, yaitu jarak antara antena *main* dengan antena *diversity*. Perhitungan *antenna spacing* dapat menggunakan persamaan (2.10) untuk mencari nilai panjang gelombang (λ) terlebih dahulu, sebagai berikut [4].

$$\lambda = c/f \quad (2.10)$$

- λ = Panjang gelombang (m)
- c = Kecepatan rambat cahaya ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)
- f = Frekuensi antena (GHz)

Pada hasil perhitungan persamaan (2.10) nilai panjang gelombang (λ), maka dapat diketahui jarak antara antena *main* dengan antena *diversity* setidaknya diberi jarak $70\lambda - 200\lambda$ [4]. Dapat diketahui jarak antara antena *main* dan *diversity* dengan menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12), sebagai berikut [1].

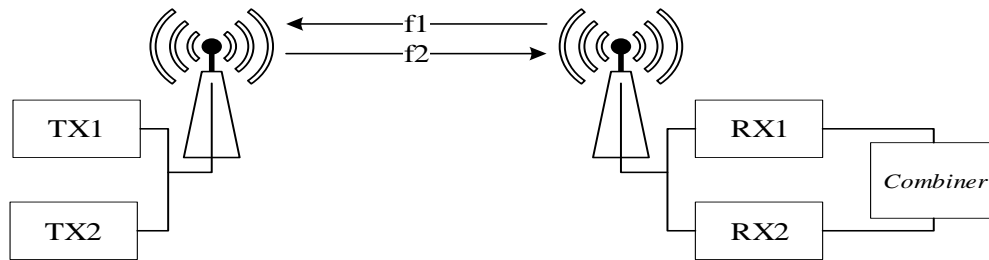
$$\Delta h = (p \cdot \lambda) \quad (2.11)$$

$$h_2 = h_1 - \Delta h \quad (2.12)$$

- Δh = Jarak antena utama dengan antena *diversity* (m)
- p = Optimasi antena *spacing* $70\lambda - 200\lambda$
- λ = Panjang gelombang (m)
- h_2 = Ketinggian antena *diversity* (m)
- h_1 = Ketinggian antena *main* (m)

2. *Frequency Diversity*

Frequency Diversity 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. Pada antena penerima akan dikumpulkan informasi dan memisahkannya menjadi dua sinyal [3]. Blok diagram sistem konfigurasi *frequency diversity* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Blok diagram sistem konfigurasi *frequency diversity* [11].

Pada antenna penerima, informasi dikumpulkan dan dipisahkan menjadi dua sinyal. Perbedaan frekuensi (Δf) antara kedua frekuensi cukup 2%, dan akan lebih baik jika berbeda 6%, untuk menghindari terjadinya interferensi yang besar [10]. Dapat diketahui *frequency spacing* yang digunakan dengan menggunakan persamaan (2.13), sebagai berikut.

$$\Delta f = (2\% - 6\%) \times f \quad (2.13)$$

Δf = Spasi frekuensi dengan frekuensi kerja (MHz)
 f = Frekuensi kerja (MHz)

2.2.12 Perhitungan *Link Budget*

1. Jalur Transmisi *Microwave*

Jarak antara BTS dapat dihitung dengan menentukan posisi nominal dua titik pada garis bumi dan menghitung jaraknya. Nominal dua titik pada garis bumi dinyatakan dalam garis lintang dan garis bujur. Garis lintang dan bujur dinyatakan dalam derajat, menit dan detik. Nilai tersebut perlu dikonversi ke dalam satuan derajat saja dengan menggunakan persamaan (2.14), (2.15), (2.16). Sehingga jarak transmisi *microwave* dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.17) [10]:

$$\text{Garis lintang dan bujur} = \text{derajat} + \frac{\text{menit}}{60} + \frac{\text{detik}}{3600} \quad (2.14)$$

$$\text{Jarak lintang} = |\text{Garis lintang BTS1} - \text{Garis lintang BTS2}| \times 110,3 \quad (2.15)$$

$$\text{Jarak Bujur} = |\text{Garis bujur BTS1} - \text{Garis bujur BTS2}| \times 111,32 \quad (2.16)$$

$$\text{Pathlength} = \sqrt{(\text{Jarak lintang})^2 + (\text{Jarak bujur})^2} \quad (2.17)$$

2. *Gain* Antena

Antena merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk mengirimkan sinyal informasi yang berasal dari pemancar maupun penerima. Antena juga

memiliki fungsi untuk mengubah sinyal informasi menjadi sebuah gelombang elektromagnetik. Antena juga sebagai penguat daya informasi yang dikirimkan .

Gain antena digunakan untuk mengukur kemampuan antena untuk melakukan pengiriman gelombang yang diinginkan ke tujuan. Pada antena parabola, efisiensi tidak mencapai 100% karena beberapa daya hilang. Secara komersial, efisiensi antena parabola antara 50% hingga 70%. Besarnya nilai *gain* antena dapat dicari menggunakan persamaan (2.18) [10]:

$$G = 20 \log f + 20 \log d + 10 \log \eta + 20,4 \quad (2.18)$$

G = *Gain* atau penguatan antena (dBi)
d = Diameter antena (m)
f = Frekuensi antena (GHz)
η = Efisiensi antena (55%)

3. *Free Space Loss* (FSL)

Free Space Loss (FSL) merupakan redaman yang terjadi di ruang bebas di sepanjang ruang antara antena pemancar dan penerima. *Free Space Loss* dipengaruhi oleh jarak dan frekuensi. Pada ruang di sepanjang ruang antena pemancar dan pengirim ini tidak di bolehkan adanya penghalang, karena transmisinya sendiri bersifat *Line of Sight* (LOS). Untuk dapat menentukan nilai dari *Free Space Loss*, dapat menggunakan persamaan (2.19) [10]:

$$FSL = 92,45 + 20 \log f + 20 \log D \quad (2.19)$$

FSL = *Free Space Loss* (dB)
f = Frekuensi (GHz)
D = Panjang lintasan (km)

Apabila frekuensi yang digunakan dalam satuan MHz, maka persamaan yang digunakan untuk mencari *Free Space Loss* (FSL) adalah persamaan (2.20) [10]:

$$FSL = 32,45 + 20 \log f + 20 \log D \quad (2.20)$$

FSL = *Free Space Loss* (dB)
f = Frekuensi (MHz)
D = Panjang lintasan (km)

4. *Effective Isotropic Radiated power* (EIRP)

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) adalah nilai daya maksimum gelombang sinyal mikro yang keluar dari antena pemancar. EIRP berfungsi untuk

menunjukkan nilai efektif daya yang dipancarkan antenna pemancar, dalam arti lain daya tersebut sudah mengalami penguatan. EIRP dapat dihitung dengan persamaan (2.21) [10]:

$$\text{EIRP} = P_{\text{Tx}} + G_{\text{ant}} - L_{\text{Tx}} \quad (2.21)$$

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

5. *Isotropic Received Level* (IRL)

Isotropic Received Level (IRL) merupakan level daya isotropik yang diterima oleh antenna *receiver*, di mana daya tersebut ditangkap langsung dari ruang bebas dan belum melalui rangkaian *decoding*. Sehingga besarnya IRL dipengaruhi oleh EIRP dan FSL. IRL dapat diperoleh dengan persamaan (2.22) [10]:

$$\text{IRL} = \text{EIRP} - \text{FSL} \quad (2.22)$$

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

6. *Received Signal Level* (RSL)

Received Signal Level (RSL) merupakan level daya yang diterima oleh penerima atau sudah melewati perangkat *decoding*. Besarnya RSL dipengaruhi oleh rugi-rugi pada sisi antenna penerima dan *gain* antenna penerima. Nilai RSL dapat diperoleh dengan persamaan (2.23) [10]:

$$\text{RSL} = \text{IRL} + G_{\text{RX}} - L_{\text{RX}} \quad (2.23)$$

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

7. *Hoploss*

Hoploss merupakan perbedaan atau selisih antara *gain* dan *loss* pada *link* gelombang mikro. *Gain* merupakan penguatan pada sisi antenna, sedangkan *loss*

merupakan jumlah redaman ruang bebas dan redaman seperti atenuasi ekstra dan atmosfer (uap air dan oksigen). Nilai *hoploss* biasa disebut sebagai nilai *net path loss* pada perancangan gelombang mikro dengan *Pathloss 5.0*, maka besarnya nilai *hoploss* dinyatakan dengan persamaan (2.24) [10]:

$$L_h = FSL + L_{tx} + L_{rx} + L_{atm} - (G_{tx} + G_{rx}) \quad (2.24)$$

L_h	= <i>Hoploss</i> (dB)
FSL	= <i>Free Space Loss</i> (dB)
L_{tx}	= <i>Transmitt loss</i> (dB)
L_{rx}	= <i>Receive loss</i> (dB)
L_{atm}	= <i>Atmosphere loss</i> (dB)
G_{tx}	= <i>Gain transmitt antenna</i> (dBi)
G_{rx}	= <i>Gain receive antenna</i> (dBi)

8. *Fading Margin*

Fading merupakan fluktuasi daya sinyal terima yang diakibatkan karena adanya proses propagasi gelombang mikro yang akan mengakibatkan turunnya daya terima dan menurunnya kualitas transmisi. Untuk mengatasi adanya *fading*, maka diperlukan cadangan daya yang digunakan agar dapat mempertahankan level daya terima di atas level betas ambang (*Rx Threshold*). Cadangan daya tersebut disebut dengan *fading margin*. Adapun hubungan antara *fading margin* dengan *Received Signal Level* ditunjukkan pada persamaan (2.25) [10]:

$$FM_{thermal} = RSL - R_{xTH} \quad (2.25)$$

$FM_{thermal}$	= <i>Fading Margin</i> (dB)
RSL	= <i>Receive Signal Level</i> (dBm)
R_{xTH}	= <i>Rx Threshold Level</i> (dBm)

9. *Availability*

Availability merupakan ukuran keandalan sistem. *Availability* sering disebut juga dengan *reability* yang didefinisikan dengan kemampuan sistem dalam memberikan pelayanan. Semua sistem idealnya harus memiliki *availability* 100%. Namun keadaan tersebut tidak mungkin terpenuhi karena di dalam suatu sistem pasti terdapat kegagalan sistem dalam memberikan pelayanan. Kegagalan sistem dalam memberikan pelayanan disebut sebagai *unavailability* atau *outage time*.

Adapun hubungan antara *availability* dengan *outage time* ditunjukkan melalui Tabel 2.1 [11].

Tabel 2. 1 Hubungan antara *Availability* dan *Outage Time* [11].

<i>Availability or reliability (%)</i>	<i>Outage time (%)</i>	<i>Outage timer per</i>		
		<i>Year</i>	<i>Month (avg.)</i>	<i>Day (avg.)</i>
0	100	8,760 h	720 h	24 h
50	50	4,380 h	360 h	12 h
80	20	1,752 h	144 h	4,8 h
90	10	76 h	72 h	2,4 h
95	5	38 h	36 h	1,2 h
99	1	8 h	7 h	14,4 min
99,9	0,1	8,8 h	43 min	1,44 min
99,99	0,01	53 min	4,3 min	8,6 s
99,999	0,001	5,3 min	26 s	0,86 s
99,9999	0,0001	2 s	2,6 s	0,086 s

Tidak andalan sistem terjadi karena dua faktor yaitu karena kesalahan manusia (*human eror*) dan kesalahan bukan karena manusia. Kesalahan karena manusia (*human eror*) biasanya disebabkan karena pemeliharaan atau kegagalan terjadi karena perangkat tidak sebanding dengan perencanaan dan dapat juga karena pabrik perangkat sistem tersebut. Sedangkan faktor utama terjadinya tidak andalan sistem bukan karena manusia disebabkan oleh kondisi atmosfer. Faktor yang lainnya yaitu gempa bumi, kebakaran, banjir dan sebagainya [10].

Pertimbangan untuk perhitungan *unavailability* sistem karena adanya faktor-faktor yang sangat mempengaruhi seperti adanya *multipath fading* dan pengaruh redaman karena hujan, maka direkomendasikan untuk menggunakan metode berdasarkan standar ITU yaitu standar ITU-R P.530-7/8 untuk perencanaan *microwave link*. Untuk melakukan perhitungan *availability*, perlu dilakukan perhitungan *unavailability*. Nilai *unavailability* dapat dinyatakan dengan persamaan (2.28) [10].

$$UnAv_{path} = a \times b \times 2,5 \times f \times D^3 \times 10^{-6} \times 10^{-FM/10} \quad (2.28)$$

$UnAv_{path}$	= Tidak andalan sistem
FM	= <i>Fading Margin</i> (dB)
D	= Panjang lintasan (km)
f	= Frekuensi kerja (GHz)
a	= Faktor kekasaran bumi
	a : 1 = daerah kekasaran rata-rata, dataran
	a : 4 = daerah halus, laut, danau, dan gurun
	a : 1/4 = pegunungan dan dataran tinggi
b	= Faktor iklim
	b : 1/4 = daerah normal
	b : 1/8 = daerah pegunungan (sangat kering)
	b : 1/2 = daerah panas dan lembap

Untuk perhitungan nilai *unavailability* pada konfigurasi antena *diversity*, perlu melakukan perhitungan nilai faktor perbaikan dari konfigurasi *diversity*. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari faktor perbaikan *space diversity*, dapat dilihat pada persamaan (2.29) [10]:

$$I_{SD} = 20 \log s + 10 \log f - 10 \log D + FM - v - 29,1 \quad (2.29)$$

I_{SD}	= Faktor perbaikan <i>space diversity</i> (dB)
s	= Spasi antar antena (m)
f	= Frekuensi kerja (GHz)
D	= Jarak lintasan (km)
FM	= <i>Effective fade margin</i> (dB)
v	= Selisih <i>gain antenna</i> (dBi)

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari faktor perbaikan *frequency diversity*, dapat dilihat pada persamaan (2.30) [10]:

$$I_{FD} = 10 \log \Delta f - 20 \log f - 10 \log D + FM 0,9 \quad (2.30)$$

I_{FD}	= Faktor perbaikan <i>frequency diversity</i> (dB)
Δf	= Spasi antar frekuensi (MHz)
f	= Frekuensi kerja (GHz)
D	= Jarak lintasan (km)
FM	= <i>Effective fade margin</i> (dB)

Dengan menggunakan nilai dari faktor perbaikan *diversity*, maka dapat diketahui nilai *unavailability* pada konfigurasi *diversity* dengan persamaan (2.32) [10]:

$$\text{UnAv}_{\text{div}} = \frac{\text{UnAv}_{\text{path}}}{I} \quad (2.32)$$

UnAv_{div} = *Unavailability* konfigurasi *diversity* (%)
 $\text{UnAv}_{\text{path}}$ = *Unavailability path* (%)
 I = Faktor perbaikan konfigurasi *diversity* (dB)

Berdasarkan nilai *unavailability* yang diperoleh, maka dapat diketahui nilai *availability* dengan persamaan (2.33) [10]:

$$\text{Av}_{\text{path}} = (1 - \text{UnAv}_{\text{path}}) \times 100\% \quad (2.33)$$

$\text{UnAv}_{\text{path}}$ = Tidak andalan sistem.
 Av_{path} = Keandalan sistem.

2.2.13 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 lunak ini 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 Columbia, Kanada 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 [15].

Beberapa *file* penunjang tersebut adalah *base* data hujan, informasi perangkat antena, radio, *feeder* dan penganalan 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. Tutorial atau cara penggunaan sebuah perangkat lunak sangat diperlukan untuk mempermudah para pengguna dalam menggunakan perangkat lunak tersebut. Sehingga tercapai efisiensi waktu yang digunakan oleh para pengguna [15].