

Alfin Hikmaturokhman, S.T, M.T
Ade Wahyudin, S.T, M.T

Perancangan Jaringan GELOMBANG MIKRO MENGGUNAKAN PATHLOSS 5

Teori dan Simulasi



Perancangan Jaringan
**GELOMBANG
MIKRO** MENGGUNAKAN
PATHLOSS **5**
Teori dan Simulasi

Alfin Hikmaturokhman, S.T, M.T

Ade Wahyudin, S.T, M.T

Perancangan Jaringan Gelombang Mikro Menggunakan Pathloss 5

Penulis:

Alfin Hikmaturokhman, S.T, M.T

Ade Wahyudin, S.T, M.T

Copyright © Pustaka Ilmu, 2018

xii+202 halaman; 15,5x23 cm

Hak cipta ada Pada Penulis

ISBN: 978-602-6835-56-7

Editor: Ir. Uke Kurniawan Usman, M.T, IPM

Pemeriksa Aksara: Muta Ali Arauf

Perancang Sampul: Nur Afandi

Pewajah Isi: Tim Pustaka Ilmu

Penerbit Pustaka Ilmu

Jl. Wonosari KM. 6.5 No. 243 Kalangan

Yogyakarta Telp/Faks: (0274)4435538

E-mail: redaksipintukata@gmail.com

Website: [https:// www.pustakailmu.co.id](https://www.pustakailmu.co.id)

Layanan sms: 081578797497

Anggota IKAPI

Cetakan I, Oktober 2018

Penerbit dan Agency

CV. Pustaka Ilmu Group Yogyakarta

Jl. Wonosari KM. 6.5 No. 243 Kalangan

Yogyakarta Telp/Faks: (0274) 4435538

Email: pustakailmugroup@gmail.com

Website: www.pustakailmu.co.id

© Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Rights Reserved

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk
apa pun tanpa izin tertulis dari Penerbit Pustaka Ilmu Yogyakarta

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah berkat rahmat, hidayah dan karunia yang selalu dilimpahkan-Nya, kepada kita semua, maka akhirnya terwujudlah buku ini.

Seiring dengan perkembangan dan pemanfaatan Teknologi Seluler 2G, 3G dan 4G maka diperlukanlah jaringan gelombang micro untuk saling berkomunikasi antar pemancar dan penerima atau Base Trasceiver Station (BTS) . Oleh karena itu perlu adanya buku ajar yang menjelaskan hal tersebut, dimulai dari konsep jaringan telekomunikasi gelombang mikro sampai dengan perangkat lunak yang di gunakan dalam perancangan jaringan.

Kenyataan yang kita rasakan saat ini, bagi kalangan masyarakat umum dan akademisi di Perguruan Tinggi, terutama untuk kalangan mahasiswa teknik elektro dan teknik telekomunikasi, masih terdapat kesulitan dalam memperoleh dan mengakses informasi mengenai jaringan gelombang mikro, terutama terkait tentang perancangan jaringan menggunakan perangkat lunak tertentu.

Hal ini disebabkan karena masih terbatas dan sedikitnya buku referensi yang membahas mengenai hal tersebut. Buku Perancangan Jaringan Gelombang Mikro menggunakan Pathloss 5 ini, kiranya dapat membantu masyarakat umum dan kalangan

akadimisi di Perguruan Tinggi, terutama kalangan mahasiswa teknik elektro telekomunikasi dan praktisi yang berkecimpung di bidang jaringan gelombang mikro untuk memahami konsep dasar serta memahami bagaimana cara melakukan perancangan jaringan gelombang mikro menggunakan perangkat lunak Pathloss 5 yang sudah banyak dipergunakan serta sudah dikenal dikalangan dunia Industri Telekomunikasi.

Buku ini dibagi dalam beberapa bab, yaitu:

- Bab pertama memaparkan mengenai pengenalan sistem transmisi gelombang mikro.
- Bab kedua membahas konfigurasi sistem Transmisi Gelombang Mikro.
- Bab ketiga menjelaskan tentang propagasi yang terjadi pada radio gelombang mikro serta pengaruh interferensinya.
- Bab keempat menjelaskan tentang parameter-parameter yang dipergunakan serta diperhatikan pada perancangan sistem transmisi gelombang mikro.
- Bab kelima menjelaskan parameter-parameter yang mempengaruhi link budget pada sistem komunikasi gelombang mikro.
- Bab keenam menjelaskan langkah demi langkah bagaimana merancang jaringan gelombang mikro dengan menggunakan perangkat lunak Pathloss 5.

Selamat menikmati buku ini, semoga bermanfaat serta bisa menambah wawasan pada bidang perancangan jaringan gelombang mikro, dan apabila kurang puas setelah membacanya kami sangat terbuka untuk menerima kritik dan saran yang bermanfaat untuk pengembangan buku selanjutnya. Kami berharap dengan adanya buku ini, dapat memberikan inspirasi serta wawasan kepada masyarakat umum dan kalangan

akademisi Perguruan Tinggi maupun praktisi pada bidang jaringan telekomunikasi untuk bisa saling bekerjasama mengembangkan teknologi telekomunikasi di tanah air tercinta.

Tidak lupa kami sampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Kekayaan Intelektual KemenRistekDikti yang telah memberikan hibah penulisan buku ajar tahun 2018 pada buku ini.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi

Wabarakatuh

Purwokerto, September 2018

Tertanda

Alfin Hikmaturokhman, S.T, M.T

Ade Wahyudin, S.T,M.T

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii

BAGIAN 1

Pengenalan Sistem Transmisi Gelombang Mikro.....	1
A. Sistem Transmisi Komunikasi Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>).....	3
B. Implementasi Sistem komunikasi Gelombang Mikro ..	5
C. Regulasi dan Standarisasi	7
Rangkuman.....	8
Soal Latihan.....	9

BAGIAN 2

Konfigurasi Sistem Transmisi Gelombang Mikro.....	11
A. Sistem Radio Gelombang Mikro Digital	12
B. Digital Multiplexing.....	15
1. <i>Pulse Code Modulation</i>	16
2. Format PCM-24	20
3. Format PCM-30	21
C. <i>Channel Encoder</i>	22
D. Skema Modulasi Digital.....	23
1. <i>Amplitude Shift Keting (ASK)</i>	25
2. <i>Frequency Shift Keying (FSK)</i>	25

3. <i>Phase Shift Keying (PSK)</i>	26
4. <i>Quadrature Amplitude Modulation (QAM)</i>	29
E. <i>Up/down converter</i>	30
F. <i>High Power Amplifier (HPA)</i>	32
G. <i>Low Noise Amplifier</i>	34
H. <i>Antena</i>	35
I. <i>Saluran Transmisi</i>	37
Rangkuman.....	39
Soal Latihan.....	39

BAGIAN 3

Propagasi Radio Gelombang Mikro	41
A. <i>Propagasi Gelombang Mikro</i>	42
B. <i>Line Of Sight Gelombang Mikro</i>	45
C. <i>Rugi Rugi Propagasi Ruang Bebas (Free Space Loss Propagation)</i>	46
D. <i>Pengaruh Atmosfer</i>	48
1. <i>Absorpsi</i>	48
2. <i>Redaman Hujan</i>	49
3. <i>Pengaruh Pembiasan pancaran Komunikasi gelombang Mikro (Refraksi)</i>	54
4. <i>Ducting</i>	57
E. <i>Pengaruh Terrain</i>	58
1. <i>Pengaruh Difraksi</i>	58
a. <i>Fresnel Zone</i>	59
b. <i>Clereance</i>	61
2. <i>Pemantulan Bumi (Refleksi)</i>	62

F. <i>Fading</i>	63
1. <i>Flat Fading</i>	65
G. <i>Frequency Selective Fading</i>	67
1. <i>Multipath Fading</i>	67
2. <i>Power Fading</i>	70
H. Interferensi	71
1. Interferensi <i>intrasystem</i>	74
2. Interferensi <i>interchannel</i>	75
3. Interferensi <i>interhop</i>	77
4. Interferensi <i>Extra-system</i>	78
Rangkuman	78
Soal Latihan	78

BAGIAN 4

Perancangan Sistem Transmisi Gelombang Mikro	81
A. Klasifikasi link Gelombang Mikro	82
B. Perangkat Link Komunikasi Gelombang Mikro	87
C. <i>Availability</i>	91
D. Perencanaan Kapasitas	94
E. Perencanaan frekuensi	96
F. Perancangan <i>Routing</i>	98
G. Perencanaan Topologi	99
H. <i>Path Profile</i>	104
I. Perancangan <i>Repeater</i>	106
1. <i>Active Repeater</i>	107
2. <i>Passive Repeater</i>	107
J. <i>Site Survey</i>	112
K. Teknik Penanggulangan <i>Fading</i>	116

Rangkuman.....	119
Soal Latihan.....	120

BAGIAN 5

Perhitungan *Link Budget* Komunikasi Gelombang

Mikro Digital	121
A. Jalur Transmisi Gelombang Mikro.....	122
B. <i>Antenna Gain</i>	124
C. <i>Beamwidth</i>	125
D. <i>Free Space Loss</i>	126
E. EIRP	127
F. <i>Isotropic Received Level</i>	128
G. <i>Received Signal Level</i>	128
H. Hoploss.....	129
I. <i>Fading</i>	130
J. <i>Availability</i>	132
K. Perhitungan <i>Diversity</i>	133
1. <i>Space Diversity</i>	133
2. Frekuensi <i>Diversity</i>	136
Rangkuman.....	137
Soal Latihan.....	138

BAGIAN 6

Simulasi Komunikasi Gelombang Mikro Menggunakan

Pathloss 5	139
A. Perangkat Lunak Pathloss 5.....	140
B. Prosedur Awal Menjalankan Pathloss 5.....	142
C. Konfigurasi Jaringan site	151

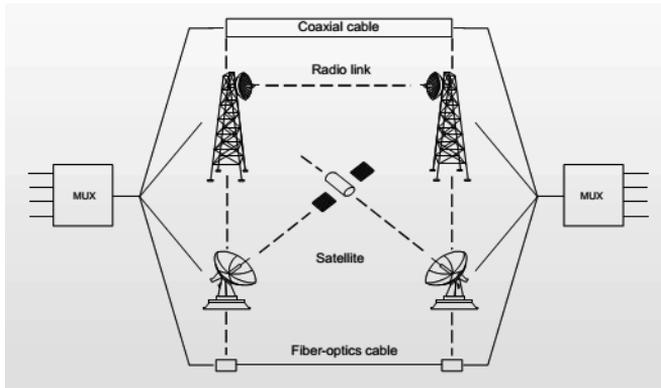
D.	Mengkonfigurasi <i>Terrain data</i>	154
E.	Mengkonfigurasi <i>Antenna Height</i>	158
F.	Mengkonfigurasi Parameter-Paramater Sistem Transmisi.....	159
G.	Mengkonfigurasi Data Anetenna ODU.....	160
H.	Mengkonfigurasi parameter <i>Transmission lines</i>	163
I.	Mengkonfigurasi parameter <i>Antenna Coupling</i>	165
J.	Mengkonfigurasi <i>data radio</i> IDU.....	166
K.	Menkonfigurasi Parameter Tx channel.....	167
L.	Menkonfigurasi Parameter Curah Hujan.....	168
M.	Menampilkan <i>Multipath</i>	171
N.	Membuat <i>Report</i>	171
O.	Konfigurasi <i>Diversity</i>	175
P.	Simulasi <i>Passive Repeater</i>	179
	Rangkuman.....	187
	Soal Latihan.....	187
	Daftar Pustaka.....	189
	Glossary.....	191
	Index.....	194
	<i>Acknowledgement</i>	198
	Tentang Penulis.....	199

BAGIAN 1

PENGENALAN SISTEM TRANSMISI GELOMBANG MIKRO

Tujuan Instruktusional
Pembaca mampu mengerti
dan menjelaskan:

1. Konsep sistem transmisi gelombang mikro
2. Implementasi sistem transmisi gelombang mikro
3. Standar regulasi sistem transmisi gelombang mikro



Gambar 1. 1 Jenis-Jenis Media Transmisi [1]

Pengiriman sinyal informasi dari satu lokasi ke lokasi lain dapat dilakukan melalui beberapa media, baik media fisik yang berupa *wireline* maupun media *wireless*. Media *wireline* seperti kabel tembaga dan serat optik memiliki keunggulan dalam instalasi yang mudah, biaya yang murah dan kecepatan *data rate* transmisi, terutama fiber optik yang memiliki *data rate* hingga 10 Gbps. Namun, pada kondisi tertentu, seperti pada wilayah terpencil atau wilayah lain yang tidak memungkinkan hadirnya jaringan media *wireline*, maka jaringan media *wireless* mengambil bagian, seperti media Satelit dan Gelombang Mikro (*Microwave*).

Pada Buku ini akan di bahas tentang transmisi komunikasi menggunakan media gelombang mikro (*microwave*). Pembahasannya mencakup definisi, cara kerja, Konfigurasi,

Topologi, perhitungan *link budget*, Standarisasi serta simulasi menggunakan *SoftwarePathloss 5*.

A. Sistem Transmisi Komunikasi Gelombang Mikro (Microwave)

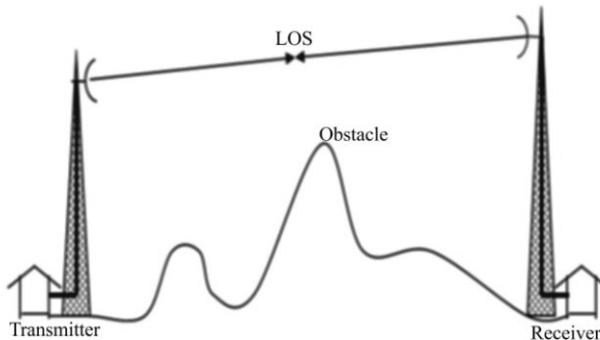
Komunikasi gelombang mikro merupakan sistem komunikasi yang menggunakan rentang band frekuensi antara 2 hingga 60 GHz, sesuai dengan yang telah direkomendasikan oleh CCIR (*Commite Colsultative International Radio*). Dimana, tujuan dari ini adalah untuk mengirimkan informasi dari satu tempat ke tempat lain tanpa ada gangguan dan jelas diterima oleh penerima secara *Line-of-Sight*.

Mengapa harus menggunakan sistem transmisi gelombang mikro, bila terdapat banyak pilihan yang lebih murah dan mudah installasinya? Bila dibandingkan dengan serat optik. Ada beberapa faktor, antara lain:

- Tidak adanya perangkat perizinan resmi untuk melakukan penggelaran jaringan *wireline*.
- Kecenderungan terhadap kerusakan yang disebabkan ketidaksengajaan kecil
- Pengaruh terhadap bencana alam kecil.
- Sangat cocok untuk diimplementasikan di medan yang sulit, seperti wilayah pegunungan, berbukit, melintasi danau atau sungai.

- Lebih praktis untuk implementasi wilayah urban yang sangat padat.
- Sebagai *backup* dari jaringan serat optik.

Dalam sistem transmisi gelombang-mikro menggunakan pelayanan *point-to-point*. Pelayanan *point-to-point* tersebut harus dalam kondisi LOS (*Line Of Sight*). LOS (*Line Of Sight*) adalah suatu kriteria yang ideal yang harus dipenuhi. LOS merupakan keadaan dimana antara pemancar dan penerima mengikuti garis pandang (saling terlihat) tanpa adanya penghalang (*obstacle*).



Gambar 1. 2 Kondisi Line of Sight [2]

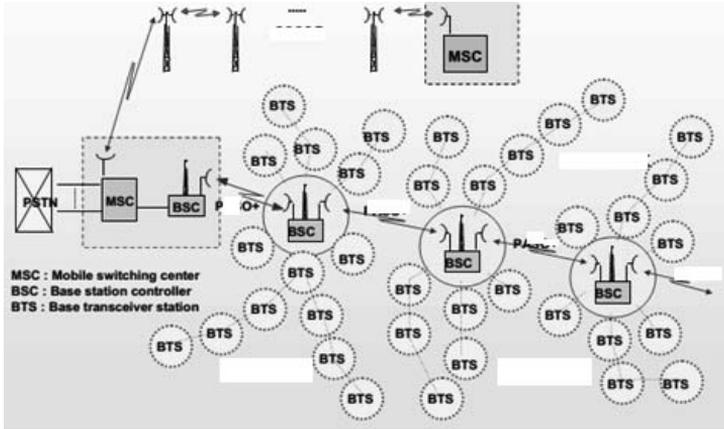
Stasiun yang digunakan, baik stasiun pemancar maupun penerima ditempatkan pada lokasi yang tinggi dan pada menara antenna yang tinggi pula agar transmisi dapat mencakup daerah LOS yang maksimum sehingga dapat diperoleh suatu

lintasan gelombang yang bersifat langsung (*direct signal path*). Propagasi LOS gelombang mikro menggunakan gelombang radio atau *Radio Frequency* (RF), yang juga merupakan gelombang elektro magnetik. Komunikasi microwave dapat digunakan untuk komunikasi satelit maupun komunikasi terrestrial yang merambat melalui atmosfer, sehingga efek atmosfer sangat mempengaruhi energi dan berkas gelombangnya. Redaman energi dan pemudaran berkas gelombang ini yang disebut dengan *fading* (pemudaran).

B. Implementasi Sistem komunikasi Gelombang Mikro

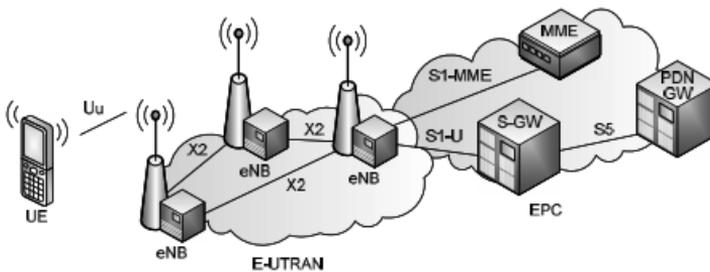
Implementasi sistem komunikasi gelombang mikro banyak digunakan sebagai sistem jaringan *backhaul* pada komunikasi seluler dan jaringan *terrestrial* seperti pemancar *relay* penyiaran Televisi dan Radio.

Jaringan *Backhaul* merupakan suatu jaringan transport radio akses seluler yang menghubungkan *Base Station* (BS) dengan *Controller* dan *Core Network*, seperti BSC dan MSC pada teknologi GSM 2G atau RNC pada teknologi UMTS 3G.



Gambar 1.3 Transmisi antar BTS,BSC dan MSC[1]

Pada Teknologi LTE 4G, memiliki arsitektur yang *Flat*, dimana eNode_B memiliki fungsi *controller* sendiri, sehingga terjadi hubungan komunikasi antar eNode_B yang menggunakan suatu topologi jaringan tertentu yang disebut *Evolved UTRAN* (EUTRAN). *Evolved UTRAN* akan terhubung dengan jaringan core yang disebut *Evolved Packet Core* (EPC).



Gambar 1.4 Arsitekture LTE 4G [3]

Sedangkan, pemancar *relay* penyiaran Televisi dan Radio merupakan pemancar siaran yang berulang dari stasiun radio atau stasiun televisi menggunakan repeater, biasanya untuk area yang tidak tercakup oleh sinyal dari stasiun pemancar asal.

C. Regulasi dan Standarisasi

Regulasi dan standarisasi pada implementasi sistem telekomunikasi harus mengacu kepada standar internasional yang telah ditetapkan oleh *International Telegraph and Telephone Consultative Committee* (CCITT). Sekarang organisasi ini telah berubah menjadi *International Telecommunication Union* (ITU) yang berada dibawah Persatuan Bangsa-Bangsa (PBB), dimana Indonesia menjadi anggotanya.

Secara international, Penetapan standarisasi komunikasi radio seperti perangkat dan spektrum frekuensi yang digunakan seluruh negara dilakukan oleh salah satu divisi ITU, yaitu ITU-R (*Radio Communication*).

Standarisasi merupakan hal yang sangat mendasar, sebagai contohnya perlunya penerima sistem komunikasi suatu negara beroperasi pada frekuensi yang sama dengan pengirim informasi yang berada dinegara lain. Dan jelas, tidak akan hubungan komunikasi bila perangkat penerima dan pengirim bekerja pada frekuensi yang berbeda.

Pada level nasional penetapan, pengawasan dan pengendalian regulasi/standarisasi sistem telekomunikasi berada pada Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kemkominfo). Kemkominfo menetapkan serangkaian peraturan yang meliputi penyelenggaraan telekomunikasi, Spektrum Frekuensi dan Orbit satelit, persyaratan teknis, Transaksi Elektronik dan lain-lain. Tentunya, regulasi yang ditetapkan kominfo harus berhamonisasi dengan standar internasional ITU. Sedangkan Peraturan Menteri yang membahas tentang Perencanaan Penggunaan Pita Frekuensi Radio *Microwave Link* Titik Ke Titik (*Point-To-Point*) sesuai dengan pembahasan buku ajar ini adalah Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia bernomor 13 Tahun 2017 yang merupakan revisi dari Peraturan Menteri nomer 33 Tahun 2015

Rangkuman

Sistem komunikasi gelombang mikro banyak diimplementasikan sebagai jaringan *backhaul* jaringan seluler karena memiliki kelebihan dalam kesederhanaan instalasi dan mampu menjangkau wilayah yang terpencil dan sulit terjangkau fiber optik. Implementasi komunikasi jaringan mikro tersebut harus mengikuti regulasi yang ditetapkan oleh ITU sebagai badan standarisasi telekomunikasi dunia.

Soal Latihan

1. Apa yang dimaksud dengan jalur komunikasi *Line-of-Sight*?
2. Apa kelebihan dan kelemahan sistem komunikasi gelombang mikro?
3. Jelaskan regulasi yang mengatur implementasi sistem komunikasi gelombang mikro di Indonesia?
4. Apa yang dimaksud dengan jaringan backhaul ?

BAGIAN 2

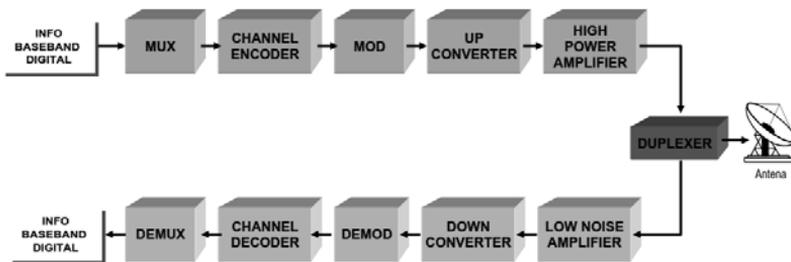
KONFIGURASI SISTEM TRANSMISI GELOMBANG MIKRO

**Tujuan Instruktusional
Pembaca mampu mengerti
dan menjelaskan:**

1. Cara kerja sistem transmisi gelombang mikro.
2. Komponen sistem radio gelombang mikro digital beserta perangkatnya.

A. Sistem Radio Gelombang Mikro Digital

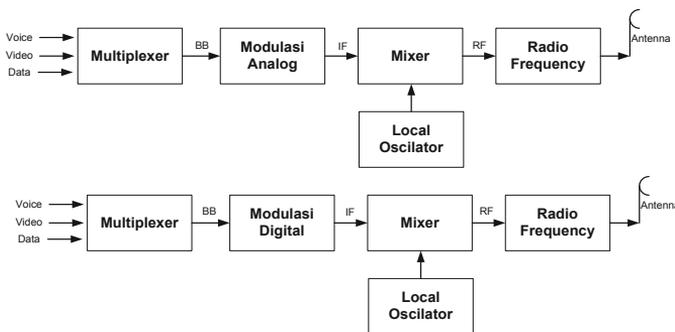
Suatu sistem komunikasi menghubungkan 2 stasiun terminal, yang berperan sebagai sumber sinyal (*transmitter*) dan tujuan sinyal (*receiver*), juga Terkadang membutuhkan repeater yang menghubungkan keduanya. Perangkat-perangkat yang ada pada stasiun terminal menghubungkan banyak pelanggan dengan jarak yang sangat jauh sekali. Bisa dibayangkan sinyal informasi yang berasal dari banyak pelanggan tersebut digabungkan dalam suatu multipleksing menjadi suatu sinyal tunggal yang siap untuk di transmisikan melalui gelombang mikro. Sinyal tersebut dirubah menjadi gelombang mikro (sekitar 6 GHz) dan dikirimkan pada suatu jalur dengan jarak 30 – 60 Km dari satu stasiun ke stasiun lain. Pada stasiun penerima, sinyal tersebut di proses kembali untuk menghasilkan sinyal yang sesuai dengan setiap individu pelanggannya.



Gambar 2. 1 Konfigurasi Sistem Komunikasi Radio Gelombang Mikro [1]

Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana pemrosesan sinyal dilakukan, baik pada sisi pengirim maupun penerima. Kanal suara, video atau data dikombinasikan oleh suatu teknik yang disebut multipleksi untuk menghasilkan baseband sinyal. Selanjutnya Sinyal ini dimodulasi pada suatu *Intermediate Frequency* (IF) dan kemudian di-*upconverted* hingga menjadi *Radio Frequency* (RF) untuk ditransmisikan. Proses sebaliknya terjadi pada penerima informasi.

Konfigurasi sistem komunikasi gelombang dibedakan menjadi dua yaitu: komunikasi gelombang mikro analog dan komunikasi gelombang mikro digital. Secara umum kedua konfigurasi ini hampir mirip terutama didari bagian *Intermediate Frequency* (IF) hingga *Radio Frequency* (RF). Perubahan IF ke RF dilakukan dengan teknik *Heterodyne*, dimana sinyal IF yang telah dimodulasikan digabung dengan RF *local oscillator* untuk membentuk sinyal RF, yang kemudian dikuatkan dan difilter sehingga siap ditransmisikan antena.



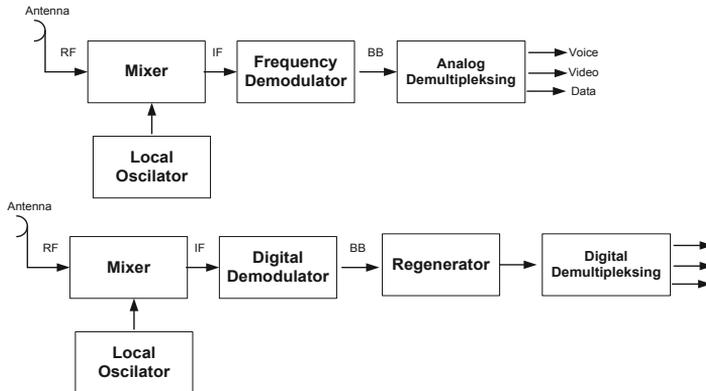
Gambar 2. 2 Perbandingan transmitter gelombang mikro analog dan digital

Perbedaan utama konfigurasi sistem komunikasi gelombang mikro analog dan digital antara lain:

1. Pembentukan sinyal baseband
2. Teknik Modulasi
3. Kanal transmisi layanan

Pada penerima, yang menjadi pembeda sistem analog dan digital ada pada bagian demodulasi dan *demultiplexing*. Sistem penerima analog, sinyal RF yang diterima akan di-*downconverted*, demodulasi frekuensi dan demultipleksing pada masing-masing kanal *voice*, data atau *video* secara terpisah.

Pada penerima digital, sinyal RF yang diterima, setelah di-*downconverted* akan melewati *coherent demodulation*. Pada *coherent demodulation*, frekuensi dan fasa dari sinyal yang telah dimodulasi harus terdapat pada penerima dengan tepat. Sinyal demodulasi secara berurutan memulihkan kembali *bit stream* yang dikirimkan oleh suatu *regenerator*. Terakhir, suatu *time division demultiplexer* memisahkan kanal *voice*, *data*, atau *video* untuk didistribusikan kepada lokasi yang sesuai.



Gambar 2. 3 Perbandingan penerima gelombang mikro analog dan digital

B. Digital Multiplexing

Sinyal baseband digital dikirimkan melalui perangkat radio gelombang mikro digital, satelit atau serat optik dibentuk oleh *Time Division Multiplexing* (TDM), sedangkan *Frequency Division multiplexing* (FDM) digunakan untuk teknologi analog. Perangkat *multiplexer* digital memiliki kelebihan lebih mudah dan sederhana bila dibandingkan dengan analog. Teknik TDM meliputi *sampling* sejumlah kanal secara periodik dan *interleaving* dalam suatu basis waktu, sehingga menghasilkan aliran bit yang akan dikirimkan (1 atau 0). Pada sisi penerima aliran bit tersebut akan dikembalikan pada kanalnya yang sesuai dan merekonstruksi menjadi sinyal yang original.

Pada standar multiplexing di jepang dan amerika serikat, menggabungkan 24 kanal dalam suatu grup, sedangkan di

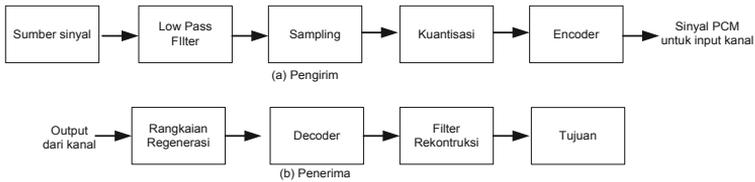
negara eropa dan lainnya menggabungkan 30 kanal. Skema penggabungan kanal itu, biasa disebut *Pulse Code Modulation* (PCM). Bagi jalur transmisi berkapasitas besar, beberapa aliran bit 24 atau 30 kanal dimultipleksing secara digital sehingga menghasilkan bit rate yang tinggi dengan menggunakan basis *synchronous* atau *non synchronous (asynchronous)*.

Istilah *synchronous* mengacu kepada sistem *clocking* dan jumlah pulsa informasi yang melewati *multiplexer* per detik. Pada sistem *synchronous* memiliki nilai jumlah pulsa yang konstan, sedangkan *multiplexer non synchronous* memiliki nilai jumlah pulsa yang bervariasi setiap detiknya. Walaupun demikian, *multiplexer asynchronous* memiliki batasan pada seberapa jauh variasi nilai tersebut diperbolehkan. Hal ini menyebabkan sistem tidaklah benar-benar *non synchronous*, sehingga diberikan nama *Pleiochromous* untuk sistem tersebut. Kedua istilah tersebut digunakan untuk sistem hierarki transmisi digital yaitu *Synchronous Digital Hierarchy (SDH)* dan *Pleiochromous Digital Hierarchy (PDH)*.

1. *Pulse Code Modulation*

Pada tahapan awal *multiplexing* membutuhkan konversi sinyal *voice* atau modem menjadi suatu aliran pulsa digital. Proses ini disebut *Pulse Code Modulation (PCM)*. *Pulse Code Modulation* merupakan proses konversi analog ke digital (A/D)

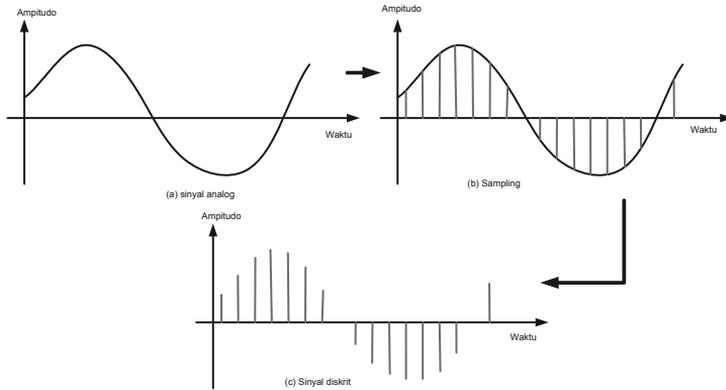
yang sederhana. Proses PCM terbagi menjadi tiga tahapan yaitu *Sampling*, *kuantisasi* dan *encoding/decoding*.



Gambar 2. 4 Elemen dasar system PCM

a. *Sampling*

Sampling adalah proses pembentukan sinyal diskrit dengan mengambil sample dari sinyal analog atau *continuous time signal*. Sample diambil pada suatu interval tertentu, dimana interval tersebut dapat berbasis domain waktu (*time domain*) atau ruang (*spatial domain*) atau variable independen lainnya. Dalam hal sistem komunikasi, secara umum digunakan berdasarkan basis waktu, interval ini membentuk *sampling rate*, yaitu suatu nilai jumlah sample yang diambil per satuan waktu, atau F_s .



Gambar 2. 5 Proses Sampling

Metoda sampling mengacu kepada teorema sampling *Nyquist*, dimana ketika suatu sinyal disample, nilai *sampling rate* (Frekuensi sampling) harus minimal dua kali dari frekuensi tertinggi dari sinyal yang disampling. Dengan kata lain, frekuensi sampling harus minimal dua kali dari *bandwidth* (B) sinyal. Hal ini untuk menghindari terjadinya *aliasing*.

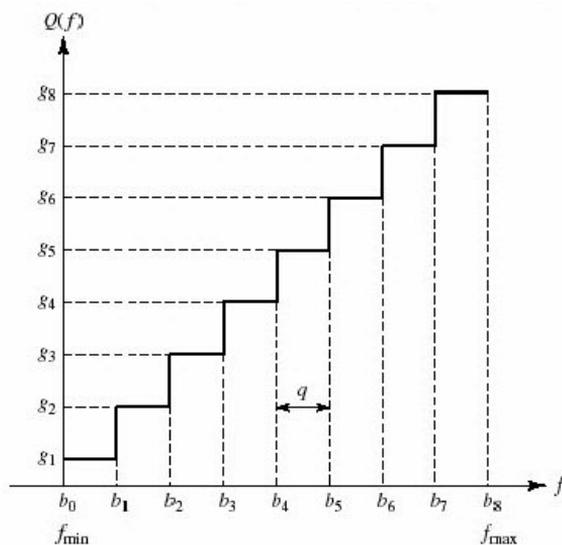
$$F_s > 2B \quad (2.1)$$

b. Kuantisasi

Pada proses kuantisasi, nilai amplitudo dari setiap sinyal yang telah disample akan dikonversi pada suatu bobot nilai kuantisasi tertentu. Kuantisasi dilakukan dengan membagi suatu jangkauan nilai dari sample analog

menjadi beberapa tingkatan yang berbeda, dan menentukan nilai dari setiap tingkatan pada suatu sample dalam *interveal* kuantisasi. Penentuan nilai tersebut dengan memperkirakan nilai sample anog dengan nilai kuantisasi yang terdekat. Sehingga hampir semua sampel yang terkuantisasi akan memiliki perbedaan nilai yang kecil dengan sample originalnya. Perbedaan itulah yang disebut kesalahan kuantisasi (*quantization error*).

Kuantisasi uniform bisa dilakuak ketika nilai sample pada jangkauan yang terbatas (F_{\min}, F_{\max}). Jarak total data dibagi menjadi $2n$ tingkat, interval L . sehingga tiap tingkat memiliki panjang yang sama Q . Q disebut sebagai interval kuantisasi atau *step size*.



Gambar 2. 6 Kuantisasi uniform [5]

c. Koding

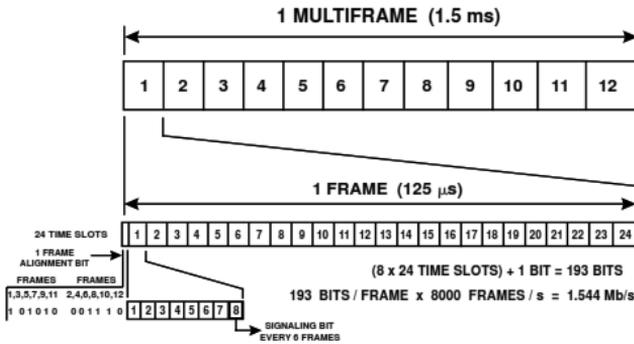
Pada tahapan ini, sample yang telah dikuantisasi akan dikodekan menjadi 8-bit *code word* dengan menggunakan aturan tertentu.

- Bit 1 adalah *Most Significant Bit* (MSB), merupakan nilai polaritas dari sample. “1” untuk polaritas positif dan “0” untuk polaritas negatif.
- Bit 2,3 dan 4 menunjukkan lokasi dari nilai sample. Ketiga bit ini membentuk kurva linier untuk sample positif/negatif level rendah
- Bit 5,6,7, dan 8 adalah *Least Significant Bits* (LSB) merupakan salah satu dari segmen yang terkuantisasi.

2. Format PCM-24

PCM-24 adalah *Frame* 24 kanal dengan panjang 125 μ s (mikro detik) dan terdiri dari 24 *time slot*, dimana setiap slot memiliki 8 bit. 7 bit pertama digunakan untuk encoding dan bit ke 8 digunakan untuk koding disemua *frame* kecuali pada *frame* ke 6, karena digunakan untuk pensinyalan. Pada setiap awal *frame*, ditambahkan 1 bit untuk *frame* dan *multiframe* sebagai sinkronisasi. Sehingga setiap *frame* terdiri dari $(24 \times 8) + 1 = 193$ bit. Dengan menggunakan *sampling rate* sebesar 8000 Hz, terdapat 8000 *frame* per detik, menghasilkan $193 \times$

8000 = 1544 Kb/detik. *Bit rate* pensinyalan adalah $(8000/6) \times 24 = 3200$ bit/detik.



Gambar 2. 7 Struktur *Frame* PCM-24 [6]

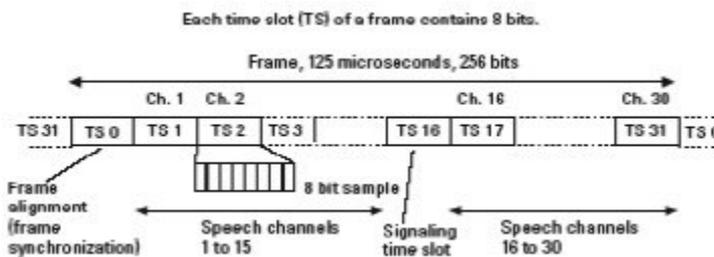
System 24 kanal memiliki 1.5 mili detik dan terdiri dari 12 *frame*. Sederetan *frame* dan *multiframe* dikirimkan secara sekuensial, dengan mengirimkan 1 bit pada awal setiap *frame*. Mereka dikirim bit demi bit pada siklus *frame* genap dan ganjil. Pengiriman selesai hanya setelah setiap *multiframe* dikirimkan.

3. Format PCM-30

Sistem PCM-24 digunakan di Negara amerika utara dan jepang, tetapi tidak di eropa dan Negara lainnya yang menggunakan sistem PCM-30. Konsep dasar konversi A/D dari kedua system tersebut sama. Namun, pada PCM-30 memiliki *frame* 30 kanal dengan panjang 125 μs (sama seperti PCM-24).

Frame 30 kanal terdiri dari 32 *time slot*, dengan durasi mendekati 3.9 μ s. *Time slot* tersebut memiliki nomor 0 hingga 31, dimana *time slot* 0 digunakan sebagai sinyal sinkronisasi *frame* dan *service bit*. *Time slot* nomor 16 digunakan sebagai sinyal sinkronisasi *multiframe* dan *service bit* dan juga untuk informasi pensinyalan dari setiap 30 kanal telepon. Setiap *multiframe* terdiri atas 16 *frame*, dengan durasi 1 *multiframe* adalah 2 mili detik.

Dengan setiap *time slot* memiliki 8 bit dan *sampling rate* sebesar 8000 Hz. Maka di dapatkan *bit rate* dari PCM - 30 adalah $(8 \times 8000) \times 32 = 2048$ Kbps



Gambar 2. 8 Struktur *Frame* PCM-24 [6]

C. Channel Encoder

Pada teorema kapasitas *shannon* menentukan rate transmisi maksimum C, dimana informasi dapat ditransmisikan dengan kehandalan yang tinggi. Sebagai contoh, kanal *Additive*

White Gaussian Noise (AWGN), kapasitas di dapatkan dengan rumus,

$$C = B \text{Log}_2(1 + S/N) \quad (2.2)$$

Dimana B adalah bandwidth kanal, S/N adalah rasio daya sinyal dan noise. Salah satu metode untuk mendekati limit *shannon* adalah menggunakan *error control coding* pada sistem, sehingga menghasilkan transmisi yang lebih handal, walaupun tentunya memerlukan lebih banyak *energy per bit* informasi.

Metode channel coding terbagi menjadi dua kelas berbeda, yaitu *block* dan *convolutional codes*. *Block coding* lebih mudah diimplementasikan, terdiri dari blok bit-bit informasi dan bit-bit *parity check* tergantung pada bagian informasinya. *Convolutional coding* menggunakan serangkaian data continuous, yang diproses oleh suatu penghitung kondisi yang terbatas. Penggunaan *channel coding* menghasilkan coding gain, dimana *coding gain* mampu membedakan SNR antara sistem *coded* dan *uncoded* pada tingkat BER tertentu.

D. Skema Modulasi Digital

Modulasi adalah suatu proses dimana parameter dari suatu gelombang divariasikan secara proposional terhadap gelombang lain. Parameter yang diubah tergantung pada besarnya modulasi yang diberikan. Proses modulasi mem-

butuhkan dua buah sinyal yang berupa sinyal informasi dan sinyal pembawa (*carrier*) dimana sinyal informasi tersebut ditumpangkan oleh sinyal carrier.

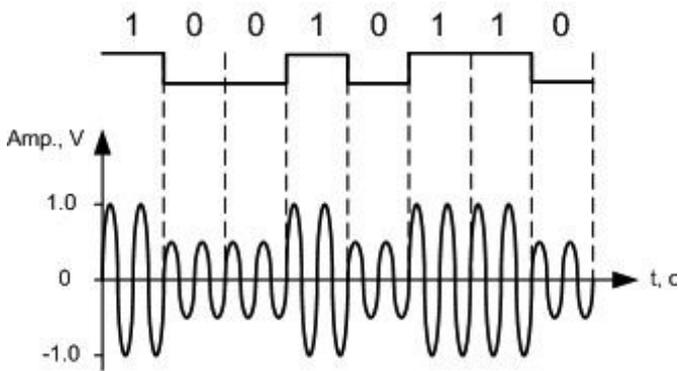
Modulasi digital adalah teknik pengkodean sinyal dari sinyal analog ke dalam sinyal digital (bit-bit pengkodean). Pada teknik ini, sinyal informasi digital yang akan dikirimkan dipakai untuk mengubah frekuensi dari sinyal pembawa. Dalam komunikasi digital, sinyal informasi dinyatakan dalam bentuk digital berupa biner "1" dan "0", sedangkan gelombang pembawa berbentuk sinusoidal yang termodulasi disebut juga modulasi digital.

Kelebihan utama penggunaan modulasi digital pada sistem komunikasi gelombang mikro adalah efisiensi bandwidth atau utilisasi spektrum, yaitu jumlah bit per detik per Hertz (b/s/Hz) yang bisa dikirimkan. Terdapat beberapa teknik modulasi digital, antara lain :

1. *Amplitude Shift Keting* (ASK)
2. *Frequency Shift Keying* (FSK)
3. *Phase Shift Keying* (PSK)
4. Penggabungan modulasi Phasa dan amplitudo, *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

1. *Amplitude Shift Keting (ASK)*

Amplitude Shift Keying (ASK) atau pengiriman sinyal berdasarkan pergeseran amplitude, merupakan suatu metode modulasi dengan mengubah-ubah amplitudo. Dalam proses modulasi ini kemunculan frekuensi gelombang pembawa tergantung pada nilai dari sinyal informasi digital, 1 atau 0.

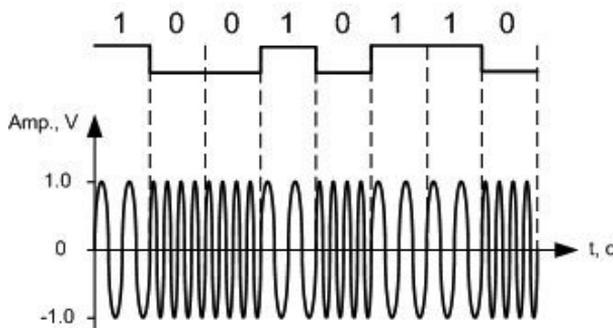


Gambar 2.9 *Amplitude Shift Keying* [9]

2. *Frequency Shift Keying (FSK)*

Frequency Shift Keying (FSK) atau pengiriman sinyal melalui penggeseran frekuensi. Metode ini merupakan suatu bentuk modulasi yang memungkinkan gelombang modulasi menggeser frekuensi *output* gelombang pembawa. Dalam proses modulasi ini besarnya frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan nilai sinyal informasi digital.

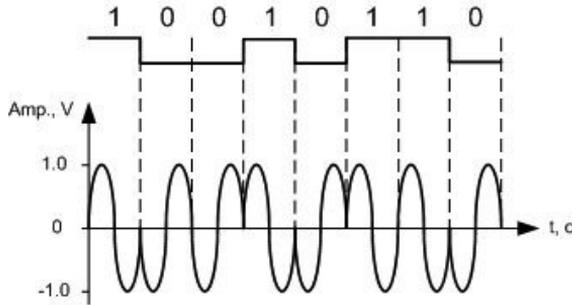
Dalam proses ini gelombang pembawa digeser ke atas dan ke bawah untuk memperoleh bit 1 dan bit 0.



Gambar 2. 10 *Frequency Shift Keying*[9]

3. *Phase Shift Keying (PSK)*

Modulasi digital *Phase Shift Keying (PSK)* merupakan modulasi yang menyatakan pengiriman sinyal digital berdasarkan pergeseran fasa. Biner 0 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa yang sama terhadap sinyal yang dikirim sebelumnya dan biner 1 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa berlawanan dengan sinyal dengan sinyal yang dikirim sebelumnya. Dalam proses modulasi ini, fasa dari frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan status sinyal informasi digital.

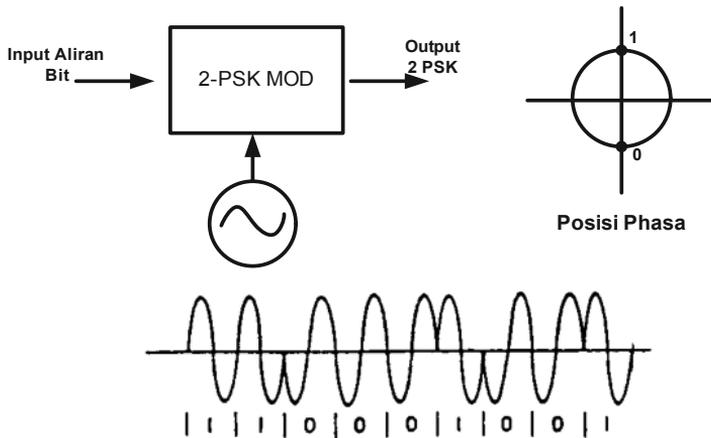


Gambar 2. 11 *Phase Shift Keying*[9]

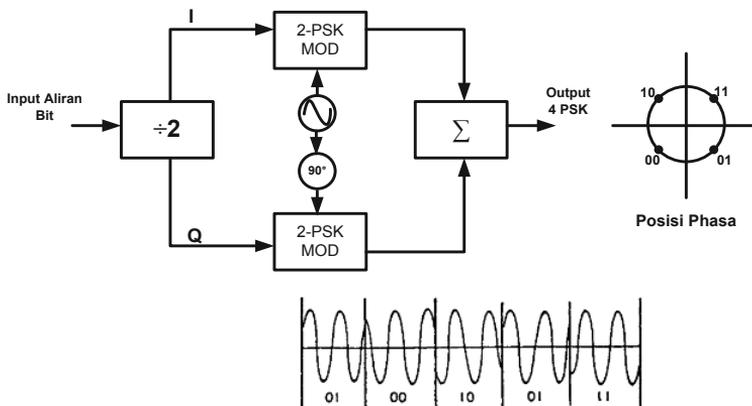
Modulasi PSK sering digunakan dalam teknologi komunikasi radio gelombang mikro digital. Terdapat beberapa level PSK, yang paling sederhana adalah PSK dua fasa atau disebut *Binary PSK* (BPSK). Pada jenis modulasi ini, aliran bit yang masuk sebagai input berbeda 180° setiap terjadi perubahan “1” ke “0”, juga sebaliknya, seperti di tunjukan pada gambar 2.12.

Level selanjutnya adalah PSK 4 Fasa atau disebut *Quadrature PSK* (QPSK atau 4-PSK). Pada modulasi ini aliran bit yang masuk dibagi menjadi dua aliran bit secara paralel menggunakan *serial to paralel converter*. Dua aliran bit itu, disebut *In-Phase* (I) dan *Quadrature Phase* (Q). terdapat *oscilator* yang membangkitkan frekuensi pembawa, yang melewati pembagi fasa 0° dan 90° . Aliran Bit I dan Q dikalikan dalam domain waktu dengan sinyal pembawa menggunakan *Mixer*. *Output* dari masing-masih aliran bit

dijumlahkan, kemudian melewati *filter bandpass*, menghasilkan gelombang seperti pada gambar 2.13.



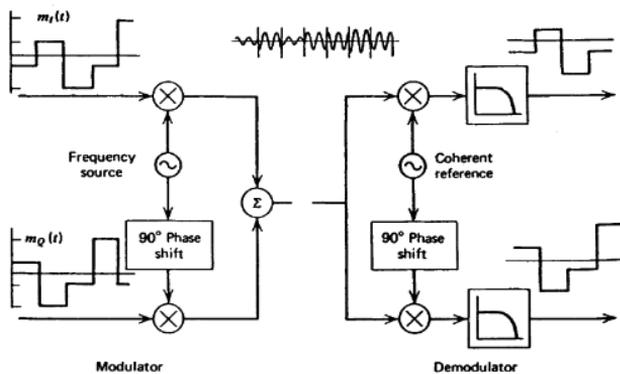
Gambar 2. 12 *Binary Phase Shift Keying*[9]



Gambar 2. 13 *Quadrature Binary Phase Shift Keying*[9]

4. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan penggabungan konsep PSK dan modulasi amplitudo, hal ini dilakukan untuk meningkatkan performa dan mengurangi *error*. QAM dapat dilihat sebagai perpanjangan dari konsep PSK. Sebagai contoh, 4-QAM, dimana dua level amplitudo digunakan sebagai masukan modulator 2-PSK. Namun, pada sistem QAM tingkat yang lebih tinggi memiliki perbedaan yang jelas dengan sistem PSK dengan tingkat yang lebih tinggi.



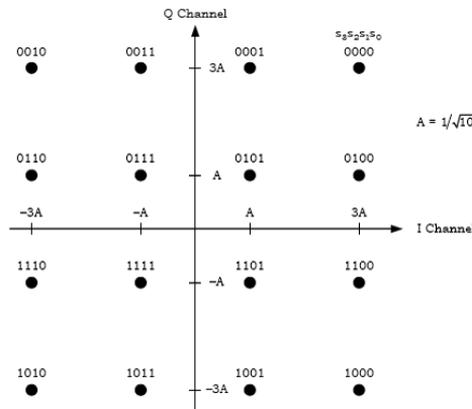
Gambar 2. 14 Cara kerja 16 QAM[9]

Pada gambar 2.14, menunjukkan cara kerja 16 QAM, dimana aliran bit yang akan dimodulasi dibagi menjadi 2 aliran bit paralel yang nantinya dirubah menjadi sinyal *Pulse Amplitude Modulation* (PAM) empat tingkat. Salah satu sinyal

informasi ditumpangkan pada sinyal pembawa yang dihasilkan oleh osilator lokal (LO), sedangkan sinyal informasi lain ditumpangkan pada LO yang sama setelah fasa-nya digeser 90°. Kedua sinyal tersebut kemudian dijumlahkan menghasilkan sinyal 16-QAM.

E. Up/down converter

Up Converter mengubah sinyal frekuensi *intermediate* (IF) menjadi sinyal frekuensi radio (RF) (band 6 GHz atau 14 GHz). Sebaliknya, *Down Converter* merubah sinyal RF menjadi sinyal IF.



Gambar 2. 15 Sinyal konstelasi 16 QAM[9]

Metoda konversi yang digunakan yaitu teknik *mixing* untuk *up conversion*, sebagai contoh:

$f_1 = 70 \text{ MHz}$, Frekuensi *Intermediate*

$f_2 = 6250 \text{ MHz}$, Frekuensi *Mixing*

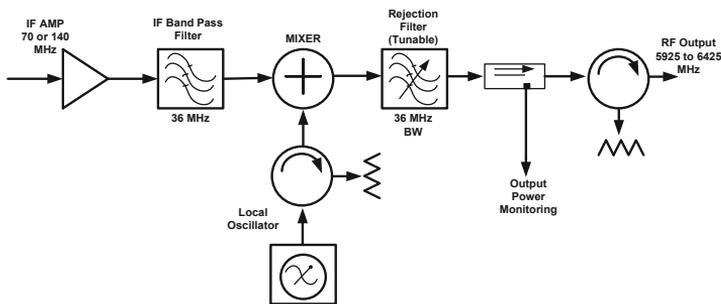
$f_3 = 6320 \text{ MHz}$, Frekuensi keluaran yang diinginkan

dengan menggabungkan f_1 dan f_2 , maka *mixer* akan menghasilkan :

$6250 \text{ MHz} + 70 \text{ MHz} = 6320 \text{ MHz}$, dan juga

$6250 \text{ MHz} - 70 \text{ MHz} = 6180 \text{ MHz}$

Selain menghasilkan frekuensi yang diinginkan 6320, juga menghasilkan 6180 MHz. inilah yang disebut *Upper Side Band* dan *Lower Side Band*. Untuk dapat mengilangkan frekuensi yang tidak diinginkan dapat menggunakan *filter narrow bandpass* yang hanya melewati *band* yang diinginkan.



Gambar 2. 16 Skema *Up Converter*[9]

Pada *down converter* memproses frekuensi yang tidak diinginkan (frekuensi *image*) dan menghasilkan dua *output*.

$f_1 = 4150 \text{ MHz}$, frekuensi yang diinginkan

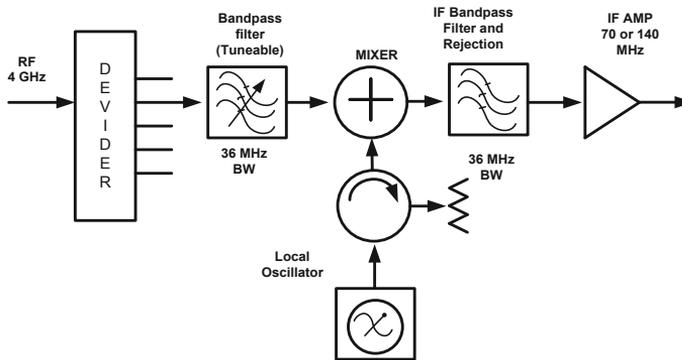
$f_2 = 4010 \text{ MHz}$, frekuensi *image*

$f_3 = 4080$ MHz, frekuensi *mixing*

4150 MHz *mixed* dengan 4080 MHz = 70 MHz, juga

4010 MHz *mixed* dengan 4080 MHz = 70 MHz.

Perhitungan diatas menunjukkan bahwa masukan 4150 MHz dan 4010 mhz akan memberikan *output* yang sama 70 MHz.



Gambar 2. 17 Skema *Down Converter*[9]

F. *High Power Amplifier (HPA)*

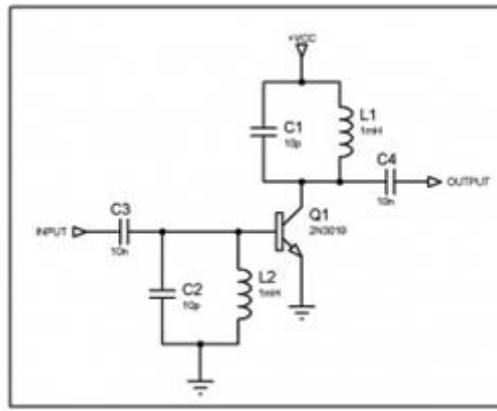
High Power Amplifier (HPA) atau Penguat daya RF atau RF power amplifier merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk menguatkan sinyal termodulasi sebelum ditransmisikan atau dikirimkan ke antena untuk dipancarkan. Kedudukan frekuensi adalah tetap setelah mengalami penguatan hanya saja terkadang timbul harmonik atau frekuensi bayangan yang tidak diinginkan kemunculannya. Biasanya jenis penguat RF

dibangun oleh suatu komponen *transistor* dengan jenis penguat daya kelas C. Penguat daya kelas C dipilih karena kemampuan menguatkan frekuensi radio (diatas 20kHz). *Transistor* yang digunakannya pun khusus *transistor* RF, yang secara khusus diproduksi oleh pabrikan semikonduktor untuk fungsi ini.

Penguat kelas A mempunyai kemampuan terbesar dalam mereproduksi masukan dengan distorsi yang kecil, dengan atau tanpa rangkaian umpan balik negatif. Namun, efisiensi sangat kecil jika dibandingkan dengan penguat kelas lainnya

Penguat daya kelas C mempunyai efisiensi yang lebih besar dan rangkaian yang lebih sederhana dibandingkan dengan penguat daya kelas A. Penguat kelas C hanya perlu 1 *transistor*. Ada beberapa aplikasi yang hanya memerlukan 1 fasa positif saja. *Transistor* penguat kelas C bekerja aktif hanya pada phase positif saja, bahkan jika cukup sempit hanya dikuatkan pada puncak-puncaknya. Sisa sinyalnya bisa direplika oleh rangkaian resonansi L dan C. Rangkaian tersebut tidak perlu dibuatkan bias, karena *transistor* memang sengaja dibuat bekerja pada daerah saturasi. Rangkaian L C pada rangkaian tersebut akan ber-resonansi dan ikut berpengaruh pada saat me-replika kembali sinyal input menjadi sinyal output dengan frekuensi yang sama. Rangkaian ini jika diberi umpan balik dapat menjadi rangkaian osilator RF yang sering digunakan pada pemancar. Penguat kelas C memiliki efisiensi

tinggi bahkan sampai 100%, namun tingkat fidelitasnya lebih rendah.

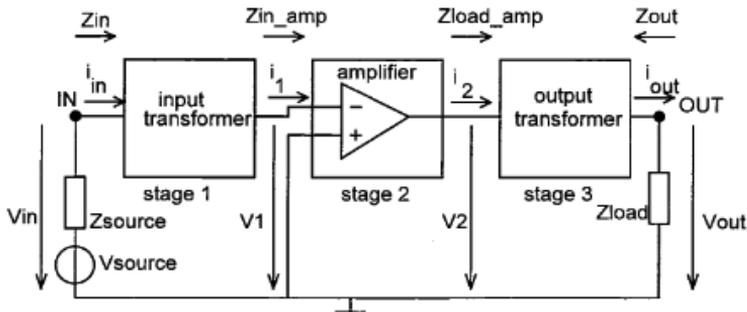


Gambar 2. 18 Penguat Daya kelas C [7]

G. *Low Noise Amplifier*

Low-noise amplifier (LNA) merupakan suatu bentuk dari penguat elektronik atau penguat yang digunakan dalam sistem telekomunikasi untuk menguatkan sinyal yang sangat lemah yang diterima oleh suatu antena. Lokasi LNA berada sangat dekat dengan antena sehingga rugi-rugi dalam feedline menjadi lebih sedikit. LNA merupakan komponen kunci dari sistem penerima radio gelombang mikro digital. LNA tidak hanya mampu mengurangi noise sinyal informasi yang diterima oleh antena penerima, namun juga memberikan gain pada sinyal

yang diperlukan untuk melewati tahapan selanjutnya, seperti demodulasi, decoding dan demultipleksing.



Gambar 2. 19 Tahapan *Low Noise Amplifier* [7]

LNA terdiri dari tiga tahapan yang berurutan, tahap pertama mengubah impedansi sumber menjadi suatu impedansi yang sesuai dengan impedansi masukan atau optimal *noise impedance* dari LNA *actual*. Tahapan kedua adalah LNA *actual*, yang terdiri dari beberapa bagian tersendiri yang dapat berupa transistor tunggal seperti pada aplikasi gelombang mikro digital. Tahapan terakhir, mengubah kembali impedansi untuk menyesuaikan impedansi keluaran transformer LNA dengan beban impedansi tertentu.

H. Antena

Antena berfungsi untuk menerima atau mengirimkan gelombang elektromagnetik ke ruang bebas. Antena memiliki

frekuensi kerja yang berbeda-beda. Semakin kecil frekuensi yang digunakan maka jangkauan link yang didapat akan semakin panjang, namun apabila frekuensi semakin besar maka jangkauan link yang didapat akan semakin pendek. Jenis dari antena sangat beragam seperti antena *horn*, *yagi*, *plannar*, *array*, dan sebagainya.



Gambar 2. 20 Antenna Gelombang Mikro [15]

Antena *parabolic* menggunakan pemantul *parabolic*, suatu permukaan cekung dengan bentuk seperti parabola untuk mengarahkan gelombang radio. Perangkat ini memiliki diameter dari 6 inci hingga 12 inci tergantung kepada aplikasi dan penggunaannya. Sedangkan antena *horn* memiliki *waveguide* yang menjulang terbuat dari metal yang berbentuk seperti tanduk untuk mengarahkan gelombang radio pada

suatu *beam*. Antenna jenis ini sering digunakan pada frekuensi UHF dan gelombang mikro dibawah 300 MHz.

I. Saluran Transmisi

Saluran transmisi atau *Transmission line* adalah suatu perangkat yang dirancang untuk memandu energi listrik dari suatu titik ke titik yang lain. Sebagai contoh untuk mentransfer output sinyal RF dari sebuah pemancar ke antenna. Energi ini tidak disalurkan menggunakan kabel listrik biasa yang tentu saja akan menimbulkan rugi yang besar. Walaupun antenna dapat dihubungkan langsung ke pemancar, antenna umumnya berada pada lokasi dengan jarak tertentu dari pemancar. Pada suatu kapal, pemancar ditempatkan pada ruang radio dan antenanya dipasang pada tiang. Saluran transmisi digunakan untuk menghubungkan pemancar dan antenna tersebut.

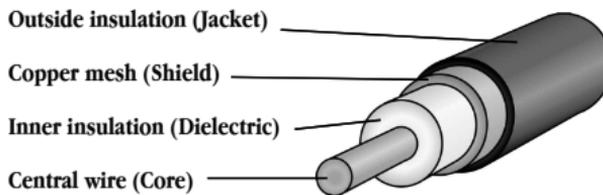
Bagi pemancar maupun antenna, saluran transmisi berperan mentransfer energi dari output pemancar ke antenna dengan rugi yang serendah mungkin. Transfer energi yang optimal bergantung kepada karakteristik fisik dan listrik (impedansi dan resistansi) dari saluran transmisi.

Pada sistem komunikasi gelombang mikro, saluran transmisi yang biasa digunakan antara lain:

- 2 kabel tembaga parallel
- Kabel *coaxial*

- *Microstrip Line*
- Serat Optik
- *Waveguide*, dan lain-lain.

Kabel *coaxial* memiliki kawat inti, yang dilapisi oleh material non konduktif (*insulation* atau *dielectric*) dan dilapisi lagi dengan pelindung yang terbuat dari kawat yang dianyam. Dielektrik berfungsi untuk menjaga agar kawat inti dengan pelindungnya terpisah. Pada bagian luar *coaxial* dilindungi oleh pelindung yang terbuat dari bahan PVC. Konduktor yang berada di bagian inti membawa sinyal RF, sedangkan pelindung luar menjaga sinyal RF agar tidak memancar keluar dan menjaga sinyal dari luar menginterferensi sinyal yang dibawa oleh kawat inti.



Gambar 2. 21 Kabel Coaxial sebagai saluran transmisi [15]

Walaupun kabel *coaxial* baik dalam hal membawa sinyal RF, namun terdapat tahanan pada aliran listriknya, dengan kata lain terdapat pelemahan (*fading*) terhadap sinyal yang

menjalar pada kawat inti. Pelemahan ini biasa disebut atenuasi yang diukur dengan dB/m. Nilai atenuasi adalah fungsi frekuensi sinyal dan konstruksi fisik dari kabel itu sendiri.

Rangkuman

Proses sistem komunikasi radio, dimulai dari pengolahan sinyal *baseband*, *multiplexing*, modulasi hingga penguatan oleh *high power amplifier*.

Untuk menghasilkan kualitas dan performa komunikasi yang baik, perlu memperhatikan berbagai parameter dari dan sub-sistem dari komunikasi gelombang mikro seperti jenis perangkat yang digunakan, antenna, saluran transmisi, pemilihan modulasi dan-lain.

Soal Latihan

1. Apa perbedaan cara kerja sistem komunikasi gelombang mikro analog dan digital?
2. Apa yang dimaksud dengan antena isotropis?
3. Apa yang dimaksud dengan modulasi ? Bagaimana cara kerjanya ?
4. Apa kelebihan saluran transmisi menggunakan kabel *coaxial* ?
5. Jelaskan cara kerja *Pulse Code Modulation*?

PROPAGASI RADIO GELOMBANG MIKRO

Tujuan Instruktusional
Pembaca mampu mengerti
dan menjelaskan antara lain:

1. Jenis – jenis propagasi radio gelombang mikro digital.
2. Pengaruh atmosfer, redaman hujan
3. Pengaruh multipath fading dalam komunikasi radio gelombang mikro digital dan penanganannya.
4. Pengaruh Interferensi dalam komunikasi radio gelombang mikro digital.

A. Propagasi Gelombang Mikro

Propagasi adalah suatu sifat dari gelombang elektromagnetik yang terjadi ketika merambat pada media. Propagasi gelombang harus diperhatikan secara teliti karena kualitas penerimaan dalam bentuk level daya sangat dipengaruhi oleh kanal propagasinya. Dalam komunikasi gelombang radio, informasi yang dikirimkan dari pemancar dan diterima oleh penerima sesuai dengan aturan antara lain:

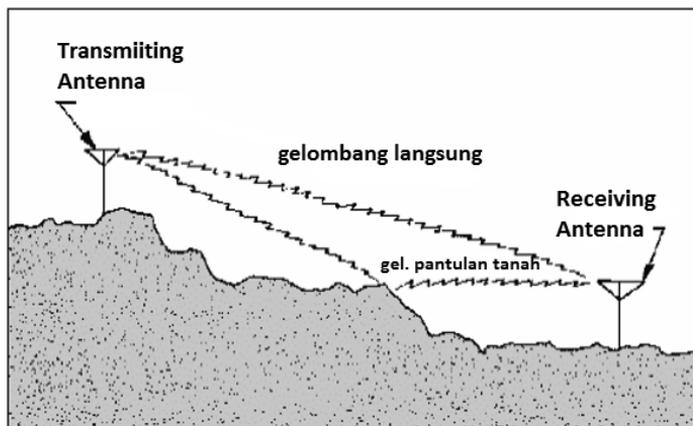
1. Pemancar membangkitkan sinyal frekuensi radio ke medium propagasi.
2. Gelombang radio melintas melalui medium dan dipengaruhi oleh mekanisme propagasi.
3. Gelombang radio yang dikirimkan terlebih dahulu akan dideteksi oleh penerima.

Gelombang radio yang dipancarkan dari perangkat pemancar memiliki kecepatan hampir mencapai kecepatan cahaya. Propagasi gelombang mikro ditentukan oleh medium pelintas gelombang. Lintasan gelombang radio yang dipancarkan merupakan salah satu gabungan dari hal seperti berikut:

1. Propagasi Ruang Bebas (*Free Space*)

Pada propagasi ruang bebas, gelombang radio tidak dipengaruhi oleh bumi atau *atmosphere* dan pada propagasi

ruang bebas ini sangat jarang terjadi. Propagasi ruang bebas terjadi apabila pada sisi pemancar dan penerima tidak dipengaruhi oleh permukaan bumi ataupun objek yang menyebabkan refleksi dan terjadinya penerapan termasuk oleh sisi pemancar dan peneriman sendiri.

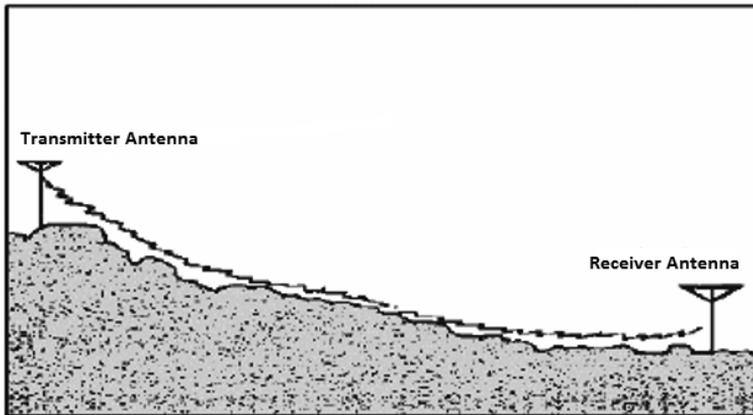


Gambar 3. 1 Gelombang langsung dan pantulan tanah [12]

2. Gelombang Tanah

Gelombang tanah merupakan suatu radiasi yang dipengaruhi oleh permukaan bumi dan objek yang berada di permukaan bumi. Pada gelombang tanah menjalar dengan dipengaruhi berbagai objek yang dapat menyebabkan terjadinya penyerapan gelombang seperti bangunan, bukit, vegetasi,

gunung dan beberapa objek yang tidak beraturan yang terdapat pada permukaan bumi.



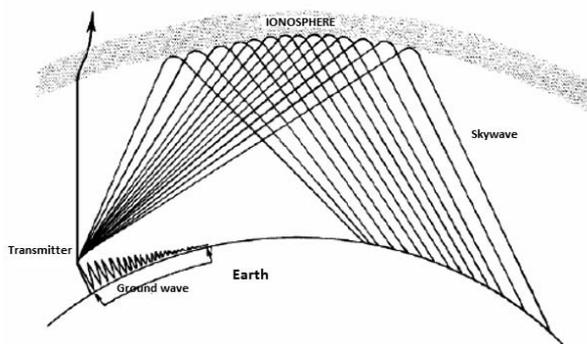
Gambar 3. 2 Gelombang permukaan tanah [12]

3. Gelombang Troposfer

Gelombang *troposfer* merupakan radiasi gelombang yang tetap terjaga dekat daerah permukaan bumi yang disebabkan oleh pembelokan pada atmosfer bawah. Gelombang *troposfer* juga merupakan suatu hambatan yang dapat menyebabkan interferensi dan kekurangan daya dari gelombang itu sendiri. Disamping itu gelombang *troposfer* juga didefinisikan sebagai hasil dari penyerapan gelombang radio oleh bangunan, vegetasi, bukit dan gunung.

4. Gelombang *Ionosfer*

Gelombang *ionosfer* merupakan gelombang yang berasal dari gelombang radio yang memiliki sudut vertikal. Dengan adanya pantulan yang berturut-turut dari permukaan bumi dan *ionosfer*, maka komunikasi dapat terjadi pada posisi yang sangat jauh.

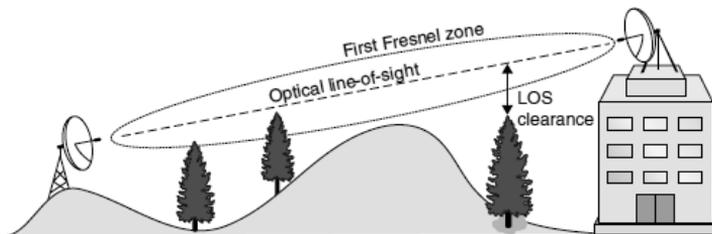


Gambar 3. 3 Gelombang *Ionosfer* [12]

B. *Line Of Sighth* Gelombang Mikro

Sistem komunikasi gelombang mikro adalah komunikasi tanpa kabel yang memanfaatkan udara bebas sebagai media transmisi untuk membawa sinyal informasi. Tujuan dari sistem komunikasi gelombang mikro (*microwave*) adalah untuk mentransmisikan informasi dari suatu tempat ke tempat lain tanpa adanya interupsi dan sampai ke penerima dengan jelas.

Sistem komunikasi *microwave* terdiri atas 2 bagian pokok, yaitu pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Dalam perjalanannya dari antenna pemancar ke antenna penerima, gelombang radio melalui berbagai lintasan dengan beberapa mekanisme perambatan dasar. Mekanisme perambatan dasar tersebut adalah *Line of Sight* (LOS) merupakan lintasan gelombang radio yang mengikuti garis pandang yang berarti bahwa antara antenna pemancar dan antenna penerima tidak ada penghalang (*obstacle*), yang menghalangi lintasan perambatan gelombang mikro seperti pada Gambar yang merupakan propagasi LOS.



Gambar 3. 4 Ilustrasi propagasi LOS [13]

C. Rugi Rugi Propagasi Ruang Bebas (*Free Space Loss Propagation*)

Rugi-rugi ruang bebas merupakan fungsi kuadrat frekuensi ditambah kuadrat jarak ditambah sebuah konstanta.

Bila antena pemancar *isotropis* memancarkan daya P_T . Antena pemancar adalah titik sumber yang memancarkan daya secara *uniform* ke segala arah, dimana terdapat diameter d yang meruakan pusat dari titik sumber tersebut.

Secara singkat rugi-rugi ruang bebas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$FSL_{dB} = 32.45 + 20 \log D_{km} + 20 \log F_{MHz} \quad (3.1)$$

Dimana D adalah jarak dari pengirim ke penerima (satuan Km), dan F adalah Frekuensi (satuan Mhz).

Namun, bila menggunakan satuan jarak mil (D dalam mil), dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$FSL_{dB} = 36.58 + 20 \log D_{mil} + 20 \log F_{MHz} \quad (3.2)$$

Untuk mengukur kuat medan pada link *point-to area* berdasarkan standar ITU-R P.525-2, menggunakan persamaan,

$$E = \sqrt{\frac{30p}{D}} \quad (3.3)$$

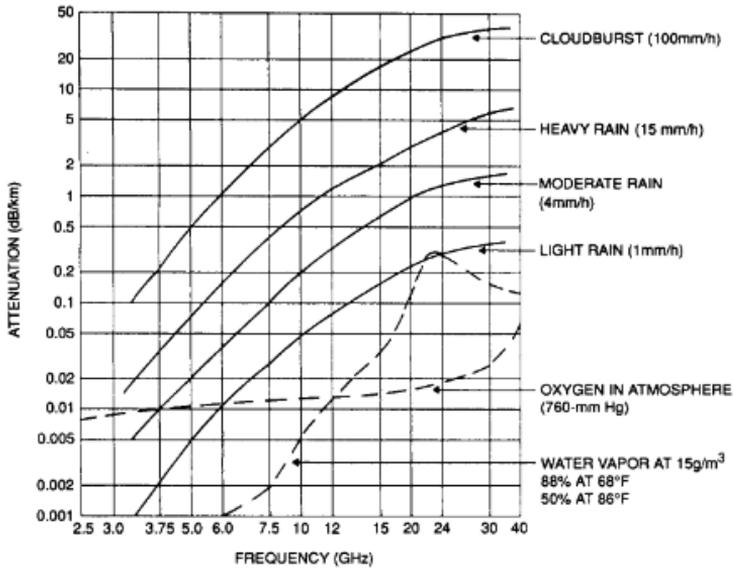
Dimana E adalah *root mean square* (rms) kuat medan, dalam *volt per meter*; p adalah daya yang dipancarkan secara *isotropis* (EIRP) dari pengirim, dalam *watt*; dan D adalah jarak dari pengirim ke penerima, dalam *meter*.

D. Pengaruh Atmosfer

Jika pancaran radio menjalar di ruang bebas, dimana tidak ada pengaruh atmosfer, maka jalur pancaran akan seperti garis lurus. Namun dikarenakan adanya pengaruh atmosfer bumi, maka gelombang radio akan mengalami berbagai fenomena yang merubah sifat penjalaran sinyal. Fenomena tersebut dapat berupa pembiasan sinyal yang dikarenakan perbedaan indek bias lapisan atmosfer, hingga penyerapan gas yang mampu mengurangi level daya sinyal.

1. Absorpsi

Pada komunikasi gelombang mikro, penjalaran sinyal akan selalu terpengaruh berbagai fenomena yang terjadi pada lapisan atmosfer. *Oksigen* yang terkandung pada atmosfer menyerap energi gelombang mikro, namun pengaruh atenuasi tersebut relatif kecil pada jangkauan frekuensi yang digunakan untuk komunikasi gelombang mikro, mendekati 0.01dB/km pada 2 GHz dan meningkat 0.02 dB/km pada frekuensi 26 GHz.



Gambar 3. 5 Pengaruh absorpsi atmosfer [6]

2. Redaman Hujan

Pengaruh hujan terhadap komunikasi gelombang mikro sangat signifikan, terutama pada frekuensi yang lebih tinggi. Atenuasi meningkat secara lebih besar ketika terdapat kandungan air di lapisan atmosfer pada jalur gelombang mikro. Pada frekuensi 6 GHz, atenuasi mencapai 0.001 dB/km dikarenakan uap air yang berada pada atmosfer. Ketika kandungan uap air meningkat dikarenakan kabut dan hujan ringan, atenuasi akan bertambah menjadi 0.01 dB/km, dan ketika terjadi hujan besar dengan awan mendung maka atenuasi meningkat hingga 1 dB/km. energi gelombang mikro

terserap dan terpecah dikarenakan butiran air hujan. Pada hop yang memiliki jarak hingga 40 km atenuasi akan meningkat menjadi 40 dB, yang cukup untuk mengurangi kualitas transmisi. Namun, awan mendung tidak akan mencakup jarak hingga 40 km dan atenuasi tidak akan melebihi 40 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hujan tidak memiliki pengaruh serius untuk frekuensi 6 GHz, walaupun dapat merusak kualitas komunikasi pada wilayah tropikal yang memiliki frekuensi curah hujan lebat yang tinggi.

Pada frekuensi yang lebih tinggi, terutama diatas 10 GHz, hujan dapat menyebabkan masalah transmisi yang parah. Sebagai contoh, pada frekuensi 12 GHz atenuasi dapat mencapai hingga 10 dB/km. Bahkan, pada awan mendung yang pekat mampu memutuskan transmisi.

Maka dapat disimpulkan bahwa, dalam perancangan komunikasi gelombang mikro digital, untuk mendapatkan kehandalan yang tinggi, diperlukan pengurang panjang hop atau menggunakan frekuensi yang lebih rendah untuk transmisi.

Butir-butir hujan memberikan redaman terhadap gelombang elektromagnetik yang melintas. Semakin lebat hujan maka redaman tersebut semakin besar.

Besarnya redaman karena curah hujan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$A = a \times R^b \quad (3.4)$$

$$r = \frac{90}{90+4D}(3.5)$$

$$A_{eff} = A \times D \times r(3.6)$$

dimana:

A = redaman karena hujan dalam dB/km

R = besarnya curah hujan dalam mm/jam

r = faktor reduksi

D = panjang lintasan dalam km

a dan b : merupakan fungsi dari frekuensi dan polarisasi, dengan a dan b menurut tabel 3.1 di bawah ini.

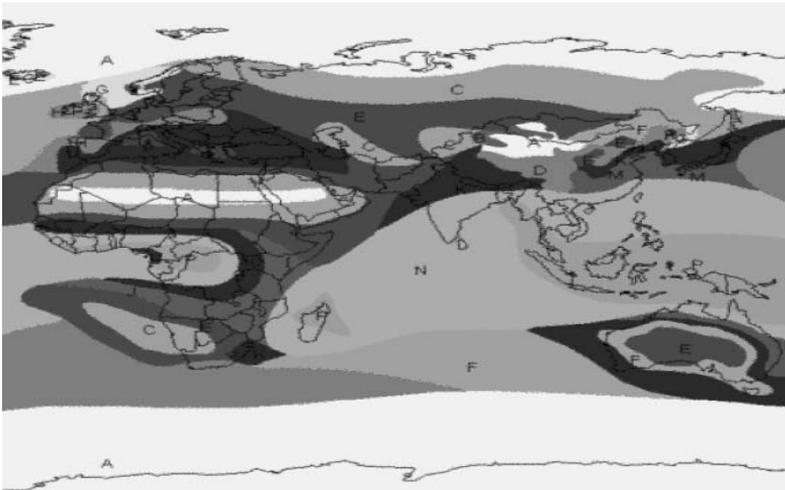
Tabel 3. 1 Tabel koefisien redaman hujan [2]

Frequency (GHz)	a horizontal	b horizontal	a veritcal	b vertical
1	0.0000387	0.912	0.0000352	0.880
2	0.000154	0.963	0.000138	0.923
4	0.000650	1.121	0.000591	1.075
6	0.00175	1.308	0.00155	1.265
7	0.00301	1.332	0.00265	1.312
8	0.00454	1.327	0.00395	1.310
10	0.0101	1.276	0.00887	1.264

Frequency (GHz)	a	b	a	b
	horizontal	horizontal	veritcal	vertical
12	0.0188	1.217	0.0168	1.200
15	0.0367	1.154	0.0335	1.128
20	0.0751	1.099	0.0691	1.065
25	0.124	1.061	0.113	1.030
30	0.187	1.021	0.167	1.000
35	0.263	0.979	0.233	0.963
40	0.350	0.939	0.310	0.929
45	0.442	0.903	0.393	0.897
50	0.536	0.873	0.479	0.868
60	0.707	0.826	0.642	0.824
70	0.851	0.793	0.784	0.793
80	0.975	0.769	0.906	0.769
90	1.06	0.753	0.999	0.754
100	1.12	0.743	1.06	0.744
120	1.18	0.731	1.13	0.732
150	1.31	0.710	1.27	0.711
200	1.45	0.689	1.42	0.690

Frequency (GHz)	a horizontal	b horizontal	a vertical	b vertical
300	1.36	0.688	1.35	0.689
400	1.32	0.683	1.31	0.684

Adapun pembagian daerah hujan untuk setiap area menurut ITU-R Pn.837-1 yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3. 6 Pembagian Curah Hujan Di Dunia [2]

dan pembagian curah hujan daerah menurut ITU-R Pn.837-1 ditunjukkan pada tabel 3.1. Ditinjau dari data tersebut,

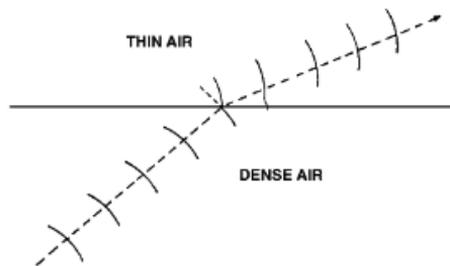
Indonesia termasuk golongan daerah hujan P di mana intensitas hujan termasuk besar.

3. Pengaruh Pembiasan pancaran Komunikasi gelombang Mikro (Refraksi)

Refraksi adalah pembengkokan atau pembelokan gelombang radio karena perubahan karakteristik atmosfer (karena perubahan temperatur, kerapatan, kelembaban). Perubahan temperatur, kerapatan kelembaban dan ketinggiannya dari permukaan bumi atmosfer berpengaruh terhadap cepat rambat gelombang. Perubahan kerapatan berpengaruh kepada kecepatan penjalaran gelombang mikro melewati atmosfer,

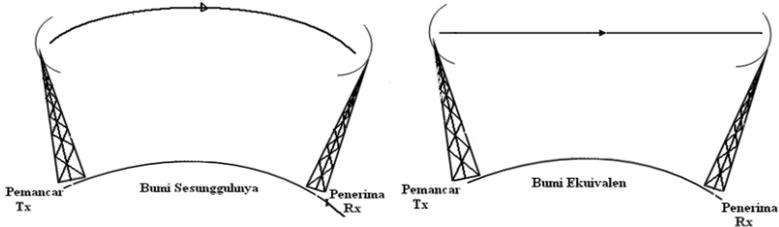
$$Velocity (v) = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.7)$$

Dimana, n = indeks pembiasan; c = Kecepatan cahaya dan ϵ_r = Permittivity relatif.



Gambar 3. 7 Pembiasan Gelombang Mikro [12]

Lintasan gelombang radio pada kenyataannya melengkung, maka untuk memudahkan analisis, lintasan gelombang radio dimanipulasi jari-jari bumi seperti diilustrasikan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Microwave Path: Real Earth vs Equivalent Earth*[12]

a. K Factor

K Factor merupakan faktor skala yang mengukur kelengkungan dari pancaran gelombang mikro. Perubahan dari belokan bumi yang disebabkan oleh refraksi dinyatakan dengan *K Factor*, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara radius ekuivalen dari bumi dengan radius bumi yang sebenarnya, seperti pada persamaan,

$$k = \frac{r}{r_0} \quad (3.8)$$

Dengan,

k = k-factor

r = radius bumi ekuivalen

r₀ = radius bumi sesungguhnya

Secara ideal, komunikasi radio gelombang mikro dibatasi oleh optikal horizon ($K=1$), namun hal tersebut sangat sulit tercapai. Sebab, implementasi dilapangan suatu link komunikasi dapat dicapai hingga $K=3/4$, dikarenakan oleh pembelokan pancaran gelombang mikro yang disebabkan oleh refraksi *angular*.

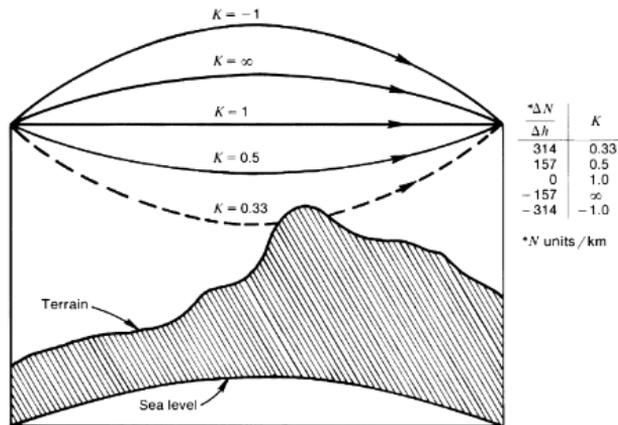
Refraksi angular melewati atmosfer menyebabkan gelombang radio berjalan dengan kecepatan dan jalur yang berbeda pada sebuah medium yang memiliki konstanta *dielektrik* yang bervariasi. Pada *free space* mampu memiliki kecepatan maksimum. Namun pada kondisi atmosfer *non-ionized*, gelombang radio berjalan lebih lambat, hal ini dikarenakan oleh konstanta *dielektrik* yang lebih besar yang dikarenakan oleh pengaruh molekul gas dan air.

Saat kondisi atmosfer normal, dalam perhitungan radius bumi ekuivalen biasanya digunakan $k = 4/3$. Bila menggunakan $k = 4/3$ dan dengan mengalikan radius bumi yang sesungguhnya dengan harga k tersebut, maka pada waktu 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* $k = 4/3$. Terdapat

beberapa kondisi k -factor lainnya, dengan nilai perubahan harga k -factor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.

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.

$k > 4/3$ *Super-refractive* Atm. Jalur dari gelombang radio terlalu jauh dari permukaan bumi dan bisa memperluas interferensi yang tidak diinginkan.

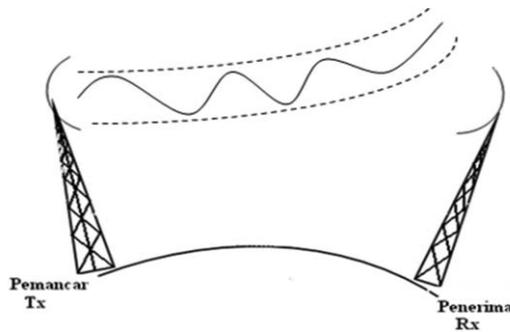


Gambar 3. 9 Perubahan Harga k -factor[6]

4. *Ducting*

Ducting adalah peristiwa di mana terperangkapnya gelombang mikro dalam sebuah atmosfer *waveguide* seperti

ditunjukkan pada Gambar 3.10. Ini biasa terjadi pada ketinggian yang rendah dengan lapisan atmosfer yang sangat padat dan terjadi di dekat atau di atas permukaan air.



Gambar 3. 10 Fenomena *Ducting*[6]

E. Pengaruh Terrain

1. 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 penggunaa 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 meningkat, 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.

a. *Fresnel Zone*

Pada kondisi transmisi normal, perancang sistem harus merancang suatu zona yang bersih dari penghalang. *Fresnel* mengembangkan teori untuk menghitung zona bebas penghalang dengan mempertimbangkan difraksi penghalang, frekuensi dan jarak.

Untuk menghindari pengaruh difraksi, maka ditetapkan daerah *clearance* (bebas dari penghalang/obstacle) yang salah satu komponennya adalah *Fresnel 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 akan menambah redaman lintasan. Gambar 3.11 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 sem-

purna (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 antenna penerima akan saling menguatkan. Persamaan untuk mencari batas daerah Fresnel adalah dengan menggunakan persamaan

$$F_n = 17,3 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot D}} \quad (3.9)$$

dimana,

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

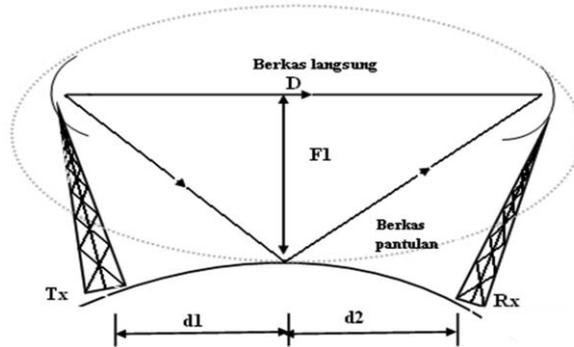
d_1 = jarak antara pemancar dengan penghalang (km)

d_2 = jarak antara penghalang dengan penerima (km)

$D = d_1 + d_2$

f = frekuensi (GHz)

n = daerah *Fresnel* ke (1,2,3,4,dan seterusnya)



Gambar 3. 11 Daerah *Fresnel*[6]

Analisis jari-jari *Fresnel* dihitung pada kondisi permukaan bumidatar, karena itu untuk analisis pada permukaan bumi bulat (kondisi *real*) perlu ditambahkan perhitungan Faktor koreksi pada kelengkungan bumi pada titik obstacle/halangan.

b. Clearance

Lintasan sinyal yang ditransmisikan pada sistem *line of sight* harus mempunyai daerah bebas hambatan yang disebut *clearance*. Daerah *clearance* ditentukan untuk menghindari pengaruh dari jalur jamak terutama karena pantulan tanah. *Clearance* minimum adalah 0.6 dari daerah *Fresnel* pertama ($0.6 F1$).

Dalam analisa profil lintasan digunakan peta permukaan bumi datar maka diperlukan faktor koreksi terhadap ketinggian titik penghalang (obstacle) yang

nilainya sama dengan kelengkungan bumi. Nilai faktor-koreksi dapat dicari dengan rumus berikut:

$$h_{koreksi} = \frac{0.0785 \times d_1 \times d_2}{k} \quad (3.10)$$

Sehingga nilai clearance dengan faktor koreksi adalah:

$$Clearance = 0.6 \times F_1 + h_{koreksi} \quad (3.11)$$

dimana:

CL = daerah clearance (m)

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

d_1 = jarak antara pemancar dengan penghalang (km)

d_2 = jarak antara penerima dengan penghalang (km)

k = Faktor kelengkungan bumi, dimana:

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

$k = 4/3$; daerah sedang

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

F_1 = daerah fresnel pertama (m)

2. Pemantulan Bumi (Refleksi)

Ketika gelombang radio menabrak permukaan bumi, tidak dipantulkan dari suatu titik di permukaan bumi, namun dari suatu daerah dengan ukuran tertentu. Ukuran daerah

pantulan cukup besar untuk mencakup beberapa zona *fresnel* atau mungkin lebih kecil dari itu.

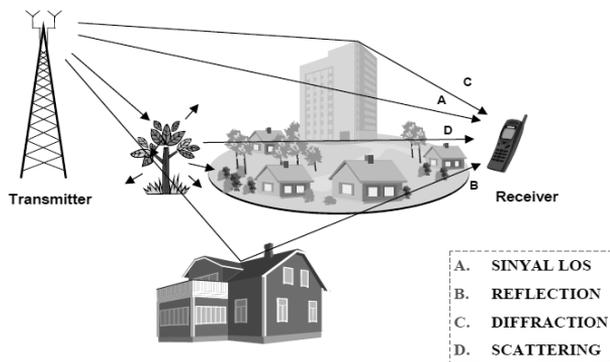
Pengaruh pantulan bumi dapat merubah fasa bergantung kepada polarisasi sinyal dan sudut kedatangan. Gelombang dengan polarisasi *horizontal*, dipantulkan dari permukaan bumi dan menggeser fasa hampur mendekati 180° . hal ini menyebabkan perubahan panjang jalur hingga setengah panjang gelombang ($\lambda/2$). 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 mampu direduksi.

F. *Fading*

Fading adalah pelemahan sinyal dikarenakan perbedaan fasa, polarisasi atau level daya pada suatu sinyal pada penerima. Kebanyakan definisi dasar dari *fading* mengacu kepada mekanis propagasi seperti refraksi, refleksi, difraksi, *scattering* (penghamburan), atenuasi dan *ducting* dari gelombang radio. Dalam komunikasi *ragio* gelombang mikro, *fading* disebabkan oleh suatu keadaan bumi tertentu atau

kondisi cuaca yang buruk, sehingga menyebabkan komunikasi antar pengirim dan penerima terganggu. Namun, *fading* merupakan suatu yang alamiah terjadi dalam sistem komunikasi dengan media apapun, sehingga tidak dapat dihindari. Sehingga memerlukan perencanaan yang seksama dalam mengantisipasinya.



Gambar 3. 12 Fenomena Propagasi Radio [2]

Secara umum, terdapat dua kategori utama dari *fading*:

1. *Flat Fading* (tidak tergantung pada frekuensi)
2. *Frequency Selective Fading*

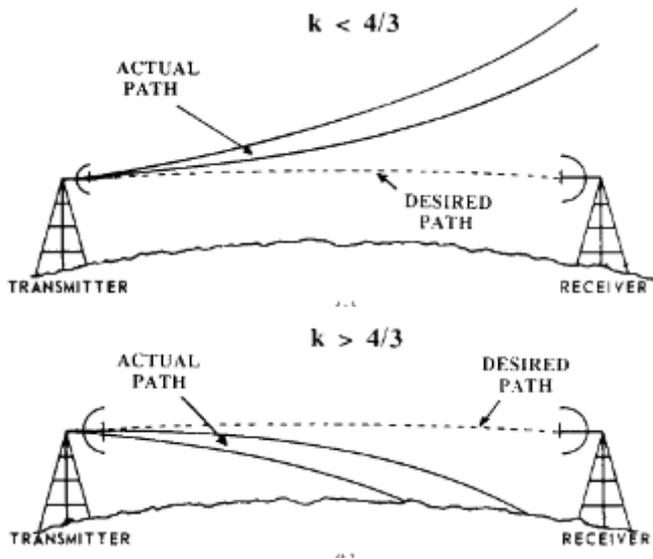
Kedua jenis fading tersebut tidak dapat diprediksi secara akurat dikarenakan oleh berbagai keadaan atmosfer. Pada implementasi komunikasi gelombang mikro dilapangan, pengaruh cuaca dan *terrain* sering menjadi penyebab *fading*,

namun semua keadaan *fading* hanya dapat dinyatakan secara statistik dan menggunakan teori probabilitas. Sebagai gambarannya, kegagalan komunikasi sistem gelombang mikro diukur dalam suatu persentase dalam suatu tahun atau satuan waktu lainnya dikarenakan oleh *fading*. Namun terdapat teknik untuk memperbaiki waktu kegagalan tersebut.

1. *Flat Fading*

Terdapat dua bentuk *flat fading* yang telah dibahas sebelumnya, yaitu *ducting* dan redaman hujan. Fenomena *Flat fading* menyebabkan pembiasan atau pembelokan pancaran gelombang. Pancaran gelombang mikro dapat berubah dikarenakan oleh indeks pembiasan (konstanta *dielektrik*) di udara; $k = \frac{3}{4}$ merupakan kondisi atmosfer standar, dimana 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 pemancar/pengirim. Ketika kerapatan udara merubah indeks bias atmosfer, maka pancaran membelok keatas atau kebawah tergantung kepada *K Factor*. ketika *K Factor* lebih kecil dari $\frac{3}{4}$, disebut kondisi *subrefractive* atau *substandard*, menyebabkan pancaran dibelokan keatas. Sedangkan ketika k lebih besar dari $\frac{3}{4}$, disebut pancaran *superrefractive* atau *superstandard*

menyebabkan pancaran dibelokkan kebawah. Penurunan kuat sinyal pada penerima, tergantung kepada seberapa jauh pembelokan terjadi dari standar yang ditoleransiakan.



Gambar 3. 13 Kondisi *subrefractive* dan *superrefractive* [6]

Untuk pembelokan pancaran kebawah, menyebabkan energi pancaran dipantulkan dari suatu bidang atau penghalang. Bila suatu energi yang dipantulkan tersebut menginterferensi energi pada jalur LOS (*direct path*), maka hal tersebut menyebabkan *frequency selective*.

G. *Frequency Selective Fading*

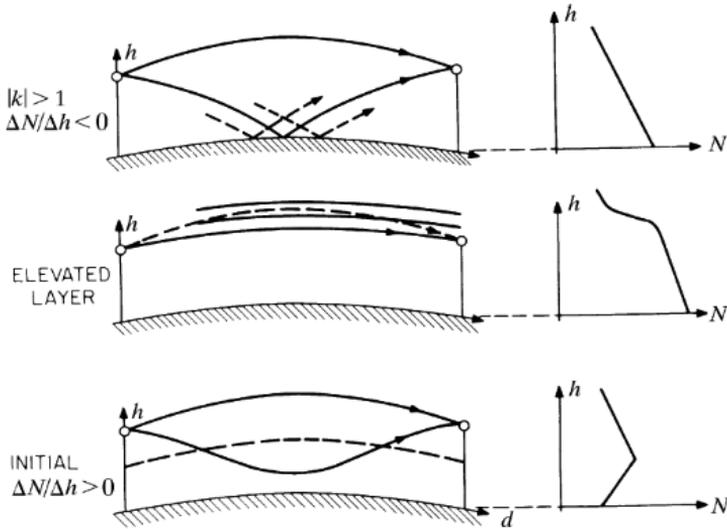
1. *Multipath Fading*

Multipath fading merupakan *fading* yang paling sering terjadi, terutama pada link radio LOS. Hal ini menyebabkan dispersi (penyebaran) sinyal, dimana menjadi masalah dalam link LOS digital yang berkecepatan bit rate tinggi.

Multipath Fading dapat disebabkan oleh beberapa mekanisme antara lain:

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 sinyal 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.



Gambar 3. 14 Mekanisme *Multipath Fading*[6]

Keempat mekanisme *multipath fading* diatas dapat terjadi secara sendiri-sendiri atau bersamaan. Kedalaman *fading* mampu melebihi 20 dB pada jalur LOS yang lebih panjang. Seringkali, *multipath fading* merupakan *frequency selective* dan teknik terbaik untuk mengatasinya dengan *frequency diversity*.

a. *Multipath Fading* Pantulan Atmosfer

Kondisi atmosfer yang berlapis memiliki perbedaan kerapatan, sehingga menghasilkan *ducting*, namun bila lapisan tersebut tidak menjebak gelombang radio tapi memantulkannya, maka energi dapat mencapai antena

penerima dengan menggunakan jalur yang berbeda dengan jalur langsung LOS (*direct path*). Sehingga penerima menerima banyak sinyal yang berasal dari banyak jalur (*multipath*), sehingga terjadi *fading*. Jika sinyal-sinyal tersebut datang pada penerima dalam kondisi fasa yang saling berlawanan, dapat menghasilkan pelemahan hingga 30dB atau lebih.

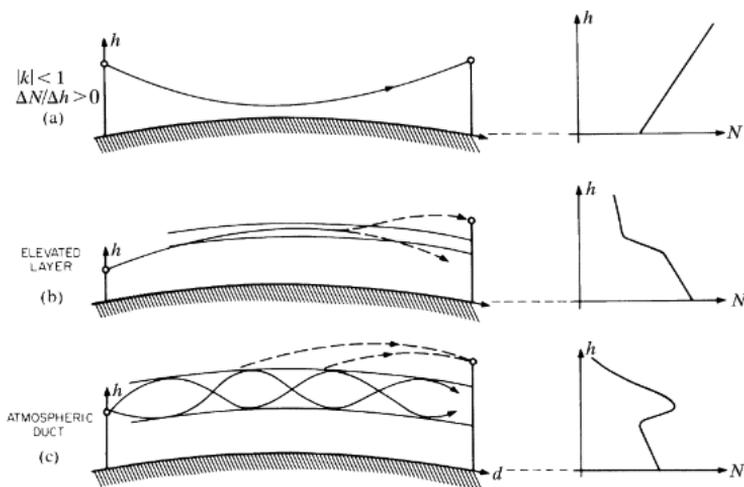
b. *Multipath Fading* Pantulan Tanah

Pantulan tanah dapat menghasilkan penerimaan *multipath* yang dianggap sebagai *fading*, jika gelombang-gelombang tersebut diterima dengan fasa yang berlawanan. Ketika pantulan tanah dan *multipath* atmosfer terjadi bersamaan, dalam jangka waktu yang pendek, dapat menghasilkan pelemahan hingga 40 dB. Jika tidak ditanggulangi, maka akan terjadi gangguan. *Multipath fading* adalah *frequency selective* dikarenakan terjadi *antiphase cancellation*, gelombang-gelombang radio yang berbeda mencapai penerima setelah berjalan pada suatu jarak yang berbeda hingga satu setengah panjang gelombang.

2. Power Fading

Power fading disebabkan oleh pergeseran pancaran dari antenna penerima yang dikarenakan oleh salah satu penyebabnya berikut:

- Gangguan dari permukaan bumi atau lapisan atmosfer terhadap jalur propagasi
- *Decoupling* antenna yang dikarenakan berbagai indeks *gradient* pembelokan (nilai *K Factor*).
- Salah satu terminal antenna berada pada formasi *ducting*
- Pantulan terpisah yang dikarenakan oleh lapisan atmosfer yang lebih tinggi telah mengalami interposisi pada jalur pancaran gelombang radio
- Pengaruh cuaca.



Gambar 3. 15 Mekanisme *Power Fading*[6]

H. Interferensi

Berkenaan dengan interferensi, terdapat aturan yang mengatur pembatasan emisi radiasi frekuensi radio, FCC (*Federal Communication Commision*) membedakannya menjadi:

- *Intentional radioators*. Perangkat yang dengan sengaja mengeluarkan energi frekuensi radio, seperti perangkat pemancar dan antena.
- *Unintentional radiators*. Perangkat yang tidak disengaja membangkitkan energy frekuensi radio untuk penggunaan dalam sistem perangkat atau pengkabelan namun tidak dimaksudkan untuk meradiasi. Contohnya adalah radiasi dari motherboard komputer dan perangkat penerima dengan osilator local.
- *Incidental radiators*. Perangkat yang tidak dirancang untuk membangkitkan energi namun pancara frekuensi radio terjadi dikarenakan oleh efek samping yang tidak diinginkan. Contohnya adalah motor DC dan saklar mekanik.

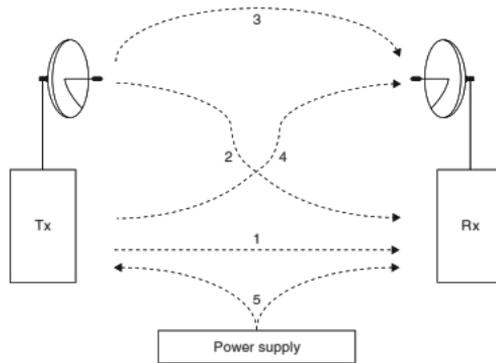
Interferensi adalah istilah umum untuk setiap gangguan radiasi pada sistem *link radio*. Dalam hal ini, hanya interferensi yang disebabkan oleh radiasi dari sistem radio lainnya. Sehingga dalam melakukan perancangan sistem komunikasi gelombang mikro, membutuhkan perhatian dan koordinasi

antara sistem eksisting dan sistem yang direncanakan, terutama dalam penganturan penggunaan spektrum frekuensi dan pengkanalansub frekuensi yang digunakan.

Perancang sistem harus memastikan apakah sistem yang akan dirancang menyebabkan interferensi terhadap sistem eksisting. Sehingga diperlukan perhitungan sisten yang menyeluruh yang menunjukkan potensi interferensi dan tindakan untuk melakukan perancangan ulang atau relokasi dari sistem gelombang mikro yang direncanakan.

Interferensi dapat menjalar melalui jalur berikut :

1. Dari perangkat sistem satu unit ke unit lainnya, antara komponen-komponen yang berada pada cabinet yang sama atau antara unit-unit pada ruangan telekomunikasi yang sama.
2. Dari antenna pemancar ke sistem perangkat penerima
3. Dari antenna pemancar ke antenna penerima
4. Dari sistem perangkat pemancar ke antenna penerima
5. Sebagai sinyal yang tidak diinginkan yang berasal dari sumber daya.



Gambar 3. 16 Jalur Interferensi [1]

Secara umum interferensi dapat dibagi menjadi 4 jenis interferensi, antara lain:

- Interferensi *Intrasystem*
 - *Noise*
 - Ketidaksempurnaan sistem
 - *Echo*
- Interferensi *Interchannel*
 - *Adjacent channel*
 - *Cochannel cross-polarization*
 - Pengirim dan penerima
- Interferensi *interhop*
 - *Front-to-back*
 - *overreach*
- Interferensi *extra-system*
 - Sistem satelit

- Sistem *radar*
- Sistem *radio* lainnya

1. Interferensi *intrasystem*

Interferensi ini dibangkitkan didalam kanal radio oleh thermal receiver noise, sistem yang tidak sempurna dan distorsi *echo*. Perancangan sistem yang baik memberikan pengaruh terhadap penurunan sinyal yang tidak signifikan yang disebabkan oleh ketidaksempurnaan sistem. Namun, distorsi *echo* yang disebabkan oleh pantulan gedung atau *terrain* dan pemantulan ganda pada jalur frekuensi radio tidak dapat diacuhkan pada sistem QAM yang lebih tinggi. *Delay echo* mampu menyebabkan interferensi, semakin tinggi level interverensi maka semakin lama *delay* terjadi. Pada penatulan tanah menyebabkan *echo delay* sebesar 0.1 hingga 1 nano detik, sedangkan pantulan dekat antenna atau gedung yang jauh mampu menghasilkan *delay* lebih dari 1 nano detik dan menyebabkan interferensi *echo* yang lebih parah. Penggunaan *transversal equalizer* mampu menjadi solusi dalam menghadapi masalah ini. Pada *echo* yang disebabkan oleh pantulan ganda pada *feeder* menyebabkan delay yang sangat lama hingga 100 nano detik lebih, dan penanggulangannya adalah dengan memastikan bahwa sistem antenna memiliki VSWR yang baik.

2. Interferensi *interchannel*

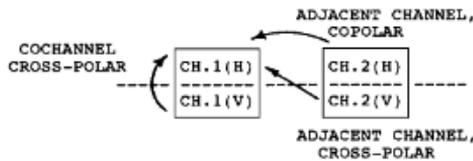
Interferensi *interchannel* antara band-band frekuensi transmisi gelombang mikro di jelaskan pada gambar 3,17 .

Inteferensi *adjacent channel*, dapat berbentuk:

1. *Cross-polar*
2. *Copular*

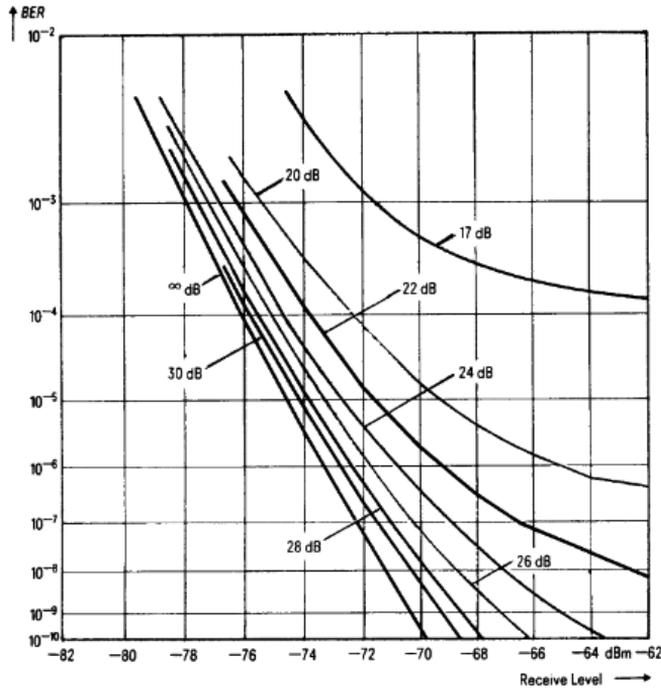
Interferensi *cochannel* hanya berupa *cross-polar*

Untuk *adjacent channel*, interferensi *copular* dapat di-tangani dengan menggunakan *filtering*.



Gambar 3. 17 Interferensi *Interchannel* [12]

Grafik dibawah ini yang diilustrasikan oleh gambar 3.18 menunjukkan interferensi *cochannel* untuk berbagai nilai S/N. *Noise* dihasilkan oleh salah satu kanal mempengaruhi kanal lainnya dikarenakan oleh tidak memadainya antenna untuk melakukan diskriminasi *cross-polarization*.

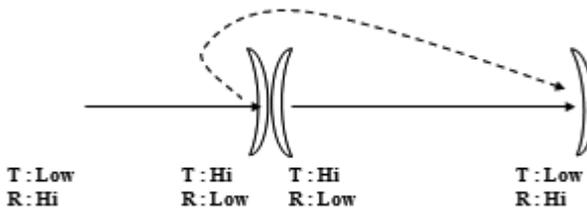


Gambar 3. 18 Grafik pengaruh interferensi *cochannel*[12]

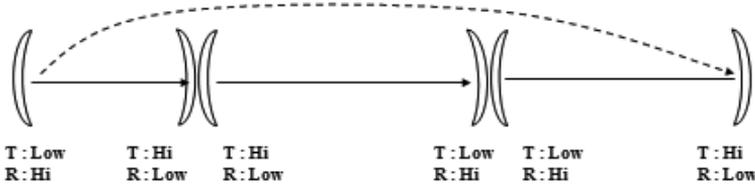
Interferensi jenis ini dapat lebih parah dari interferensi *adjacent channel* dan nilai S/N harus lebih besar dari 25 dB, direkomendasikan paling kecil 30 dB. Sebagai contoh, pada level daya penerima -70dBm, suatu S/N = ∞ akan memberikan BER sama dengan 10^{-10} . Pada S/N = 30 dB, BER akan turun hingga 2×10^{-8} dan jika S/N hanya 20 dB menghasilkan BER lebih jelak dari 10^{-5} .

3. Interferensi *interhop*

Jenis interferensi ini dapat terjadi karena interferensi *front-to-back* dari hop yang bersebelahan dan oleh interferensi *overreach*. Rasio Sinyal dengan interferensi (S/I) didapatkan oleh diskriminasi *angular* antenna dan dapat menurun ketika terjadi *fading*. Perencanaan frekuensi dan *routing* yang baik dapat menjadi antisipasi terhadap terjadinya interferensi ini.



Gambar 3. 19 *Front-to-Back* [12]



Gambar 3. 20 *Overreach* [12]

4. Interferensi *Extra-system*

Interferensi ini disebabkan oleh kanal digital atau analog lain yang menggunakan band RF yang sama atau oleh emisi *out-of-band* dari sistem radio lain (seperti radar).

Rangkuman

Propagasi adalah suatu sifat dari gelombang elektromagnetik yang terjadi ketika merambat pada media. Sehingga, propagasi adalah elemen yang sangat penting dalam komunikasi gelombang mikro.

Hal yang perlu di perhatikan dalam propagasi adalah redaman, *loss* dan fading. karena sinyal yang terpropagasi pasti akan mengalami pelemahan daya ketika berada di penerima. Dalam sistem komunikasi gelombang mikro ada beberapa hal yang menjadi faktor utama dari pelemahan daya tersebut, antara lain: Redaman hujan dan pengaruh terrain yang menghasilkan *fading (Multipath fading)* serta Interferensi.

Soal Latihan

1. Apa yang menyebabkan beam radio membelok ketika melewati atmosfer? Jelaskan?
2. Apa yang dimaksud dengan multipath fading dan power fading ? dan apa saja penyebabnya?

3. Jelaskan bagaimana penanggungan fading?
4. Bagaimana cara menentukan K-Factor?
5. Jelaskan pengaruh interferensi dalam sistem komunikasi gelombang mikro? Bagaimana penanggulangannya?
6. Apa hubungannya K-Factor dengan radiun bumi ekuivalen dan sesungguhnya
7. Diketahui, suatu link radio LOS sejauh 30 Km menggunakan frekuensi kerja 6,135 GHz.
 - a. Hitunglah free-space loss ?
 - b. Naikan frekuensi hingga 2 kali, hitung free-space loss?
 - c. Kurangi jarak radio link setengahnya, hitung free-space loss?
 - d. Apa kesimpulan yang anda ambil dari soal diatas?

BAGIAN 4

PERANCANGAN SISTEM TRANSMISI GELOMBANG MIKRO

Tujuan Instruktional
Pembaca mampu mengerti dan menjelaskan antara lain:

1. Klasifikasi link komunikasi gelombang mikro digital.
2. Konfigurasi komunikasi gelombang mikro digital.
3. Tahapan perencanaan jaringan komunikasi gelombang mikro digital
4. Implementasi repeater dan diversity pada komunikasi gelombang mikro digital

A. Klasifikasi link Gelombang Mikro

Komunikasi gelombang mikro pada sistem seluler digunakan pada jalur transmisi antara satu *Mobile Switching Centre* (MSC) dengan MSC yang lain dalam jaringannya, antara MSC dengan BSC, antara BSC dengan beberapa BTS maupun antar BTS, walaupun sebagai alternatifnya adalah jalur transmisi serat optik ataupun saluran sewa berbentuk *wireline*. *Link* gelombang mikro pada umumnya beroperasi antara frekuensi 2GHz-58GHz. Berdasarkan range frekuensinya, link gelombang mikro diklasifikasikan dalam tiga kategori yaitu :

1. *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*.

- 1) Frekuensi *band* 2 GHz
 - a) Daya jangkauan maksimal 80 km
 - b) *Multipath fading*
 - c) Diameter antena 370 cm dengan *gain* antena 36 dBi
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horisontal
- 2) Frekuensi *band* 7 GHz
 - a) Daya jangkauan maksimal 50 km
 - b) *Multipath fading*

- c) Diameter antena 370 cm dengan *gain* antena 46,8 dBi
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horizontal
- 3) Frekuensi *band* 10 GHz
- a) Daya jangkau maksimal 45 km
 - b) *Multipath fading*
 - c) Diameter antena 60 cm-120 cm untuk *gain* 34 dBi-40 dBi
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horizontal

2. **Medium Haul**

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

- 1) Frekuensi *band* 13 GHz
 - a) Daya jangkau maksimal 40 km
 - b) *Multipath fading*
 - c) Diameter antena 60 cm-120 cm untuk *gain* antena berkisar 36,4 dBi-42,4 dBi
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horizontal
- 2) Frekuensi *band* 15 GHz
 - a) Daya jangkau maksimal 35 km
 - b) *Multipath fading*

- c) Diameter antena 60 cm-120 cm dengan *gain* antena berkisar 38 dBi-44 dBi
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horisontal
- 3) Frekuensi *band* 18 GHz
- a) Daya jangkauan maksimal 20 km
 - b) *Multipath fading*
 - c) Diameter antena 60 cm-180 cm dengan *gain* 39 dBi-49 dBi
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horisontal.
 - e) Atenuasi atmosfer 0,1 dB/km
 - f) Atenuasi hujan sekitar 1 dB/km saat curah hujan 20 mm/h

3. **Short Haul**

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

- 1) Frekuensi *band* 23 GHz
 - a) Daya jangkau maksimal 18 km
 - b) *Multipath fading* dan *rain fading*
 - c) Diameter antena 30 cm-120 cm untuk *gain* berkisar 35 Dbi -47,3 dBi
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horisontal
 - e) Atenuasi atmosfer hujan sekitar 3 dB/km saat curah hujan 20 mm/h

- 2) Frekuensi *band* 26 GHz dan 27 GHz
 - a) Daya jangkau maksimal 15 km
 - b) *Rain fading*
 - c) Diameter antena 30 cm-60 cm
 - d) Digunakan 2 polarisasi, vertikal dan horisontal
 - e) Atenuasi atmosfer 0,1 dB/km
 - f) Atenuasi karena hujan sekitar 3 dB/km saat curah hujan 20mm/h

- 3) Frekuensi *band* 38 GHz
 - a) Daya jangkau maksimal 10 km
 - b) *Rain fading*
 - c) Diameter antena 30 cm dengan *gain* 39,66 dBi
 - d) Hanya untuk polarisasi vertikal
 - e) Atenuasi atmosfer 0,12 dB/km

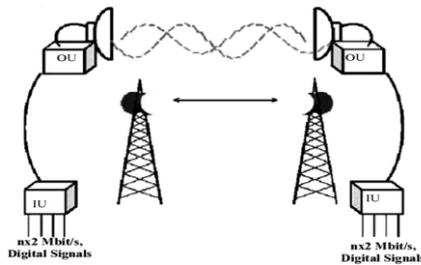
- f) Atenuasi akibat hujan sekitar 5 dB/km saat curah hujan 20mm/h
- 4) Frekuensi *band* 55 GHz
- a) Daya jangkauan maksimal hanya beberapa kilometer saja
 - b) *Rain fading*
 - c) Diameter antena 30 cm dengan *gain* 39,66 dBi
 - d) Hanya untuk polarisasi vertikal
 - e) Atenuasi atmosfer 0,12 dB/km
 - f) Atenuasi akibat hujan sekitar 5 dB/km saat curah hujan 20 mm/h
- 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 atmosfer 12 dB/km
 - f) Atenuasi hujan sekitar 7 dB/km saat curah hujan 20 mm/h

B. Perangkat Link Komunikasi Gelombang Mikro

Terdapat dua komponen utama dalam *link* gelombang mikro seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, yaitu *Indoor Unit* (IDU) dan *Outdoor unit* (ODU) serta terdapat *multiplexer* dan *combiner* sebagai komponen pendukungnya :

a. *Indoor Unit* (IDU)

Indoor unit sering disebut dengan IDU. IDU berisi modem radio yang berfungsi sebagai titik terminasi untuk sinyal digital dari perangkat *end user* dan kemudian mengubahnya ke dalam sinyal yang berbasis sinyal radio untuk dikirimkan sepanjang media transmisi gelombang mikro dengan menggunakan skema modulasi dan juga memodulasikan *carrier* ke sinyal digital pada penerima. IDU biasanya ditempatkan dilokasi yang terproteksi.

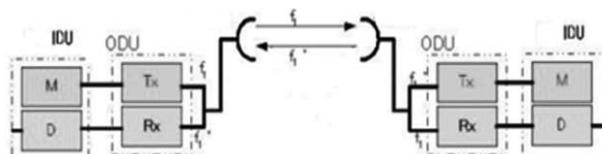


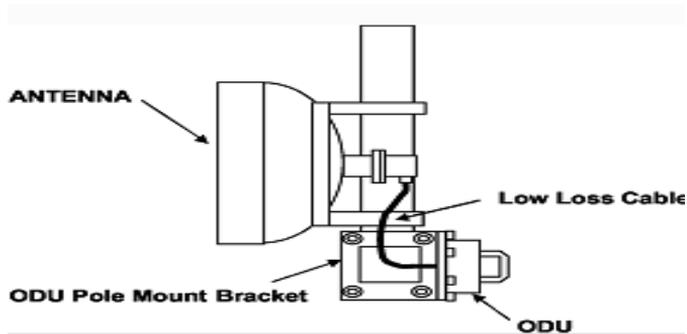
Gambar 4. 1 Link Gelombang mikro [1]

b. *Outdoor Unit (ODU)*

Outdoor Unit sering disebut dengan ODU. ODU berfungsi untuk mengkonversi sinyal digital berfrekuensi rendah (*Intermediate Frequency*) menjadi sinyal radio berfrekuensi tinggi (*Radio Frequency*). ODU berisi perangkat *Radio Frequency* pengirim dan penerima. Dengan fitur ini, ODU juga disebut sebagai radio *transceiver*. Ketika sinyal diterima dari antena, 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. Terdapat tiga konfigurasi yang sering digunakan pada ODU, yaitu :

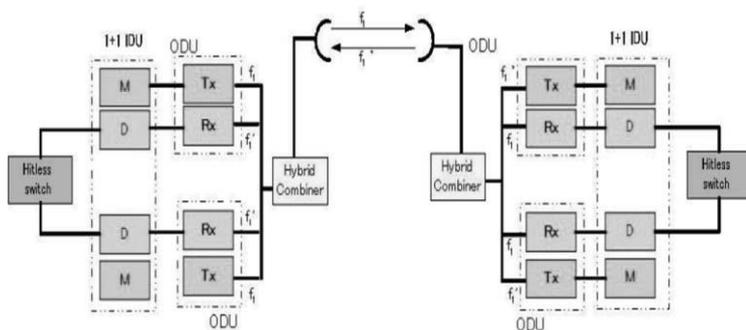
- 1) Konfigurasi 1+0 yaitu, memiliki satu radio ODU dan satu antena gelombang mikro di setiap BTS. Apabila ODU mengalami kerusakan maka secara otomatis *link* akan putus.

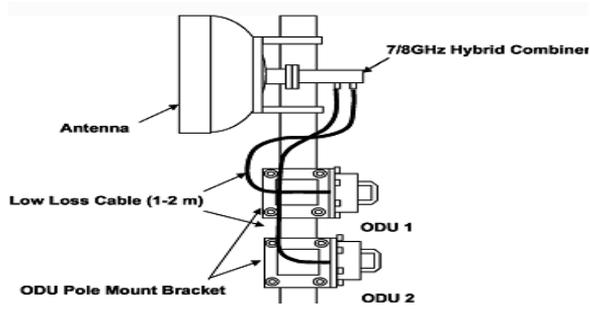




Gambar 4. 2 Konfigurasi 1+0 dan contoh instalasinya [10]

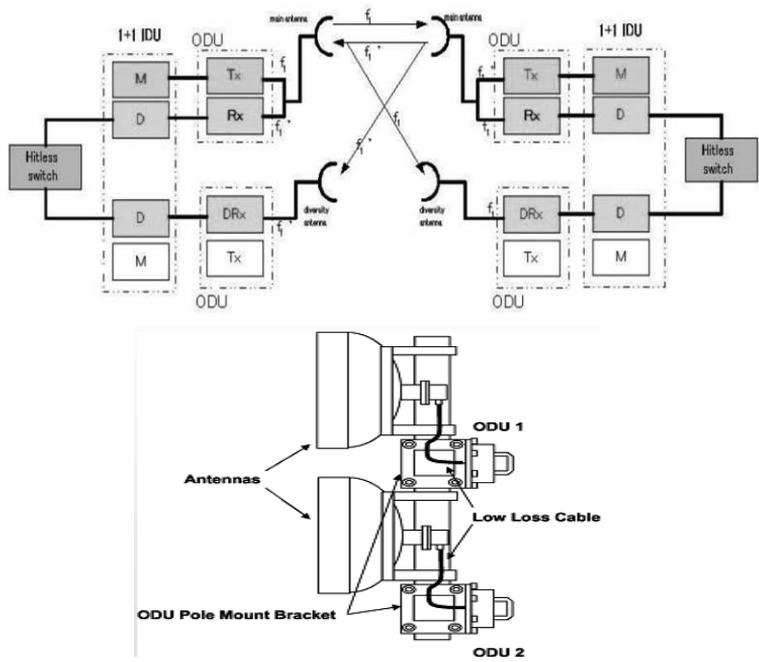
- 2) Konfigurasi 1+1 *Hot Standby* yaitu, memiliki satu antenna gelombang mikro dan dua radio ODU pada setiap BTS. Radio ODU ini dua-duanya aktif, hanya saja ODU yang kedua bersifat *standby*. Hal ini dilakukan untuk menjaga apabila *main* radio ODU mengalami kerusakan maka secara otomatis akan di *backup* oleh ODU yang kedua.





Gambar 4. 3 Konfigurasi 1+1 *Hot Standby* dan contoh instalasinya [10]

- 3) Konfigurasi 1+1 *Space Diversity* yaitu, memiliki dua antenna gelombang mikro dan dua radio ODU.



Gambar 4. 4 Konfigurasi 1+1 *Space Diversity* dan contoh instalasinya [10]

c. *Combiner*

Combiner (hybrid) berfungsi untuk menggabungkan kedua sinyal untuk meminimalkan distorsi atau pemecah frekuensi dengan caramenghubungkan dua radio.

d. *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*). Di mana *multiplexer* dalam pembangunan *link* transmisi radio digunakan untuk menghubungkan ke bagian IDU.

C. *Availability*

Ukuran kehandalan sistem sering disebut sebagai *availability*. Secara ideal, semua sistem harus memiliki *availability* 100%. Tetapi hal tersebut tidak mungkin dipenuhi, sehingga dalam sistem pasti terdapat ketidakhandalan sistem (*unavailability*). Ketidakhandalan sistem terjadi karena dua faktor, yaitu:

1. Kesalahan karena manusia (*human error*)

Hal ini disebabkan karena pemeliharaan atau kegagalan terjadi karena perangkat tidak sebanding

dengan perencanaan dan dapat juga karena pabrik perangkat sistem tersebut. Kegagalan yang disebabkan usia juga termasuk dalam kategori ini, karena perangkat harus diservis ulang sebelum masa waktu perangkat habis.

2. Kesalahan bukan karena manusia

Faktor utama penyebab terjadinya *unavailability* sistem adalah perubahan kondisi atmosfer. Biasanya bisa ditanggulangi dengan menambahkan perangkat tertentu atau merancang kembali rute komunikasi. Faktor yang lainnya antara lain adalah gempa bumi, kebakaran, banjir dan lain-lain *Availability* sering disebut juga dengan *reliability* yang didefinisikan dengan kemampuan sistem dalam memberikan pelayanan sesuai *standard link* yang diinginkan.

Pengaruh *fading* terhadap *availability* sangat berhubungan dengan perubahan perancangan *routing*. Karena ketika terjadi perubahan atmosfer pada suatu perioda waktu, kedalaman *multipath fading* menjadi bervariasi. *Fading* dengan sebesar 40 dB terjadi dengan kejadian yang sangat kecil sekali bila dibandingkan dengan total waktu operasi (mendekati 0.01%). Karena itu, tidak mungkin untuk dengan tepat menetapkan seberapa lama sistem terganggu dalam rentang

waktu bulan atau tahun. Namun yang bisa dihitung secara rata-rata dengan pendekatan statistik.

Tabel 4. 1 Hubungan antara kehandalan dan *outage time* [6]

Availability or reliability (%)	Outage time (%)	Outage time per		
		Year	Month (avg.)	Day (avg.)
0	100	8760 h	720 h	24 h
50	50	4380 h	360 h	12 h
80	20	1752 h	144 h	4.8 h
90	10	876 h	72 h	2.4 h
95	5	438 h	36 h	1.2 h
98	2	175 h	14 h	29 min
99	1	88 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	32 s	2.6 s	0.086 s

Seperti di perlihatkan pada tabel , nilai 99% mungkin terdengar luar biasa, namun bila diperhatikan, nilai tersebut sebanding dengan rata-rata *outage system* (kegagalan komunikasi) selama 14.4 menit per hari. Kegagalan sistem selama 14.4 menit perhari dalam suatu sisitem komunikasi merupakan kualitas yang sangat buruk sekali. Artinya, setiap pelanggan memiliki kemungkinan terjadinya putus hubungan (*drop call*) komunikasi lebih dari 1 % dari waktu panggilan atau setara dengan beberapa menit. Pada beberapa layanan komunikasi digital berkecepatan tinggi seperti video dan transmisi data, kegagalan komunikasi adalah suatu yang tidak bisa ditoleransi.

Tabel 4. 2 Toleransi waktu intrupsi pada beberapa layanan

Type of traffic	Maximum tolerable interrupt time	Effect if tolerance is exceeded
Voice circuits	100 ms	Seizure of exchange switching equipment
Video	100 μ s	Loss of synchronization (rolling)
Data (64 kb/s)	10 μ s	Error
Data (2.488 Gb/s)	1 ns	Error



Gambar 4. 5 Availability Objective per tahun berdasarkan ITU [13]

D. Perencanaan Kapasitas

Hal yang menjadi pertimbangan dalam perancangan kapasitas adalah kebutuhan layanan dan trafik pelanggan. Semakin besar kebutuhan layanan, seperti *video straming* dan *video conference*, maka dibutuhkan kapasitas jaringan gelombang mikro yang besar. Demikian juga dengan peningkatan jumlah trafik pelanggan pada wilayah tertentu. Terdapat dua jenis standar kapasitas yang digunakan yaitu PDH dan SDH.

PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) menggunakan *time division multiplexing*, di rancang untuk mendukung kanal *voice digital* dengan *bit rate* 64 kbps. Standar ini dirancang menggunakan metode *No Store and Forward* yang memberikan batasan antara pengirim dan penerima. PDH telah banyak digunakan pada jaringan yang menghubungkan sistem *switching analog* untuk *Public Switched Telephone Networks* (PSTN).

Tabel 4. 3 Hierarki PDH[5]

Level	US (T-)	Europe (E-)	Japan
0	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s
1	1.544 Mb/s	2.048 Mb/s	1.544 Mb/s
2	6.312 Mb/s	8.488 Mb/s	6.312 Mb/s
3	44.736 Mb/s	34.368 Mb/s	32.064 Mb/s
4	274.176 Mb/s	139.264 Mb/s	97.928 Mb/s

Terdapat standar hierarki PDH yang berbeda tergantung kepada kompleksitas jaringan dan kapasitas yang diinginkan. Tabel, menunjukkan perbedaaan hierarki yang diadopsi di Amerika Serikat, Eropa dan Jepang. Sistem hierarki T1 digunakan Amerika Serikat, menggunakan 24 kanal sesuai dengan standar PCM-24.

Tabel 4. 4 Digital hierarki SONET/SDH [5]

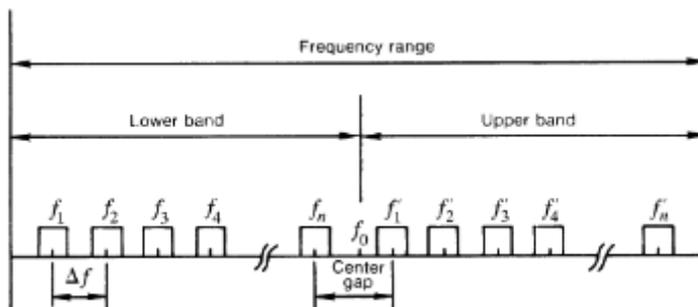
SONET name	SDH name	Line rate (Mbps)	Synchronous Payload Envelope rate (Mbps)	Transport Overhead rate (Mbps)
STS-1	None	51.84	50.112	1.728
STS-3	STM-1	155.52	150.336	5.184
STS-12	STM-4	622.08	601.344	20.736
STS-48	STM-16	2,488.32	2,405.376	84.672
STS-192	STM-64	9,953.28	9,621.504	331.776
STS-768	STM-256	39,813.12	38,486.016	1,327.104

Tidak seperti PDH, SDH berdasarkan perulangan hierarki dari panjang *frame* yang tetap, yang dirancang untuk membawa kanal trafik *isochronous*. Sehingga mampu mengurangi kompleksitas hardware dalam melakukan multipleksing.

E. Perencanaan frekuensi

Hal yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan dan implementasi link radio yaitu penetapan frekuensi yang digunakan dalam komunikasi gelombang mikro. Penetapan frekuensi dan izin operasi pemancar radio disahkan oleh otoritas regulasi negara, Direktorat Jendral Sumber Daya dan Perangkat pos dan Informatika (Dirjen SDPPI), Departemen Kementrian komunikasi dan Informatika (Depkominfo).

Negera yang menjadi anggota ITU harus mematuhi aturan regulasi radio yang ditetapkan oleh ITU. Penetapan band frekuensi diatur oleh regulasi radio, karena banyak link radio bersifat transnasional atau bagian integral dari jaringan internasional, sehingga otoritas nasional harus menggunakan standar dari rekomendasi ITU. Standar ITU-R Rec. F.746-8 memberikan panduan mengenai band frekuensi yang tersedia hingga 55 GHz dan mengacu kepada rekomendasi ITU lain. Tujuan utama dari perencanaan frekuensi adalah untuk meminimalkan interferensi *inter-channel* atau *co-system interference*.



Gambar 4. 6 Pengaturan frekuensi ITU [13]

Gambar 4.5 diatas, menunjukkan pengaturan frekuensi secara umum untuk *multiple RF channel link*. Suatu link bekerja bekerja dengan frekuensi yang berpasangan, kanal “kiriman” ($f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$) dan kanal “terima” ($f'_1, f'_2, f'_3, \dots, f'_n$) yang memiliki sifat saling berpasangan.

ITU membagi suatu band (lihat ITU-R Rec. F.746-8) menjadi dua, dipisahkan oleh *center guard band*, dimana lebih besar atau sama dengan spasi antara frekuensi pusat dari dua kanal yang berdekatan.

F. Perancangan *Routing*

Perancangan *routing* bertujuan untuk merencanakan rute sistem komunikasi radio, *end to end*, menentukan letak dan jenis repeater (aktif atau pasif) dan tinggi menara pada setiap stasiun radio dengan memperhatikan syarat *line of sight*.

Langkah-langkah umum dalam perancangan *routing* antara lain:

1. menyiapkan peta topografi yang memuat *link radio end to end*.
2. Menentukan rute, dengan memperhatikan demand/trafik yang akan dilayani.
3. Membagi link radio menjadi sejumlah hop, termasuk menentukan letak hop dan penempatan *repeater*.
4. Membuat *path profile* untuk setiap hop.
5. Menentukan letak menara antenna dengan memperhatikan kelengkungan bumi dan interferensi sistem.

6. Menentukan tinggi menara dan antenna serta arah pancaran antenna beserta *azimuth*, elevasi dan *tilting*.
7. Melakukan survey lapangan untuk mengetahui kondisi lingkungan site secara nyata.
8. Membuat layout lokasi.

G. Perencanaan Topologi

Dalam penentuan topologi dari sistem jaringan komunikasi gelombang yang akan dirancang, harus memperhatikan beberapa faktor yaitu trafik dan kehandalan (*realibility/availability*) sistem yang diinginkan.

Penentuan topologi berdasarkan trafik memperhatikan tingkat pendudukan atau okupansi trafik jaringan pada suatu wilayah tertentu yang dicakup oleh suatu site. Bila tingkat okupansi disuatu wilayah sudah tinggi dan perlu pembangunan beberapa site baru, maka diperlukan perencanaan link radio gelombang mikro yang baru dengan memperhatikan topologi dan routing yang efisien.

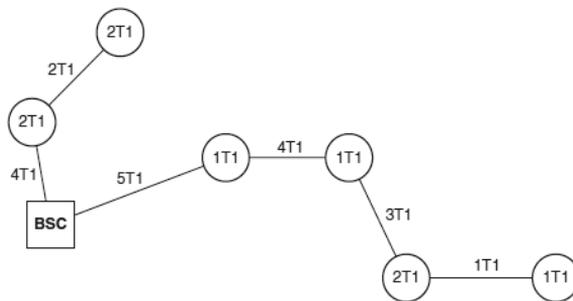
Kehandalan sistem yang diinginkan menjadi faktor penting dalam perencanaan topologi suatu sistem gelombang mikro, karena hal ini berkenaan dengan kualitas layanan komunikasi. Bila suatu link atau hop memiliki nilai kehandalan (*Availability*) yang rendah, maka perancang dapat merubah

rancangan topologi dengan menambahkan *repeater* diantara hop atau perubahan route untuk meningkatkan kehandalan.

Beberapa topologi yang sering digunakan antara lain:

a. Topologi *Chain* atau *Daisy-Chain*

Jenis topologi ini memiliki kompleksitas yang sangat sederhana dan biasanya dirancang pada jalur yang mengikuti jalan raya. Dengan menggunakan *daisy-chain* satu site dengan site lainnya terhubung secara berurutan (serial) satu sama lain, sehingga efisien dalam penggunaan kapasitas (jika antar masing site memiliki kapasitas yang sama). Selain itu membutuhkan perangkat site yang lebih sedikit untuk dapat terhubung satu sama lainnya



Gambar 4. 7 Topologi *Chain/Daisy-chain* [10]

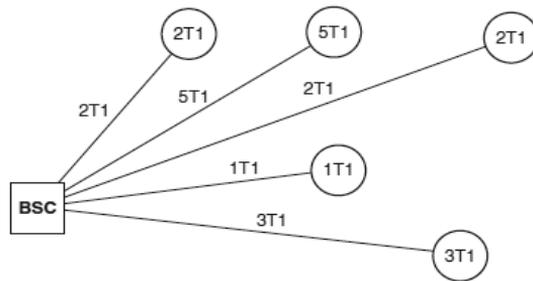
Namun, topologi *daisy-chain* memiliki kelemahan antara lain:

- topologi ini akan efektif digunakan pada keadaan dimana jarak antar site relatif dekat.
- Jika suatu link terputus, maka link lainnya menuju *far-end* akan mengalami gangguan komunikasi yang fatal.
- Semakin jumlah site menuju *far-end*, maka *bandwidth* sistem yang dibutuhkan akan semakin besar pula.

b. Topologi *Star*

Topologi *star* memiliki karakteristik mudah untuk dirancang, dikonfigurasi dan di ekspansi. Selain itu, satu hop independen terhadap hop lainnya sehingga bila terjadi putus komunikasi satu hop, maka tidak akan berpengaruh terhadap hop lainnya.

Namun yang menjadi kelemahan topologi ini adalah interferensi antar hop, sehingga untuk menaggulangnya diperlukan sumber daya alokasi spektrum frekuensi yang banyak, serta manajemen spektrum frekuensi yang rumit. Hal ini menyebabkan ketidak efisienan dalam hal penggunaan band frekuensi. Selain itu, hal yang menjadi permasalahan adalah perlunya perangkat yang kompleks dan kapasitas yang besar di sisi site agregasi.



Gambar 4. 8 Topologi *Star* [10]

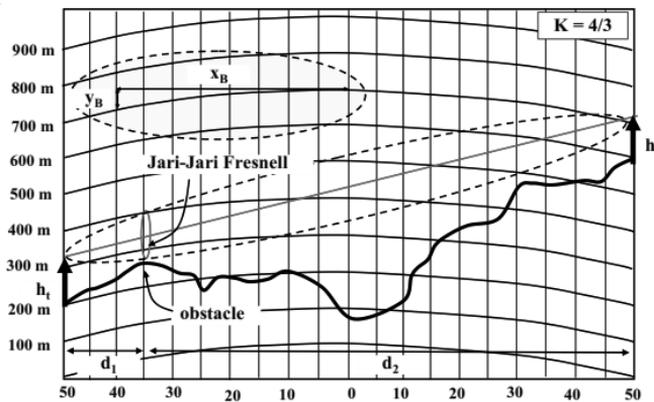
c. Topologi Jaringan *Tree* atau *Star* dengan *Hub*

Topologi ini, merupakan modifikasi dari topologi *star* dimana terdapat *hub* sebagai pecabangan yang menghubungkan antara dua site atau lebih. Topologi *tree* biasa diimplementasikan pada jaringan berukuran medium atau kecil karena lebih efektif dan efisien bila jaringan mengalami ekspansi pada waktu yang akan datang. Selain itu fleksibel dalam penggunaan perangkat, jarak antar site dan alokasi spektrum frekuensi (penggunaan reuse frekuensi).

Kelemahan dari topologi ini adalah bila suatu link atau hop memiliki *availability* yang rendah, maka akan berpengaruh terhadap link lainnya.

H. Path Profile

Path profile adalah gambaran grafis dari keadaan fisik jalur propagasi secara dua dimensi yang terdiri atas dua site link radio, bentuk medan permukaan bumi and termasuk pepohonan, gedung dan berbagai penghalang lainnya. Path profil digunakan untuk mengukur titik pantulan pancaran gelombang elektromagnetik dan memberikan gambaran mengenai *clearance* yang dapat dicapai.



Gambar 4. 11 Gambaran *Path Profile* [12]

Terdapat tiga metode dalam menggambar *path profile*:

1. Metode linier penuh. Dengan menggunakan kertas grafik *linear*, dimana site pengirim dan penerima dihubungkan pada suatu garis lurus. Kelengkungan pancaran gelombang radio digambarkan dengan pengukuran setiap

ketinggian penghalang dengan bumi ekuivalent menggunakan persamaan

$$h = \frac{d_1 d_2}{1.5 K} \quad (4.1)$$

dimana h adalah perubahan pada jarak vertikal dalam satuan *feet* dari garis acuan horizontal, d_1 adalah jarak dalam mil antara satu ujung jalur dengan penghalang, d_2 adalah jarak antara satu ujung jalur lainnya dengan penghalang dan K adalah faktor K .

2. Metode Bumi 4/3. Menggunakan kertas grafik bumi. Metode ini menggunakan nilai sesungguhnya dari ketinggian penghalang.
3. Metode Kelengkungan. Menggunakan kertas grafik linier. Nilai sesungguhnya dari penghalang ditentukan dari sebuah garis referensi dan sebuah garis melengkung yang digambarkan dari site pengirim ke site penerima, demikian pula sebaliknya. Garis lengkung tersebut memiliki kelengkungan $K \times R$, dimana K adalah Faktor- K dan R adalah radius geometri dari bumi atau 2960 mil, dengan mengasumsikan bumi bulat sempurna.

I. Perancangan *Repeater*

Pengujian efek rain *fading* pada *link* gelombang mikrodengan frekuensi yang tinggi menghasilkan semakin panjang sebuah jaringan transmisi gelombang mikro maka akan semakin sulit untuk memenuhi tujuan kinerja. Selain itu, untuk membuat jaringan transmisi gelombang mikrodengan jarak yang jauh diperlukan untuk membangun BTS yang tinggi untuk mempertahankan *Line of Sight*. Karena alasan tersebut, dibutuhkan perancangan jaringan transmisi gelombang mikro yang memiliki lebih dari satu "hop". Untuk mempertahankan *Line of Sight* diperlukan penempatan sebuah *repeater* pada titik tertentu. Jaringan transmisi gelombang mikrodengan jarak lintasan yang pendek juga akan membutuhkan *repeater* jika jaringan transmisi gelombang mikro tersebut terhalang oleh *obstacle*. Pada sistem digital, kinerja jauh lebih baik diperoleh dengan demodulasi sinyal pada setiap stasiun *repeater* dan mengembalikan pancaran sinyanya. Keunggulan yang dimiliki sistem digital pada *repeater* berasal dari kemampuan untuk menghasilkan sinyal yang bebas dari *noise* pada setiap *repeater*. Semua perhitungan yang berkaitan antara sinyal to *noise* ratio dan *error rate* telah diasumsikan bahwa sinyal asli adalah yang bebas *noise*. Dalam sistem analog, *noise* akan terakumulasi sebagai sinyal yang berlangsung dari hop ke hop. Sebagai akibat dari hal tersebut, sistem radio analog jauh lebih rendah daripada sistem digital ketika menggunakan jaringan transmisi

gelombang mikro *multi-hop*. *Repeater* dibagi menjadi dua yaitu *active repeater* dan *passive repeater*.

1. Active Repeater

Sebuah aktif *repeater* memiliki penguat yang berfungsi untuk memulihkan kembali sinyal dengan kualitas awal sebelum kembali dipancarkan. *Repeater* aktif memiliki sebuah *amplifier* untuk mengembalikan sinyal ke kualitas aslinya sebelum ditransmisikan kembali. Pada sistem digital, kinerja demodulasi sinyal yang baik yaitu di setiap *repeater*, sinyal transmisi dikembalikan menjadi *baseband*. Keuntungan yang dimiliki sistem digital pada sistem *repeater* adalah mampu mengatasi *noise* di *repeater* masing-masing. Total kesalahan/error kira-kira sama dengan jumlah kesalahan/error pada masing-masing hop. Pada sistem analog tidak dimungkinkan untuk menghilangkan *noise*.



Gambar 4. 12 *Active Repeater System* [1]

2. Passive Repeater

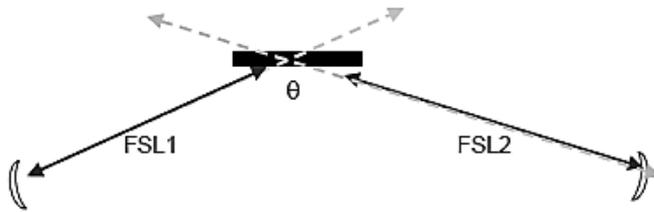
Terdapat dua metode alternatif menerapkan *passive repeater*, yaitu *back to back antenna* dan; *reflectors billboard*.

Passiverepeater dibutuhkan ketika jaringan transmisi gelombang mikro di tempat yang memiliki beberapa penghalang (*obstacle*) yang tidak dapat dihindari, seperti pegunungan atau gedung. *Passive Repeater* digunakan untuk mengulang sinyal radio dengan mengubah arah pancaran radio tanpa aplikasi peralatan elektronik.

Ketika sebuah hop gelombang mikro terdapat di tempat yang memiliki *obstacle* yang tidak dapat dihindari, *passive repeater* dapat mengatasi masalah tersebut. *Passive repeater* sering digunakan ketika *obstacle* yang tidak dapat dihindari seperti puncak gunung harus diatasi dan tidak dapat di akses dengan aktive *repeater*. Terdapat 2 tipe utama dari *passive repeater*, yaitu *reflector* dan *back to back antenna*.

a. *Reflector System*

Reflector merupakan sebuah alternatif menarik sebagai “papan pantul” sinyal yang ditempatkan diantara kedua ujung link. Salah satu keuntungan dari *reflector* adalah lebih mudah untuk membangun *reflector* besar daripada membangun antena yang besar. Selain itu pembangunan *Mount reflector* lebih memungkinkan dari pada pembangunan antena baru yang besar.



Gambar 4. 13 Sistem *Single Reflector* [1]

Reflektor seperti ini tidak cocok untuk ditempatkan sejajar dengan garis hop link. Reflektor, "*billboard* pemantul" dapat digunakan sebagai *repeater* pasif. Ini hanya mencerminkan sinyal dari antenna satu ke yang lain. *Repeater* ini tergantung pada ukuran, frekuensi operasi dan sudut antara jalan.

$$G = 42.8 + 40 \log F(\text{GHz}) + 20 \log A(\text{m}^2) + 20 \log [\cos(\frac{\theta}{2})] \text{ dB} \quad (4.1)$$

Keterangan :

A = Luas Permukaan Bidang Reflektor (m²)

Luas bidang *reflector* dipengaruhi oleh frekuensi kerja yang digunakan. Semakin besar frekuensi maka bidang *reflector* yang diperlukan semakin kecil. Tabel 4.5 untuk menentukan luas bidang *reflector* dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 *ukuran dan Gain Reflector*[8]

Freq (GHz)	Size (meter)			
	2,43 x 3,04	2,43 x 3,65	3,04 x 4,87	3,65 x 4,87
1,790	70,35 dB	71,93 dB	76,37 dB	77,95 dB
2	72,37 dB	73,95 dB	78,39 dB	79,97 dB
3,950	84,19 dB	85,77 dB	90,21 dB	91,79 dB
4,7	87,21 dB	88,79 dB	93,23 dB	94,81 dB
6,135	91,95 dB	93,53 dB	97,97 dB	99,55 dB
7	94,13 dB	95,71 dB	100,15 dB	101,23 dB
8,075	96,61 dB	98,19 dB	102,63 dB	104,21 dB
11,2	102,30 dB	103,88 dB	108,32 dB	109,90 dB
12,45	104,14 dB	105,72 dB	110,16 dB	111,74 dB
13,075	104,99 dB	106,57 dB	111,01 dB	112,59 dB
14,825	107,17 dB	108,75 dB	113,19 dB	114,77 dB

b. Back to Back Antenna

Pembangunan antenna *pasive back-to-back repeater* melibatkan menempatkan dua antenna pada ketinggian tertentu pada menara ketika dua link sedang diimplementasikan. Namun, tidak akan ada kabel feeder yang

menjalar di atas menara untuk antena, dan tidak akan ada lemari yang berisi *transceiver* dan peralatan terkait. Sebaliknya, antena satu akan terhubung langsung ke yang lain melalui jalur pendek dari *waveguide*.

Pada *passive repeater* jenis back to back antenna, akan didapatkan penguatan dari antena *passive repeater* tersebut. *Gain* dari sebuah repeater dengan back to back antenna diberikan dengan persamaan berikut,

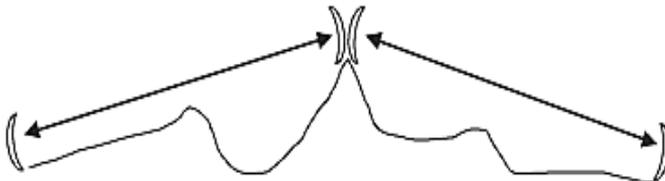
$$G = G_{A1} - G_{AC} + G_{A2} \quad (4.2) \quad (2.14)$$

dengan,

G_{A1} = *gain* salah satu antena *repeater* (dB)

G_{A2} = *gain* dari antena lain *repeater* (dB)

G_{AC} = *coupling loss (waveguide)* antena (dB)



Gambar 4. 14 Back to Back Antennas [1]

Pada link yang pendek, dan ketika ada penghalang di antara link, maka dimungkinkan untuk meminimalisir

biaya pembuatan *repeater* aktif maka sebaiknya gunakan *repeater* pasif. Gambar menunjukkan konfigurasi antena *back to back pasive repeater*.

J. *Site Survey*

Tahapan selanjutnya setelah *path profile* selesai adalah *survey site*. Seorang perancang harus memastikan dan memverifikasi dilapangan kondisi lingkungan dari jalur yang akan digunakan untuk komunikasi gelombang mikro. Dengan menggunakan peta topografi, perancang harus mencari berbagai informasi berkenaan dengan kebutuhan penggelaran jalur jaringan komunikasi. Informasi yang harus di verifikasi di lapangan antara lain:

1. Lokasi site. Paling tidak terdapat dua titik survey yang harus di datangi dan ditandai. Titik *azimut* dan elevasi masing-masing site harus tercatat dengan presisi. Tambahkan foto survey dari lokasi, terutama yang menghadap lokasi survey dari site lain, untuk memastikan kondisi LOS.



Gambar 4. 15 Foto Survey

2. Perencanaan *layout site*. Perancang harus membuat sketsa site dan lokasi termasuk antena dan *shelter* perangkat.
3. Penjelasan site. Hal ini termasuk jenis tanah, vegetasi, bangunan, sumber air dan lain-lain. Gunakan sketsa dan peta topografi untuk menggambarkan jarak, lingkungan, dan jalan raya. Ambil foto yang menggambarkan lingkungan dan fasilitas terdekat.
4. Penjelasan jalur. Idealnya seorang *surveyor* harus berjalan menyusuri jalur dengan menggunakan peta topografi dan GPS. Buat catatan mengenai penjelasan umum mengenai vegetasi, penghalang, bangunan dan lingkungan sepanjang jalur.

5. Ketersediaan daya. *Surveyor* harus mencari sumber daya listrik terdekat. Catat alamat, tegangan, fasa dan parameter kelistrikan lainnya.
6. Sumber bahan bakar. Catat sumber bahan bakar yang mampu mensuplai bahan bakar cair atau gas. Perkiraan biaya untuk mengirimkan bahan bakar ke site.
7. Daerah terlarang. Terdapat catatan mengenai daerah-daerah terlarang untuk dilewati jalur komunikasi gelombang mikro, sehingga perlu koordinasi dengan badan pemerintah daerah dan pihak terkait lain seperti bandar udara atau lembaga militer.
8. Kontraktor dan penjual bahan bangunan. Buatlah daftar alamat penjual bahan bangunan dan kontraktor terdekat.
9. Data seismik dan geologi. Cari informasi mengenai kualitas tanah dalam menopang bangunan site, kedalaman tanah menuju batu dan air tanah. Ambil contoh tanah dan berkoordinasi dengan badan yang berwenang mengenai seismik, geologi dan pertanahan.
10. Data cuaca. Data ini didapatkan dari lembaga terkait berupa:
 - Rata-rata suhu minimum dan maksimum perbulan
 - Rata-rata curah hujan per bulan
 - Data banjir
 - Kemungkinan terjadinya angin topan
 - Kondisi awan dan kabut
 - Rata-rata kelembaban per bulan

11. Data gangguan elektromagnetik. Data ini menunjukkan sumber gangguan elektromagnetik asing yang mampu mengganggu sistem komunikasi, seperti melemahkan sinyal, interferensi terhadap frekuensi, *bandwidth*.

Setelah selesai survey site, maka perancang harus membuat laporan hasil survey yang memeberikan informasi-informasi diatas.

LAPORAN SURVEY AWAL	
Nama Lokasi	_____
No. alternatif lokasi	_____
No. kandidat lokasi	_____
Tanggal survey	_____
Team Survey :	
	1. Nachwan MA
	2. M. Toha P
1. INFORMASI LOKASI	
- Nama lokasi	:
- Alamat	:
- Koordinat	:
- Nama pemilik	:
- Alamat pemilik	:
- Nomor telepon	:
- Nama contact person	:
Catatan khusus :	
2. KONDISI LOKASI	
- Luas lahan	: (panjang , lebar, luas)
- Tipe lahan	: Tanah kosong
- Tinggi permukaan lahan	: 2 meter dari aspal
- Jumlah lantai/tinggi gedung	:
- Akses jalan	: Ada
- Jarak lokasi dr jalan raya	: 100 meter
- Jenis dan lebar jalan raya	: Aspal / 6 meter
- Kondisi jalan	: Baik
- Jarak tiang PLN terdekat	: 4 meter
- Rawan banjir	: Ya / Tidak
- Lahan utk R.BTS & Menara	: Layak / Tidak layak
- Rencana type ruang BTS	: Permanen / Shelter / Kabinet
- Kondisi lingkungan	: Perkantoran / perumahan / tanah kosong
- Kepadatan bangunan	: Tidak padat / cukup padat / sangat padat
- Karakter warga kooperatif	: Tidak kooperatif / cukup kooperatif / sangat kooperatif
- Kondisi warga	: Cukup kumuh / kumuh / tidak kumuh

Gambar 4. 16 Laporan survey site

K. Teknik Penanggulangan *Fading*

Terdapat banyak pengaruh redaman dan *fading* pada berkas gelombang mikro, oleh karena itu perlu diberikan suatu solusi untuk mengatasinya yaitu dengan teknik *diversity*. *Diversity* adalah suatu teknologi yang diterapkan pada penerimaan sistem komunikasi yang pada dasarnya untuk mengatasi pengaruh *fading* yang terjadi pada lintasan jalur komunikasi gelombang mikro 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*. 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. *Space Diversity*

Space diversity terdiri atas beberapa konfigurasi, antara lain :

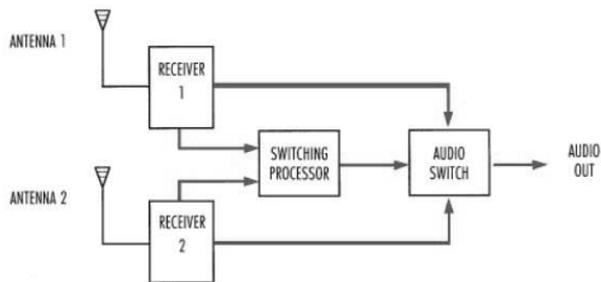
a. Teknik *Switching*

Pada sistem *diversity* ini, sinyal-sinyal RF yang diterima pada masing-masing antenna dan perangkat

ODU, akan dibandingkan kuat sinyalnya untuk mencari yang paling kuat.

b. Teknik *Hot-standby*

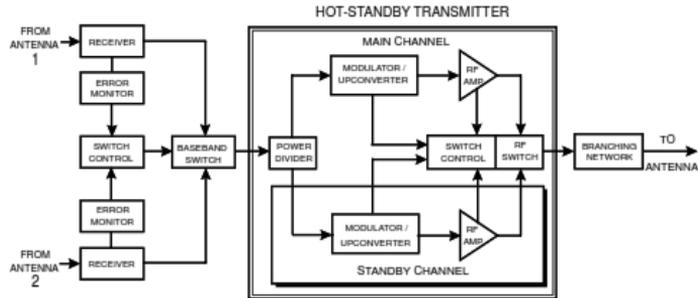
Sistem *hot-standby* merupakan konfigurasi sistem radio dengan redundansi penuh, dimana satu sistem radio dengan redundansi penuh, dimana satu sistem ODU akan siap beroperasi, bila sistem utama mengalami kegagalan. Sebagai mana dijelaskan pada bagian sub-bab 4.2.



Gambar 4. 17 *Space Diversity* dengan teknik *Switching*[12]

Jika satu sistem pemancar mengalami kegagalan, akan *RF switch* aman memutus koneksi dengan sistem tersebut dan menghubungkan dengan sistem cadangan ke antenna pemancar. Sayangnya teknik ini menyebabkan gangguan terhadap *bit stream digital*, menghasilkan *error burst* dan penurunan kualitas *bit error rate*. Dibutuhkan perangkat yang

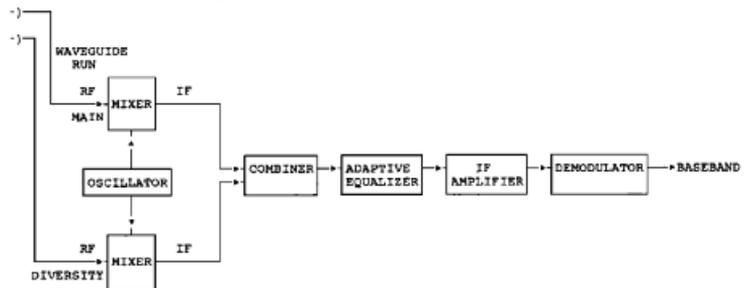
memiliki kahandalan tinggi dalam melakukan *switchover* ini.



Gambar 4. 18 Teknik *Hot-standby* pada *Repeater* [12]

c. Teknik *combining*

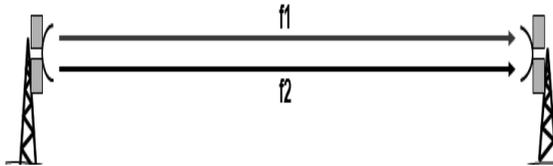
Teknik *combining* dapat dilakukan pada bagian RF, IF atau *baseband*. Sinyal yang diterima oleh masing-masing antenna akan digabungkan pada bagian IF, dengan menggunakan *adative equalizer* mampu meningkatkan C/N sinyal tanpa terjadi *delay* yang disebabkan pergantian sistem.



Gambar 4. 19 Teknik *Combining* [12]

2. *Frequency Diversity*

Sistem yang mengoperasikan 2 frekuensi gelombang mikro pada satu antenna baik itu di pemancar maupun penerima. Informasi yang dikirimkan secara simultan dikirimkan ke 2 *transmitter* yang beroperasi pada frekuensi yang berbeda kemudian diteruskan ke satu antenna pemancar. Pada antenna penerima akan dikumpulkan informasi dan memisahkannya menjadi 2 sinyal.



Gambar 4. 20 *Frequency Diversity* [2]

Rangkuman

Dalam melakukan perancangan sistem komunikasi gelombang mikro ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

1. Seberapa jauh panjang *path* komunikasi, hal ini berhubungan dengan perencanaan frekuensi yang digunakan
2. Seberapa besar kapasitas yang diperlukan
3. Bagaimana perancangan *routing* dan topologi yang efektif dari suatu jaringan komunikasi gelombang mikro
4. Penentuan *quality* dan *availability objective*.

5. Perlunya dilakukan *site survey*, terhadap *path* yang direncanakan untuk dapat menganalisa *path profile* dan kebutuhan perancangan repeater.
6. Perancangan *diversity* untuk penanggulangan *fading*.

Soal Latihan

1. Bagaimana cara kerja *space diversity* dan *frequency diversity* ?
2. Bagaimana tahapan pelaksanaan *site survey*?
3. Bagaimana perancangan jaringan komunikasi gelombang mikro menggunakan *repeater*?
4. Apa saja yang harus diperhatikan dalam menentukan topologi suatu jaringan komunikasi gelombang mikro?
5. Apa hubungan antara *availability* dan *outage time*?

BAGIAN 5

PENGENALAN SISTEM TRANSMISI GELOMBANG MIKRO

Tujuan Instruktusional
Pembaca mampu mengerti
dan menjelaskan:

1. Konsep sistem transmisi gelombang mikro
2. Implementasi sistem transmisi gelombang mikro
3. Standar regulasi sistem transmisi gelombang mikro

Perhitungan *link budget* merupakan perhitungan yang menghitung semua penguatan dan rugi-rugi dari pemancar, melalui suatu medium (*free space*, kabel, *waveguide*, serat optik dan lain-lain) ke penerima dalam sistem telekomunikasi. *Link budget* mempertimbangkan berbagai atenuasi disebabkan propagasi, begitupula dengan *antenna gain*, *feedline* dan rugi-rugi lainnya.

Perhitungan link budger diperlukan dalam perancangan sistem komunikasi gelombang mikro digital untuk merancang sistem dan mengantisipasi kemungkinan rugi-rugi sehingga kualitas dan kehandalan sistem tetap terjaga.

Secara sederhana *link budget* dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Received Power (dB)} = \text{Transmitted Power(dB)} + \text{Gain(dB)} - \text{losses (dB)} \quad (5.1)$$

Dimana,

Received Power : Daya yang diterima penerima

Transmitted Power : Daya yang dipancarkan pengirim

Gain : Penguatan

Losses : Rugi-rugi

A. Jalur Transmisi Gelombang Mikro

Jarak antar BTS dapat dihitung dengan cara menentukan posisi nominal dua titik pada garis bumi dan menghitung jaraknya. Letak nominal titik biasanya dinyatakan dalam garis

lintang dan garis bujurnya. Setiap titik garis lintang dan garis bujur tersebut dinyatakan dalam derajat, menit dan detik. Tentunya nilai tersebut perlu dikonversi terlebih dahulu dalam satuan derajat saja dan dikonversi dalam km. Sehingga untuk merubah titik nominal dari jam menit- detik menjadi nilai jam saja adalah dengan menggunakan persamaan konversi sebagai berikut :

Garis lintang dan bujur :

$$\text{derajat} + \frac{\text{menit}}{60} + \frac{\text{detik}}{3600} \quad (5.2)$$

Selanjutnya menentukan jarak antara kedua BTS dengan menggunakan rumus jarak sederhana, untuk garis lintang dikalikan dengan nilai 110.3 km dan untuk garis bujur dikalikan dengan 111.32 km per derajat, maka jarak antar garis lintang dan garis bujur adalah :

Jarak lintang =

$$|\text{Garis lintang BTS 1} - \text{Garis lintang BTS 2}| \times 110,3 \quad (5.3)$$

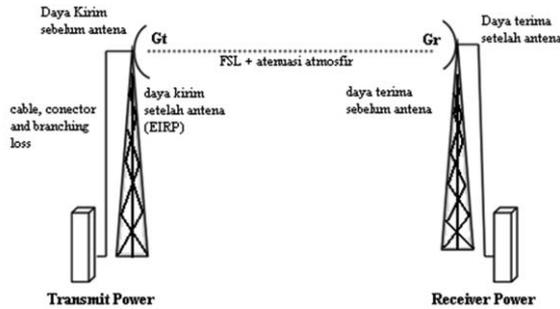
Jarak bujur =

$$|\text{Garis bujur BTS 1} - \text{Garis bujur BTS 2}| \times 111.32 \quad (5.4)$$

Dari hasil yang didapat maka jarak antar BTS:

Path Length =

$$\sqrt{(\text{jarak lintang})^2 + (\text{jarak bujur})^2} \quad (5.5)$$



Gambar 5. 1 *Link* Gelombang mikro Antar BTS [4]

B. Antenna Gain

Karakteristik antenna yang paling penting adalah *gain*. Hal ini untuk mengukur kemampuan antenna dalam memancarkan gelombang pada arah tertentu. Pada dasarnya, sebuah antenna memancarkan energi secara sama ke segala arah - atau disebut antenna *omnidirectional* atau *isotropis*, namun pada sistem komunikasi gelombang mikro diharapkan antenna memiliki tingkat kesearahan yang tinggi. *Gain* dari sebuah antenna menjelaskan seberapa besar jumlah energi yang terpancar secara *isotropis* dapat diarahkan menjadi suatu

beam. Semakin sempit suatu *beam*, maka semakin tinggi tingkat kesearahan antenna sehingga menjadikan *gain* semakin tinggi. Secara matematis, *Gain* dapat dihitung dengan rumus:

$$Gain(G) = 10 \text{ Log}_{10} \left(\frac{4\pi Ae}{\lambda^2} \right) \text{ dB} \quad (5.6)$$

Dimana A : Daerah efektif permukaan antenna
 e : efisiensi
 λ: panjang gelombang

C. *Beamwidth* Antenna

Besarnya *beamwidth* antena dihitung dari puncak *mainlobe* sampai 3 dB dibawah puncak tersebut. *beamwidth* menyatakan sudut pada *main lobe* pada batas-batas ke kiri dan ke kanan pada titik 3 dB *down* dan puncak *mainlobe*.

Besarnya *beamwidth* antena parabola dirumuskan sebagai berikut:

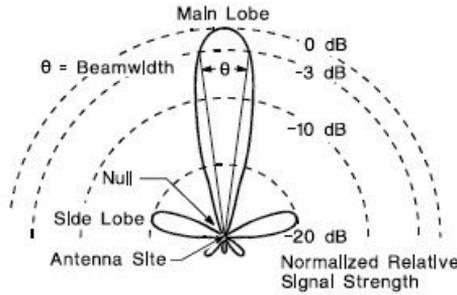
$$Bw = \frac{21.1}{f \times D} \quad (5.7)$$

Dimana:

Bw : 3 dB *beamwidth*

D : diameter antena

F : frekuensi operasi yang digunakan dalam GHz



Gambar 5. 2 Pola *Beamwidth* Antena [5]

D. *Free Space Loss (FSL)*

Pada frekuensi di atas 10 GHz, *pathloss* dapat dianggap sebagai *free space loss (FSL)*, *free space loss* merupakan fungsi frekuensi dan jarak. FSL adalah redaman yang ada sepanjang ruang antaraantena pemancar dan penerima. Pada ruang ini tidak diijinkan adanya penghalang, karena transmisinya sendiri berkarakter LOS. Besarnya FSL dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$FSL = 92,45 + 20 \log(f_{GHz}) + 20 \log(D_{Km}) \quad (5.8)$$

dimana,

FSL : *Free Space Loss* (dB)

f : frekuensi (Ghz)

D : Jarak antena pemancar dan penerima (km)

Apabila frekuensi yang digunakan dalam satuan Mhz, maka persamaan yang digunakan untuk mencari FSL adalah persamaan berikut :

$$FSL = 32,45 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(D_{Km}) \quad (5.9)$$

dimana,

FSL : *Free Space Loss* (dB)

f : frekuensi (Mhz)

D : jarak antena pemancar dan penerima (km)

E. **EIRP (*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 lain daya tersebut sudah mengalami penguatan. EIRP diperoleh dengan menjumlahkan daya output dari antena pemancar dengan gain antenalalu dikurangkan oleh *loss* atau dapat dituliskan seperti persamaan berikut:

$$EIRP = P_{Tx} + G_{ant} - L_{Tx} \quad (5.10)$$

dimana,

EIRP : *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

P_{Tx} : daya pancar (dBm)

G_{ant} : *Gain antenna* (dBi)

L_{Tx} : *Transmitter loss* (dB)

F. *Isotropic Received Level (IRL)*

Isotropic Received Level(IRL) merupakan nilai level daya *isotropic* yang diterima oleh stasiun penerima. Nilai IRL ini bukan nilai daya yang diterima oleh sistem atau rangkaian *decoding*, akan tetapi nilai ini adalah nilai level daya terima antena stasiun penerima. Untuk mendapatkan nilai daya terima pada antena penerima maka nilai IRL harus didapatkan terlebih dahulu. Besar nilai IRL didapatkan dari persamaan berikut.

$$IRL = EIRP - FSL \quad (5.11)$$

dimana,

IRL : *Isotropic Received Level* (dBm)

EIRP : *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

FSL : *Free Space Loss* (dB)

G. *Received Signal Level (RSL)*

Received Signal Level (RSL) merupakan level daya yang diterima oleh piranti pengolah *decoding*. Nilai RSL ini dipengaruhi oleh rugi-rugi jalur di sisi antena penerima dan

gain antenna penerima. Dengan ini nilai RSL dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$RSL = IRL - G_{Rx} - L_{Rx} \quad (5.12)$$

Dimana,

RSL : *Received Signal Level* (dBm)

IRL : *Isotropic Received Level* (dBm)

G_{Rx} : *Gain antenna* (dBi)

L_{Rx} : *Receiver Loss* (dB)

H. 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). Maka besarnya *Hoploss* dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$L_h = FSL + L_{Tx} + L_{Rx} + L_{Atm} - (G_{Tx} + G_{Rx}) \quad (5.13)$$

dimana,

L_h : *Hoploss* (dB)

FSL : *Free Space Loss* (dB)

L_{Tx} : *Transmitt loss* (dB)

- L_{Rx} : Receive loss (dB)
- L_{Atm} : Atmosphere loss (dB)
- G_{Tx} : Gain receive antenna (dBi)
- G_{Rx} : Gain transmit antenna (dBi)

I. **FadingMargin**

Untuk mengatasi *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*. Pada sistem tanpa *diversity*, *fading margin* dapat dihitung dengan persamaan.

$$FM = 30 \log D + 10 \log(a \times b \times 2,5 \times f) - 10 \log UnAv_{path} - 60 \quad (5.14)$$

dimana,

FM : *fading margin* (dB)

D : panjang lintasan (km)

f : frekuensi (GHz)

a : Faktor kekasaran bumi, jika

$a = 4$: untuk daerah halus, laut, danau, dan gurun

$a = 1$: untuk daerah kekasaran rata-rata, dataran

$a = \frac{1}{4}$: untuk pegunungan dan dataran tinggi

b: faktor iklim, jika

$b = \frac{1}{2}$: untuk daerah panas dan lembab

$b = \frac{1}{4}$: untuk daerah normal

$b = 1/8$: untuk daerah pegunungan (sangat kering)

$b = 1$: untuk kondisi paling buruk

$UnAv_{path}$: peluang terjadinya path *unavailability* karena *fading* yang masih diperbolehkan.

Untuk meningkatkan *time availability*, *link margin* harus ditingkatkan yang disebut sebagai *fading margin*. Seberapa besar nilai dB yang diperlukan, ada beberapa pendekatan. Pendekatan paling langsung adalah asumsi bahwa *fading* mengikuti distribusi *Rayleigh*, sehingga *fadingmargin* yang dapat digunakan seperti pada Tabel.

Tabel 5. 1 *Required Fading Margin*[2]

<i>Single Hop Propagation Reliability (%)</i>	<i>Required Fading Margin (dB)</i>
90	8
99	18
99.9	28
99.99	38
99.999	48

Besarnya *fading margin* yang dimiliki oleh sistem adalah selisih antara daya terima dan daya terima minimum. Daya terima minimum (*level threshold*) merupakan batas ambang daya yang diterima. Adapun hubungan antara *fading margin* dengan *Receive Signal Level* ditunjukkan pada persamaan:

$$FM = RSL - Rx_{TH} \quad (5.15)$$

dimana,

FM : *Fading Margin* (dB)

RSL : *Receive Signal Level* (dBm)

Rx_{TH} : *Rx Threshold Level* (dBm)

J. *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 (*unavailability*). *Availability* sering disebut juga dengan *reliability* yang didefinisikan dengan kemampuan sistem dalam memberikan pelayanan.

Kebalikan dari *availability* adalah *unavailability* atau *outage time* yang artinya kegagalan sistem dalam memberikan pelayanan.

Maka *availability* dapat dinyatakan dengan persamaan

$$Av_{pat h} = (1 - UnAv_{pat h}) \times 100\% \quad (5.16)$$

Dimana,

$UnAv_{pat h}$: ketidakhandalan sistem

$Av_{pat h}$: kehandalan sistem

Sedangkan *unavailability* dapat dinyatakan dengan persamaan

$$UnAv_{pat h} = a \times b \times 2,5 \times f \times D^3 \times 10^{-6} \times 10^{-FM/10} \quad (5.17)$$

K. Perhitungan Diversity

1. Space Diversity

Pada sistem ini, penerimaan menggunakan dua atau lebih antena yang dipasang sedemikian rupa sehingga antena yang satu dengan antena yang lain terletak pada bidang vertikal secara terpisah.

Untuk mendapatkan operasi yang optimal maka perumusan spasi antara dua antena yang terpisah secara vertikal adalah dengan rumus sebagai berikut

$$s = \frac{3 \times \lambda \times R}{D} \quad (5.17)$$

dimana:

s : jarak spasi antar antenna (m)

λ : panjang gelombang (m)

R : jari-jari bumi (6370 km)

D : panjang lintasan (km)

Apabila dalam sistem transmisi menggunakan teknik *space diversity* untuk mengatasi *fading* akan diperoleh faktor perbaikan sebesarpersebesar, persamaan berikut:

$$I_{sd} = \frac{1.2 \times 10^{-3} \times \eta \times s^2 \times f \times 10^{(FM-v)/10}}{D} \quad (5.18)$$

Dimana,

I_{sd} : faktor perbaikan (*Improvement*)

η : koefisien *switching diversity*

s : jarak antar antenna (m)

FM : *fading margin*

v : perbedaan gain dua antena

Koefisien *switching diversity*, nilai idealnya sebesar 1 sehingga akan didapatkan faktor perbaikan sebesar:

$$I_{sd} = \frac{1.2 \times 10^{-3} \times 1 \times s^2 \times f \times 10^{(FM-v)/10}}{D} \quad (5.19)$$

Jika persamaan di atas diubah ke dalam *desibel* maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$I_{SD} = 20 \log s + 10 \log f - 10 \log D + FM - v - 29.1 \quad (5.20)$$

Setelah sistem mendapatkan perbaikan, maka didapatkan persamaan *fading margin* dengan *space diversity* sebagai berikut:

$$FM = 20 \log D + 5 \log(axbx 2,5) - 5 \log UnAvpath - 10 \log s + \frac{1}{2}v - 15,4 \quad (5.21)$$

Untuk mendapatkan *availability space diversity*, terlebih dahulu dihitung *unavailability space diversity* dengan persamaan berikut:

$$UnAvpath_{sd} = \frac{UnAvpath}{I_{sd}} \quad (5.22)$$

Dimana,

$UnAvpath_{SD}$: ketidakhandalan sistem *space diversity*

$UnAvpath$: ketidakhandalan sistem *non diversity*

I_{sd} : faktor perbaikan sistem *space diversity*

Availability space diversity dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$Avpath_{sd} = (1 - UnAvpath_{sd}) \times 100\% \quad (5.23)$$

$Avpath_{sd}$: kehandalan sistem *space diversity*

$UnAvpath_{sd}$: ketidakhandalan sistem *space diversity*

2. Frekuensi Diversity

Pada teknik ini, sistem mengoperasikan dua frekuensi gelombang mikro pada satu antena baik di antena pemancar maupun antena penerima. Informasi yang dikirimkan oleh kedua *transmitter* yang beroperasi pada frekuensi yang berbeda diteruskan ke satu antena pemancar. Perbedaan frekuensi (Δf) antara kedua frekuensi cukup 2% dan akan lebih baik jika berbeda 6% untuk menghindari terjadinya interferensi yang besar.

Apabila dalam sistem transmisi menggunakan teknik frekuensi *diversity* untuk mengatasi *fading*, maka akan diperoleh faktor perbaikan sebesar:

$$I_{fd} = \frac{0.8 \times \Delta f}{f^2 \times D} \times 10^{FM/10} \quad (5.24)$$

Dimana, Δf adalah perbedaan frekuensi diversity

Jika persamaan di atas diubah ke dalam *desibel* maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$I_{fd} = 10 \log \Delta f - 20 \log f - 10 \log D + FM \ 0.9 \quad (5.25)$$

Setelah sistem mendapatkan perbaikan, maka didapatkan persamaan *fading margin* dengan frekuensi *diversity* sebagai berikut:

$$FM = 20 \log D + 5 \log(a \times b \times 2.5) + 15 \log f - 5 \log UnAv_{path} - 5 \log \Delta f - 29.5 \quad (5.26)$$

dimana:

Δf : perbedaan frekuensi yang digunakan dalam system transmisi yang menggunakan teknik frekuensi *diversity*.

I_{fd} : faktor perbaikan (dB)

Rangkuman

Dalam perancangan sistem komunikasi gelombang mikro, perlu kiranya untuk menghitung link budget untuk mengestimasi kebutuhan daya dan kuliatas availability yang akan didapatkan dari suatu link komunikasi. Perhitungan *Link budget* mempertimbangkan berbagai atenuasi disebabkan propagasi, begitupula dengan *antenna gain*, *feedline* dan rugi-rugi lainnya. Dari hasil perhitungan ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan sub-sistem.

Soal Latihan

1. Hitunglah EIRP suatu subsistem transmisi menggunakan frekuensi 15 GHz dengan 4.5 dB *loss line* transmisi, *power* 20 mW dan gain antenna 41 dB ?
2. Tentukan *fading margin* yang harus diberikan supaya *availability* mencapai 99.9% dengan ketentuan frekuensi kerja = 4GHz; $a = 2$ (medium licin); $b = 0.25$ (tidak terlalu lembab) dan jarak antara dua terminal = 45 km.
3. Suatu *link microwave* digital dengan panjang 12 Mile (19 Km), memiliki kapasitas trafik STM-1. Diharapkan mampu mendapatkan BER 1×10^{-7} ; menggunakan modulasi 258-QAM menghasilkan 2.5 dB *modulation implementastion Loss*. *Fade Margin* sebesar +2 dB dengan *Availability* hingga 99.99%. *transmitter output* 1 watt, bekerja pada frekuensi 11 gHz. Dan *Noise figure* pada penerima sebesar 2.0 dB dan redaman hujan sebesar 0.3 db/Km.
Bila sistem transmisi menggunakan teknis *space diversity*, hitunglah dan buatlah analisa perbandingan *Required RSL* dengan *RSL actual* (mempertimbangkan *loss* dan *gain* transmisi) ?
4. Diketahui bahwa curah hujan setempat adalah 30 mm/jam, panjang lintasan sejauh 40 km, frekuensi yang digunakan sebesar 8 GHz dan polarisasi yang digunakan adalah polarisasi horizontal. Dari polarisasi ini dapat dicari faktor regresi fungsi dari frekuensi dan polarisasi berdasarkan tabel pada *slide* sebelumnya. Dari tabel akan didapatkan nilai a sebesar 0.00454 dan nilai b sebesar 1.327. carilah besarnya redaman efektif?

BAGIAN 6

SIMULASI KOMUNIKASI GELOMBANG MIKRO MENGUNAKAN PATHLOSS 5

**Tujuan Instruktusional
Pembaca mampu
mengerti, menjelaskan dan
mensimulasikan antara lain:**

1. Sistem komunikasi gelombang mikro point-to-point.
2. Sistem komunikasi gelombang mikro dengan menggunakan repeater
3. Sistem komunikasi gelombang mikro dengan menggunakan teknik diversity

Pada implementasi sistem komunikasi gelombang mikro, dibutuhkan simulasi yang mendukung terhadap perancangan sistem. Simulasi ini dapat menjadi acuan terhadap perancangan sistem yang akan dilakukan. Simulasi ini menggunakan suatu perangkat lunak yang khusus digunakan untuk perancangan komunikasi gelombang mikro yaitu, Pathloss 5

Tutorial atau cara penggunaan sebuah perangkat lunak sangat diperlukan untuk mempermudah para pengguna dalam menggunakan perangkat lunak tersebut. Sehingga tercapailah efisiensi waktu yang digunakan oleh para pengguna. Pada Bab ini akan di bahas tentang cara penggunaan Perangkat Lunak Pathloss 5 secara garis besar, dengan sedikit mengupas tentang teori yang melatar belakangnya.

A. Perangkat Lunak Pathloss 5

Perangkat lunak Pathloss 5 dalam bidang telekomunikasi banyak digunakan untuk melakukan perencanaan RF dalam membuat suatu lintasan perhitungan dari satu node ke node yang lain pada Transmisi Gelombang Mikro (Gelombang mikro), baik yang bersifat satu titik ke satu titik maupun satu titik ke banyak titik, sehingga dengan menggunakan perangkat lunak Pathloss 5 dapat diketahui *print profile* suatu jaringan beserta kalkulasi *link budget*-nya.

Perangkat lunak Pathloss 5 digunakan untuk :

1. Membuat *link profile* (*terrain data* dari peta digital, *.txt atau manual)
2. Kalkulasi performa *link*.
3. Analisa *reflection* dan *multipath*.
4. Optimasi ketinggian antena.
5. Analisa interferensi.

Perangkat lunak Pathloss 5 ini merupakan Perangkat lunak yang diakui secara internasional yang dibuat oleh *Contract Telecommunication Engineering* (CTE) di Kanada dan paling banyak digunakan oleh operator dan vendor telekomunikasi sebagai alat untuk melakukan perancangan transmisi komunikasi radio gelombang mikro

Beberapa file penunjang yang harus digunakan pada Pathloss 5 adalah sebagai berikut, yaitu basis data hujan, informasi perangkat antena radio IDU, ODU, pengkalan frekuensi serta peta digital.

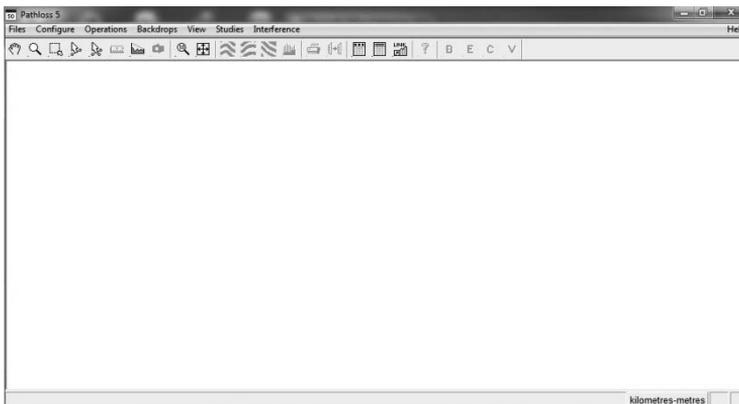
Langkah-langkah berikut ini digunakan untuk menghitung link budget pada Pathloss 5, yaitu sebagai berikut:

1. Memasukan informasi kordinat masing-masing lokasi.
2. Memasukan informasi topografi daerah (*Map Database*) .

3. Memberikan informasi penghalang atau *obstacle* diantara pemancar dan penerima.
4. Memasukkan ketinggian optimum antena.
5. Memasukkan informasi mengenai data antena, *feeder, radio*, tipe cuaca, frekuensi kerja, pengkalan frekuensi yang akan digunakan.
6. Memasukkan daerah hujan.
7. Memasukkan hasil profil propagasi gelombang radio ruang bebas yang telah dikonfigurasi.
8. Menampilkan hasil perhitungan link budget dalam bentuk Report.

B. Prosedur Awal Menjalankan Pathloss 5

Tampilan awal dari Pathloss 5. Seperti pada gambar berikut ini:



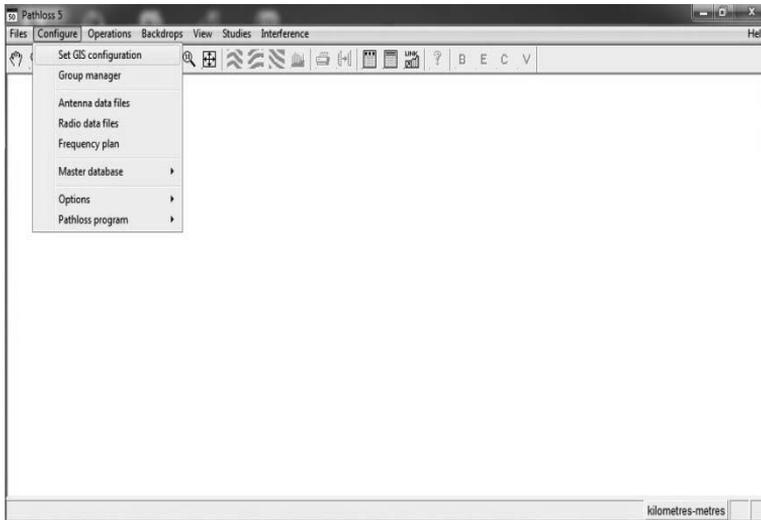
Gambar 6. 1 Tampilan Awal Pathloss

1. Memasukan *Database Digital Map* menggunakan **GTOPO30 (world).**

Memasukkan database digital map kedalam pathloss 5. *Map digital* yang digunakan dapat menggunakan SRTM (world) atau GTOPO30 (world).

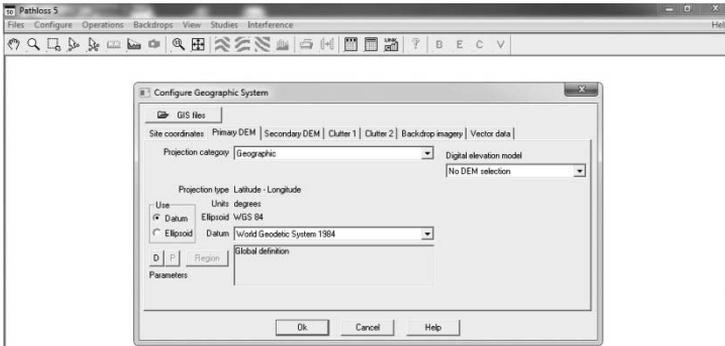
Pada sub-bab ini akan menjelaskan tentang GTOPO30 (world).

- a. Memilih menu *Configure* kemudian *Set GIS configuration*.



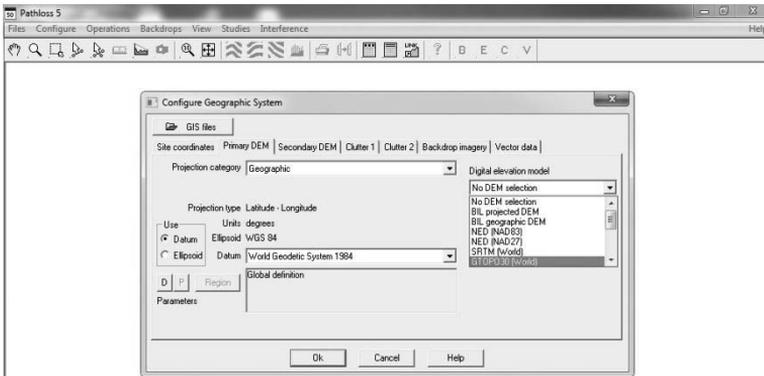
Gambar 6. 2 Tampilan Awal

b. Memilih menu *barPrimaryDEM*



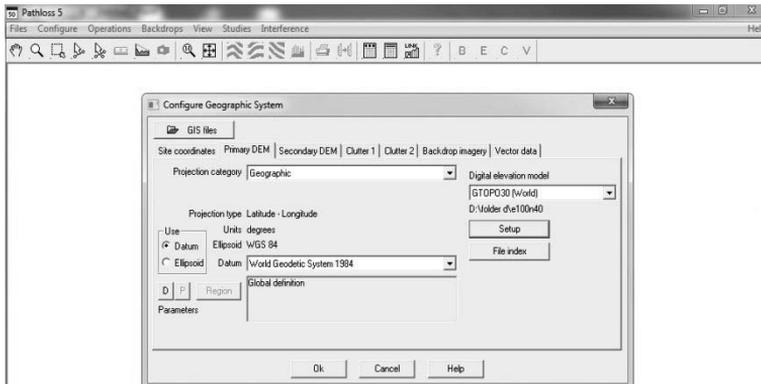
Gambar 6.3 *Primary DEM*

c. Memilih *GTOPO30 (World)* pada *digital elevation mode*



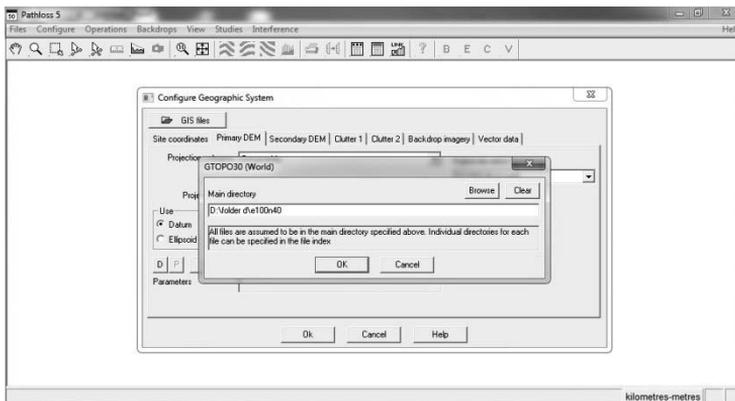
Gambar 6.4 *digital elevation mode*

d. Memilih Setup



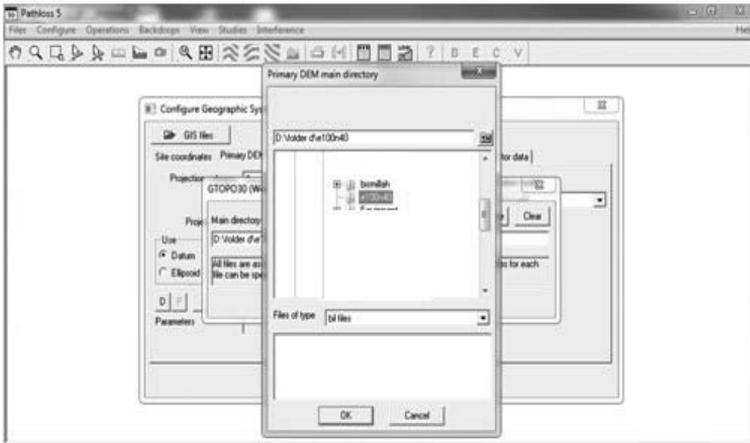
Gambar 6. 5 Memilih DEM GTOPO30 (World)

e. Menekan tombol *browse* untuk mencari file GTOPO30 pada *folder* komputer seperti pada gambar berikut.



Gambar 6. 6 Memilih *file*

f. Kemudian *Insert folder* yang berisikan GTOPO30(World).



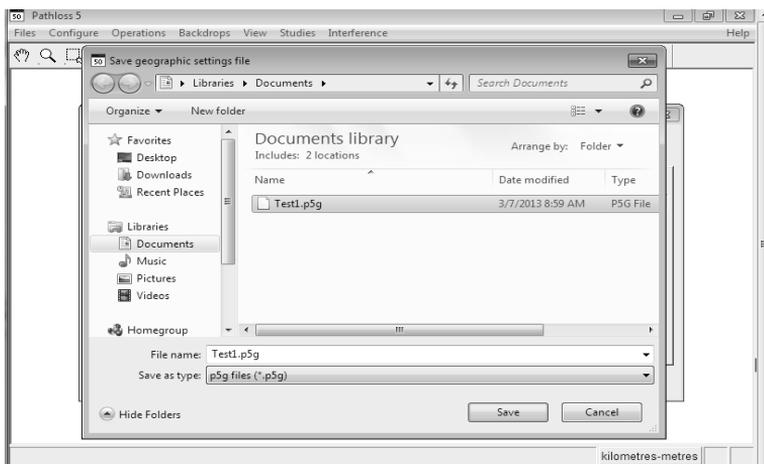
Gambar 6. 7 Directory GTOPO30

g. Menekan *File index* sampai muncul daftar *index* seperti berikut ,

	file name	west edge °	east edge °	south edge °	north edge °	rows	columns	x cell "	y cell "
1	W180s10.der	-180.0	-140.0	-60.0	-10.0	6000	4800	30.0	
2	W180n90.der	-180.0	-140.0	40.0	90.0	6000	4800	30.0	
3	W140n40.der	-180.0	-140.0	-10.0	40.0	6000	4800	30.0	
4	W180s60.der	-180.0	-120.0	-90.0	-60.0	3600	7200	30.0	
5	W140n90.der	-140.0	-100.0	40.0	90.0	6000	4800	30.0	
6	W140n40.der	-140.0	-100.0	-10.0	40.0	6000	4800	30.0	
7	W140s10.der	-140.0	-100.0	-60.0	-10.0	6000	4800	30.0	
8	W120s60.der	-120.0	-60.0	-90.0	-60.0	3600	7200	30.0	
9	W100s10.der	-100.0	-60.0	-60.0	-10.0	6000	4800	30.0	
10	W100n90.der	-100.0	-60.0	40.0	90.0	6000	4800	30.0	
11	W100n40.der	-100.0	-60.0	-10.0	40.0	6000	4800	30.0	
12	W060s10.der	-60.0	-20.0	-60.0	-10.0	6000	4800	30.0	
13	W060n90.der	-60.0	-20.0	40.0	90.0	6000	4800	30.0	
14	W060n40.der	-60.0	-20.0	-10.0	40.0	6000	4800	30.0	
15	W060s60.der	-60.0	0.0	-90.0	-60.0	3600	7200	30.0	
16	W020n40.der	-20.0	20.0	-10.0	40.0	6000	4800	30.0	
17	W020n90.der	-20.0	20.0	40.0	90.0	6000	4800	30.0	
18	W020s10.der	-20.0	20.0	-60.0	-10.0	6000	4800	30.0	
19	W000s60.der	0.0	60.0	-90.0	-60.0	3600	7200	30.0	
20	E020n90.der	20.0	60.0	40.0	90.0	6000	4800	30.0	
21	E020s10.der	20.0	60.0	-60.0	-10.0	6000	4800	30.0	
22	E020n40.der	20.0	60.0	-10.0	40.0	6000	4800	30.0	

Gambar 6. 8 File Index GTOPO30 (world)

h. Menyimpan *File index*

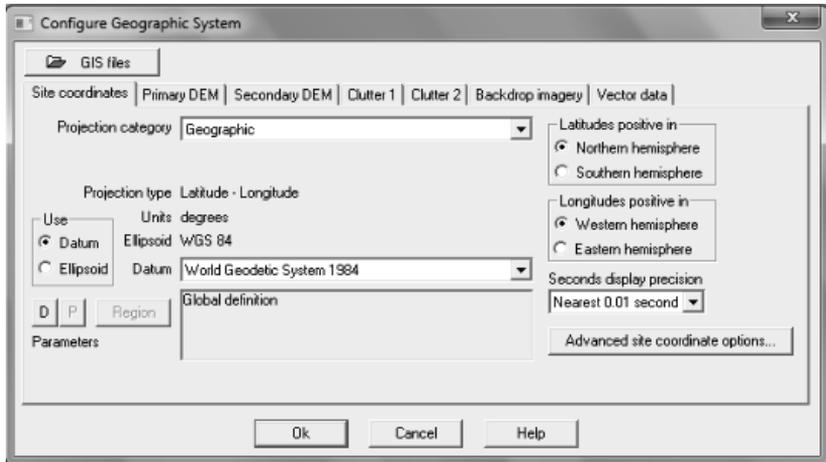


Gambar 6. 9 Menyimpan *File index*

2. Memasukan *Database Digital Map* menggunakan *SRTM (World)*.

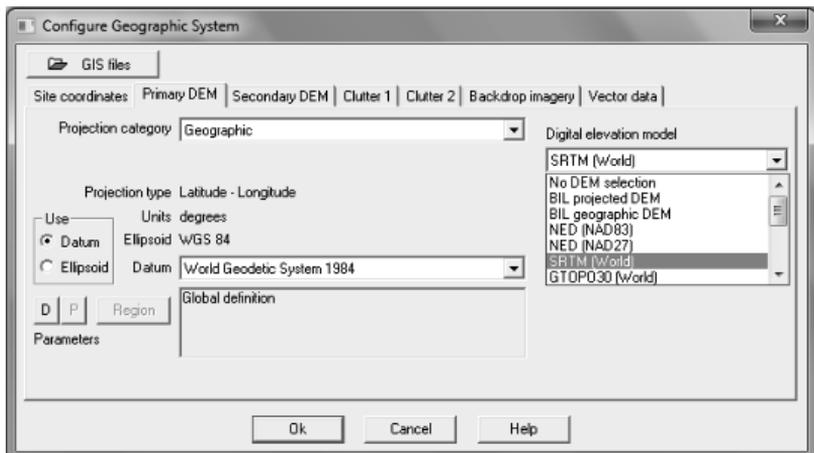
Langkah pertama sebelum memulai pekerjaan adalah dengan memasukkan *database map digital* kedalam pathloss 5 ini. *Map digital* yang digunakan adalah SRTM(.hgt).

- a. Klik menu *Configure – Set GIS configuration*.
- b. Sehingga muncul tampilan seperti gambar dibawah ini.



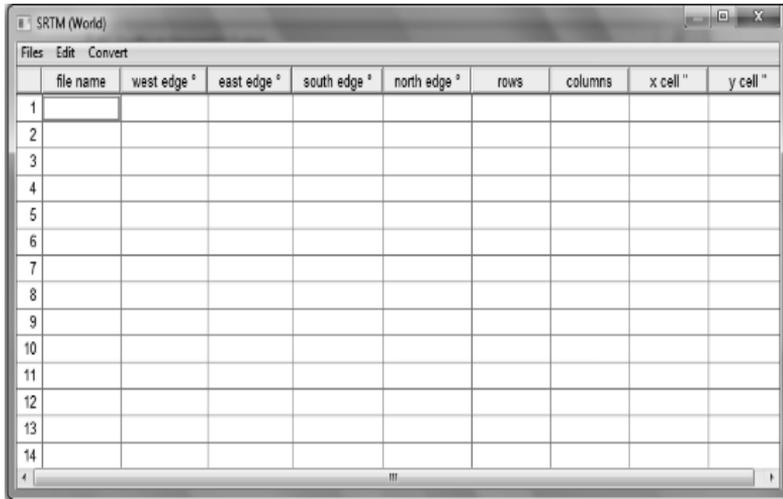
Gambar 6. 10 Tampilan *Configure Geographic System*

- c. Tekan tab *Primary DEM*, sehingga muncul tampilan seperti gambar dibawah ini.



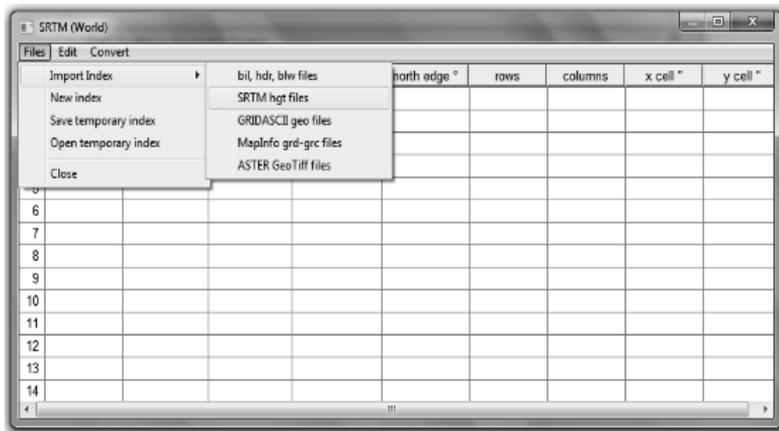
Gambar 6. 11 Tampilan *Primary DEM*

- d. Pilih SRTM(*World*) untuk memasukkan data map digital, sehingga muncul tampilan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 6. 12 Jendela SRTM (world)

- e. Tekan *Menu Files – Import Index – SRTM hgt Files*



Gambar 6. 13 Menu *Files – Import Index – SRTM hgt Files*

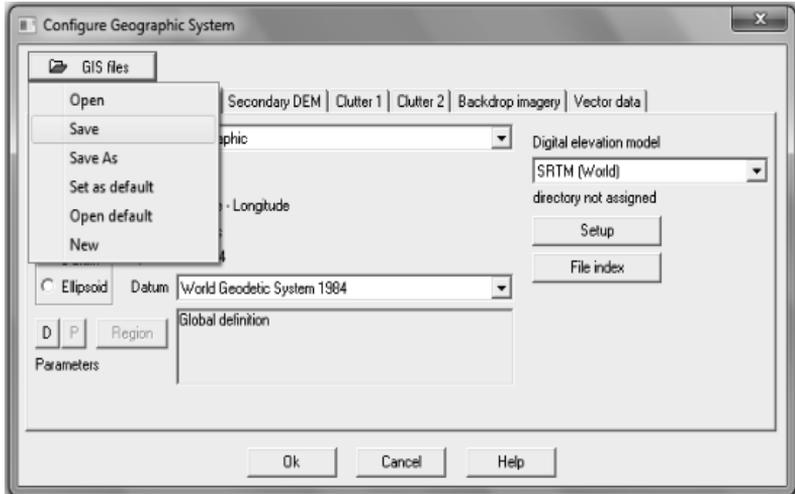
File “SRTM hgt” bisa di unduh pada website: http://www.viewfinderpanoramas.org/Coverage%20map%20viewfinderpanoramas_org3.htm

- f. Masukkan data *Map Digital*, sehingga muncul tampilan seperti gambar dibawah ini.

	file name	west edge °	east edge °	south edge °	north edge °	rows	columns	x cell °	y cell °
1	N00E116.hgt	115.9995833	117.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
2	N00E117.hgt	116.9995833	118.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
3	N00E118.hgt	117.9995833	119.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
4	N00E119.hgt	118.9995833	120.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
5	N00E120.hgt	119.9995833	121.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
6	N00E121.hgt	120.9995833	122.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
7	N00E122.hgt	121.9995833	123.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
8	N00E123.hgt	122.9995833	124.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
9	N00E124.hgt	123.9995833	125.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
10	N00E126.hgt	125.9995833	127.0004167	-4.166667e-004	1.000416667	1201	1201	3.0	
11	N01E112.hgt	111.9995833	113.0004167	0.9995833333	2.000416667	1201	1201	3.0	
12	N01E113.hgt	112.9995833	114.0004167	0.9995833333	2.000416667	1201	1201	3.0	
13	N01E114.hgt	113.9995833	115.0004167	0.9995833333	2.000416667	1201	1201	3.0	
14	N01E115.hgt	114.9995833	116.0004167	0.9995833333	2.000416667	1201	1201	3.0	

Gambar 6. 14 SRTM hgt Files yang telah terkonfigurasi

- g. Tutup jendela SRTM(*World*) kemudian simpan konfigurasi anda pada folder yang diinginkan.



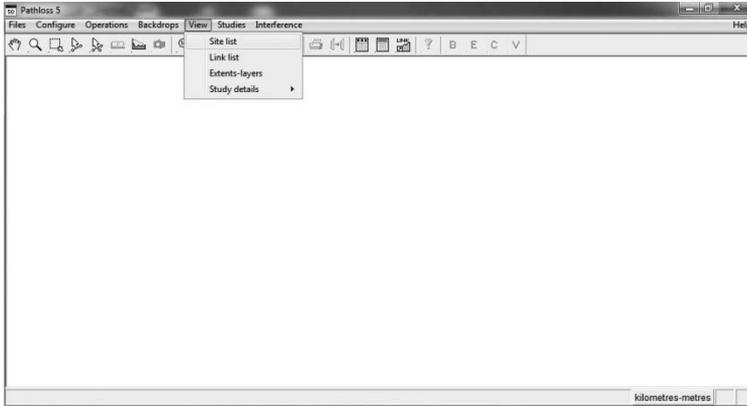
Gambar 6. 15 Save konfigurasi

Peta digital yang disimpan memiliki format file .p5g files

C. Konfigurasi Jaringan site

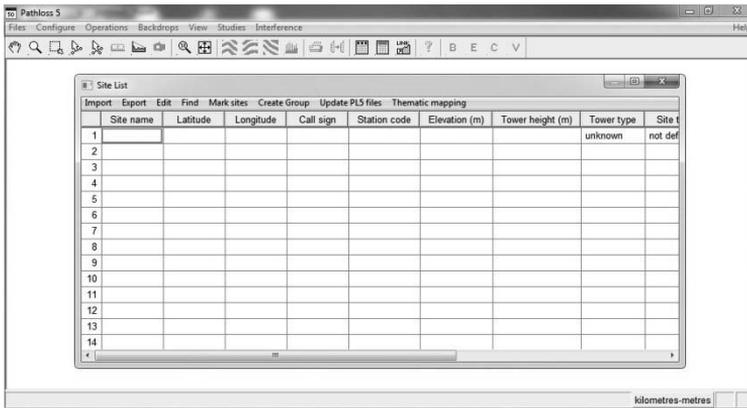
Untuk memasukan *infromasi* pada perangkat lunak *Pathloss 5* yaitu:

- a. Memasukan informasi site dengan cara menekan "*View*" dan memilih *site list*.



Gambar 6. 16 Tampilan Awal Konfigurasi Site

b. Tampilan site list seperti di bawah ini.



Gambar 6. 17 Site List

c. Kemudian isikan nama *site* yang akan dibuat *latitude*, *longitude*, dan elevasi nya beserta ketinggian towernya.

Setelah di isi informasi di atas, tekan tombol close (Tanda X)

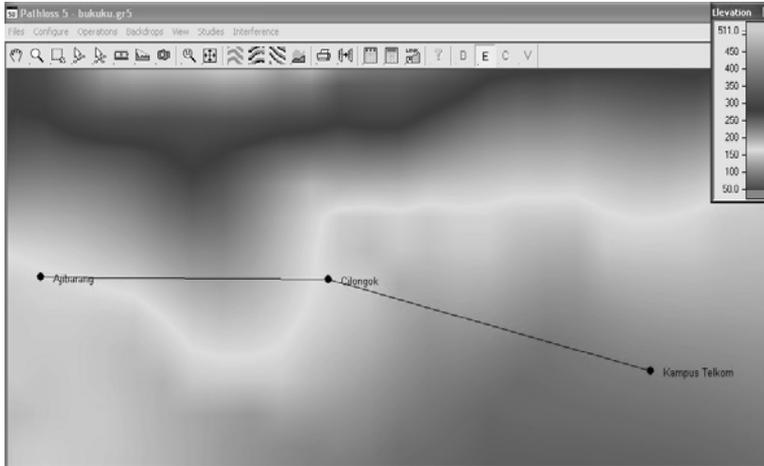
	Site name	Latitude	Longitude	Call sign	Station code	Elevation (m)	Tower height (m)	Tower typ
1	Ajibarang	07 24 39.03 S	109 04 41.40 E	3		162.1	100.0	unknown
2	Cilongok	07 24 41.80 S	109 09 33.35 E	2		160.6	100.0	unknown
3	Kampus Telkom	07 26 04.93 S	109 15 01.14 E	1		98.6	100.0	unknown
4								unknown
5								
6								
7								

Gambar 6. 18 Network yang dibuat

- d. Setelah menjadi dua titik, maka tarik garis dari site Kampus Telkom ke site Cilongok (atau biasa di sebut dengan HOP), dan garis dari Site Cilongok ke Site Ajibarang.
- e. Menampilkan map dalam bentuk 3D. dengan menekan menu seperti pada gambar



Gambar 6. 19 Menu untuk Tampilan 3D

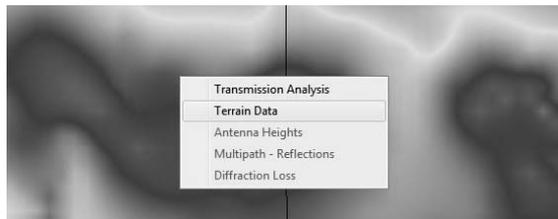


Gambar 6. 20 link site 3D

D. Mengkonfigurasi *Terrain data*

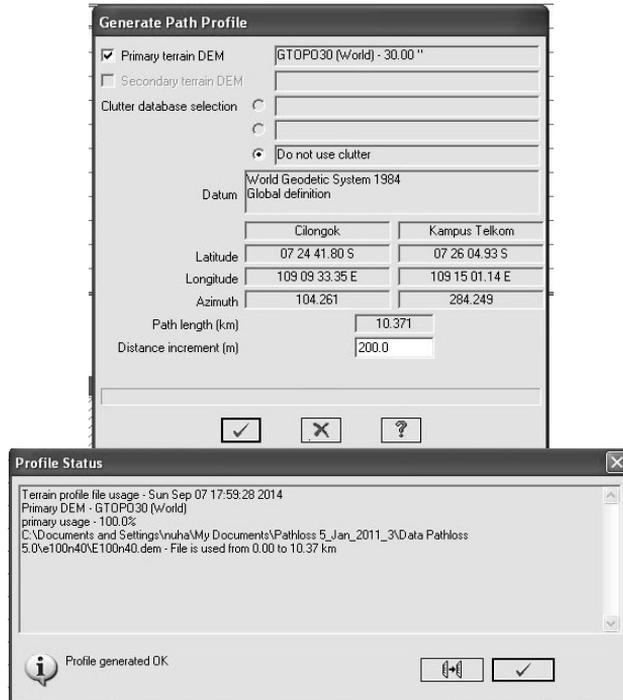
Menambahkan informasi kontur tanah disepanjang jalur dalam satu hop BTS caranya dengan menkonfigurasi kontour bumi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mengatur *terrain data* pada site dengan cara, menekan garis antara Site Kampus Telkom-Cilongok kemudian pilih *terrain data*.

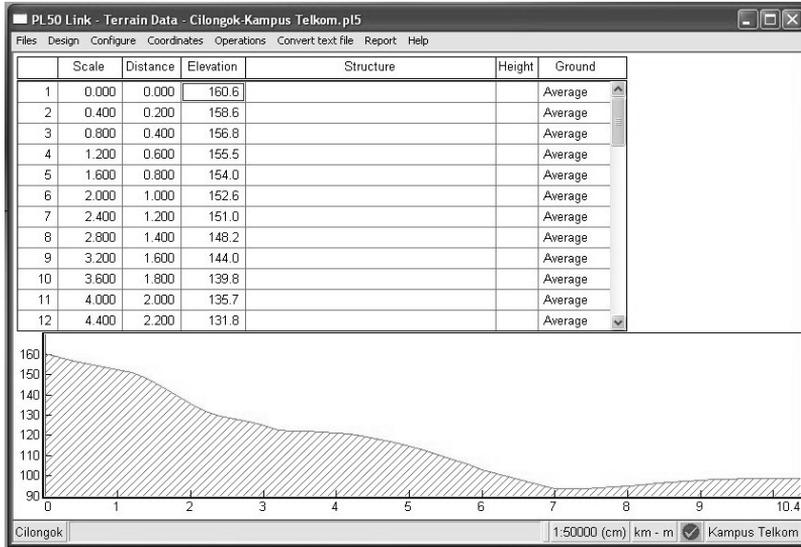


Gambar 6. 21 Memilih Terrain Data

- d. Tampilan *generate profile* seperti dibawah ini, kemudian menekan centang untuk meng-*generate profile*.



Gambar 6. 24 Tampilan *Generate Profile*



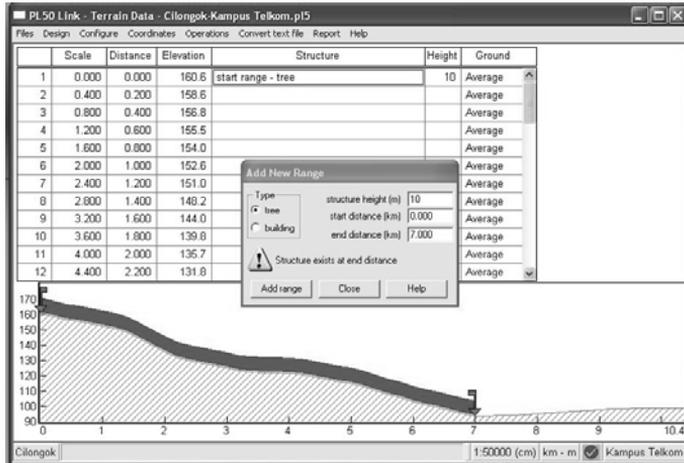
Gambar 6. 25 Hasil *Generate Profile*

- e. Antara Site Kampus Telkom-Cilongok tentunya banyak terdapat penghalang sehingga perlu di masukan jenis dan ketinggian penghalang dengan cara menekan pada tabel *Structure*, Pilih menu *Range of stucture*,

Structure	Height	Ground
Single structure		Average
Range of structures		Average
Off path structure		Average
		Average

Gambar 6. 26 Memilih *Jenis Structure*

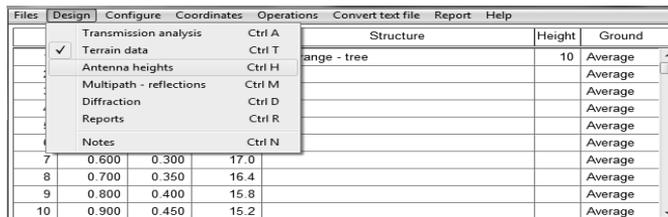
- f. Menambahkan tinggi toleransi dan tipe dari penghalang. Agar ketinggian dan tipe penghalang sesuai dengan kenyataan di lapangan, sehingga muncul tampilan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 6. 27 Memilih Jenis dan Ketinggian Penghalang

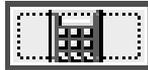
E. Mengkonfigurasi Antenna Height

- a. Mengkonfigurasi ketinggian antena yang harus dipasang untuk mendapatkan LOS Propagasi.

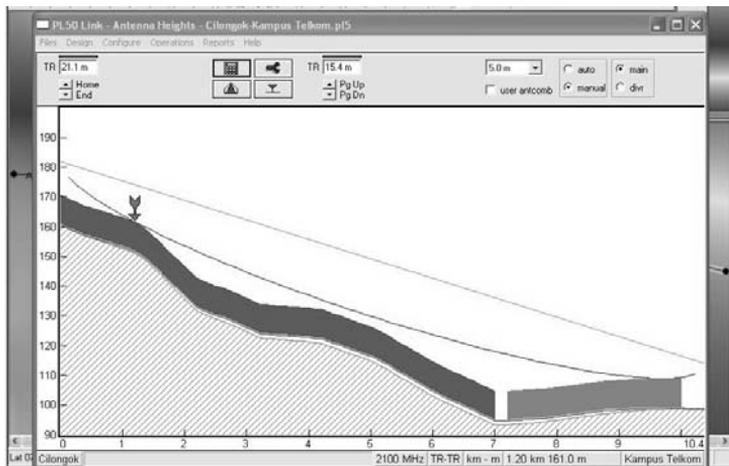


Gambar 6. 28 Memilih Antenna Height (CTRL-H),

- b. Menekan icon seperti gambar dibawah ini untuk menghitung secara otomatis berapa ketinggian antenna pemancar dan penerima yang optimum untuk dipasang berdasarkan *terrain data* yang telah dikonfigurasi.



Gambar 6. 29 Icon untuk menghitung tinggi antenna

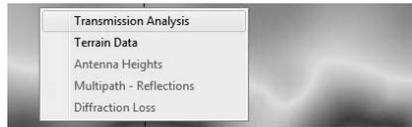


Gambar 6. 30 Antenna Heights Window

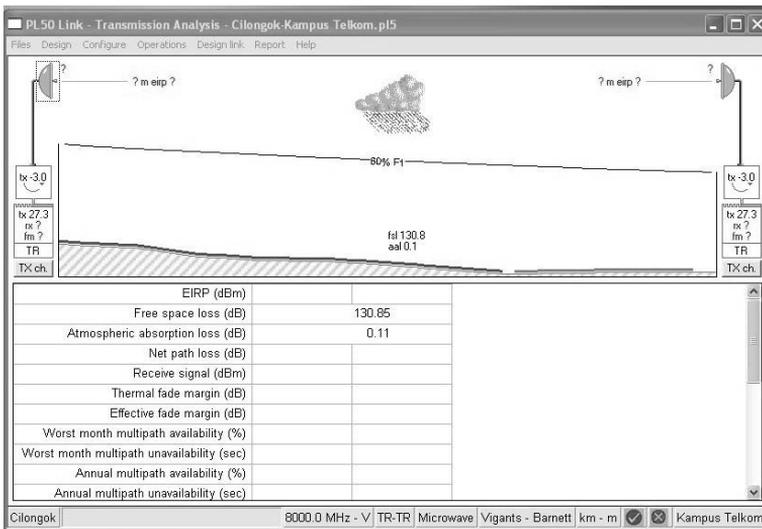
F. Mengkonfigurasi Parameter-Parameter Sistem Transmisi

Setelah mengkonfigurasi Terrain data, selanjutnya adalah mengkonfigurasi parameter parameter seperti data antenna, feeder, IDU, ODU , tipe cuaca, frekuensi kerja, dan pengkalan

frekuensi yang akan digunakan. Cara nya adalah dengan me-
nekan pada garis antara Site Kampus Telkom-Cilongok, ke-
mudian memilih *Transmission Analysis*.



Gambar 6. 31 Memilih *Transmission Analysis*



Gambar 6. 32 *Profile* Pemancar dan Penerima

G. Mengkonfigurasi Data Anetenna ODU

- a. Memasukkan data antenna yang akan dipakai. Tekan icon seperti gambar dibawah ini, untuk memasukkan data antenna.



Gambar 6. 33 Icon Antenna

- b. Tampilan Setelah menekan icon antenna adalah seperti gambar dibawah ini.

A screenshot of a software window titled 'Antennas TR - TR'. The window contains a table with columns for 'Cilongok' and 'Kampus Telkom'. The table lists various antenna parameters such as model, diameter, height, gain, loss, and beamwidth. The 'True azimuth' row shows values of 104.26 and 284.25, while the 'Vertical angle' row shows -0.38 and 0.31.

	Cilongok	Kampus Telkom
Antenna model		
Antenna diameter (m)		
Antenna height (m)		
Antenna gain (dBi)		
Radome loss (dB)		
Antenna file name		
Antenna 3 dB beamwidth H (°)		
Antenna 3 dB beamwidth E (°)		
True azimuth (°)	104.26	284.25
Vertical angle (°)	-0.38	0.31
Antenna azimuth (°)		
Antenna downtilt (±°)		
Orientation loss (dB)		

Gambar 6. 34 Memilih Jenis ODU

- c. Data antenna didapatkan dari *database* pathloss 5. Perangkat lunak Pathloss 5 memiliki banyak data untuk tipe antenna, radio dan database lainnya. Database dapat juga *download* dari website pathloss. Cara mendapatkan databasenya dengan menekan icon seperti gambar dibawah ini untuk konfigurasi antenna berdasarkan *database* pathloss 5.



Gambar 6. 35 Database pathloss 5

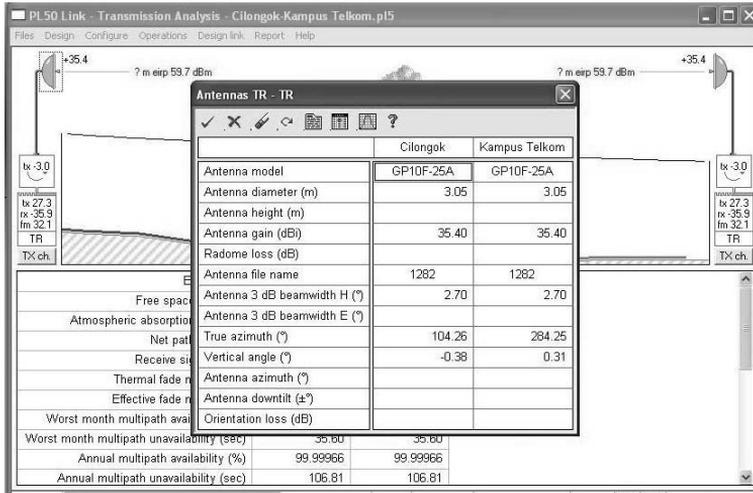
- d. Tampilan Database Antenna seperti di bawah ini, pada Buku ini di pilih Jenis antenna Andrew GP10F-25A

	Antenna file name	Folder	Manufacturer	Model	Gain (dBi)	Low frequency (MHz)	High frequency (MHz)
118	1271g	c:\documents	ANDREW	PL8-71W	42.9	7125.0	8500.0
119	1272	c:\documents	Andrew	GPL8-25A	33.7	1700.0	2110.0
120	1273g	c:\documents	ANDREW	PL10-71W	44.8	7125.0	8500.0
121	1274	c:\documents	Andrew	GPL10-25A	35.5	1700.0	2110.0
122	1275i	c:\documents	ANDREW	PL12-71W	46.3	7125.0	8500.0
123	1277f	c:\documents	ANDREW	P6-122	45.1	12200.0	13250.0
124	1278	c:\documents	Andrew	GP6F-25A	31.1	1700.0	2110.0
125	1279	c:\documents	ANDREW	PAR10-59W	43.4	5925.0	7125.0
126	1280	c:\documents	Andrew	GP8F-25A	33.6	1700.0	2110.0
127	1262	c:\documents	Andrew	GP10F-25A	35.4	1700.0	2110.0
128	1286e	c:\documents	ANDREW	P6-122	47.6	12200.0	13250.0
129	1288f	c:\documents	ANDREW	P10-122	48.8	12200.0	13250.0
130	1290a	c:\documents	ANDREW	PAR6-65	38.8	6425.0	7125.0
131	1292	c:\documents	Andrew	PL6-25D	31.5	2480.0	2700.0
132	1294	c:\documents	Andrew	PL8-25D	34.0	2480.0	2700.0
133	1296	c:\documents	Andrew	PL10-25D	36.0	2480.0	2700.0
134	1298	c:\documents	Andrew	PL12-25D	37.5	2480.0	2700.0

Gambar 6. 36 Database Antenna

- e. Memasukan data antenna dengan cara memilih beberapa pilihan, +12, apabila akan memasukan ke pemancar dan penerima, + 1 apabila hanya akan memasukan ke pemancar saja, + 2 apabila hanya akan memasukan ke penerima saja

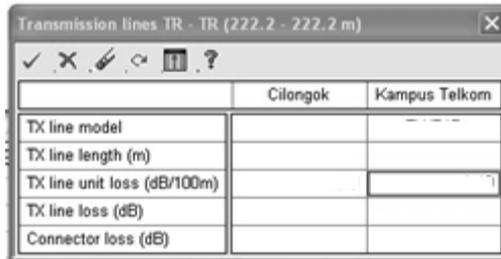
f. Tampilan setelah data terinput pada parameter antenna.



Gambar 6. 37 ODU yang sudah terinput

H. Mengkonfigurasi parameter *Transmission lines*

a. Mengkonfigurasi parameter *Transmission lines* dengan menekan icon lines seperti di bawah ini.



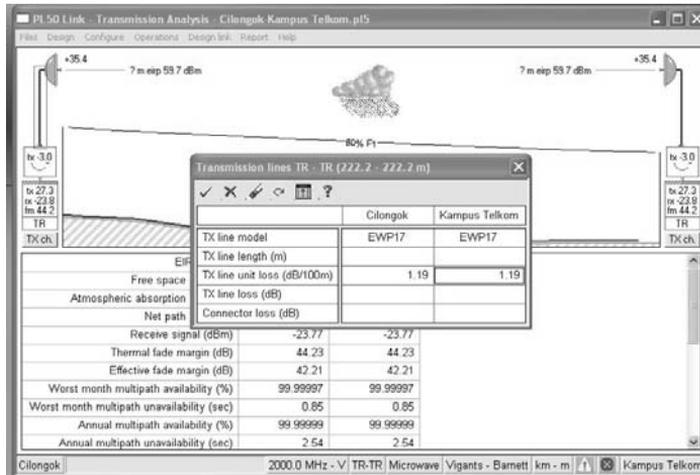
Gambar 6. 38 Icon *transmission lines*

- b. Menampilkan tabel transmission lines seperti gambar 6.39 di bawah ini, pada buku ini penulis memilih Model EWP17 dari Andrew, dikarenakan frekuensi nya sesuai dengan frekuensi pada Antenna ODU yang penulis pilih sebelumnya.

	Manufacturer	Model	Loss dB/100m	Low frequency (MHz)	High frequency (MHz)	Technology
1	Andrew	EWP17	1.2	1700.0	2400.0	Elliptical wave
2	Andrew	EW20	1.8	1900.0	2700.0	Elliptical wave
3	Andrew	EW28		2600.0	3400.0	Elliptical wave
4	Andrew	EWP34		3100.0	4200.0	Elliptical wave
5	Andrew	EWP37		3300.0	4300.0	Elliptical wave
6	Andrew	EWP43		4400.0	5000.0	Elliptical wave
7	Andrew	EWP52		4600.0	6425.0	Elliptical wave
8	Andrew	EWP63		5850.0	7125.0	Elliptical wave
9	Andrew	EWP64		5300.0	7750.0	Elliptical wave
10	Andrew	EWP77		6100.0	8500.0	Elliptical wave
11	Andrew	EW85		7700.0	9800.0	Elliptical wave
12	Andrew	EWP90		8300.0	11700.0	Elliptical wave
13	Andrew	EWP127A		10000.0	13250.0	Elliptical wave
14	Andrew	EWP132		11000.0	15350.0	Elliptical wave
15	Andrew	EWP180		14000.0	19700.0	Elliptical wave
16	Andrew	EW220		21000.0	23600.0	Elliptical wave
17	Andrew	EW240		22000.0	26500.0	Elliptical wave
18	Andrew	EFX2-50	17.9	0.5	13500.0	Helix foam di

Gambar 6. 39 Database transmission lines

- c. Setelah memasukan data, maka ada 3 pilihan yaitu, icon +1 , untuk memasukan parameter transmission lines pada pemancar, icon +2 untuk memasukan parameter transmission lines pada penerima dan icon +12 untuk memasukan parameter transmission lines pada pemancar dan penerima, kemudian akan muncul tampilan seperti di bawah ini.



Gambar 6. 40 *Tranmission Lines* yang di Konfigurasi

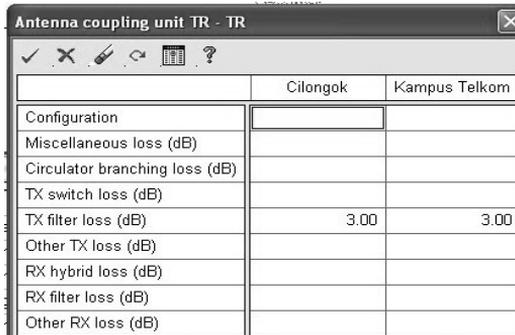
I. Mengkonfigurasi parameter *Antenna Coupling*

- a. Mengkonfigurasi parameter *Antenna Coupling* dengan menekan icon di bawah ini.



Gambar 6. 41 *Icon Antenna coupling*

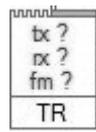
- b. Menampilkan *antenna coupling* dan mengisikan nilai *circulator brancing* sebesar 3 (dB) seperti di bawah ini.



Gambar 6. 42 *Antenna coupling* terkonfigurasi

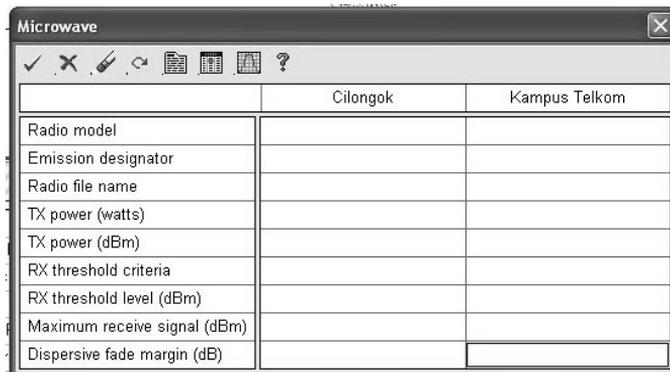
J. Mengkonfigurasi data radio IDU

- a. Memasukan *data radio* IDU dengan menekan icon seperti di bawah ini.



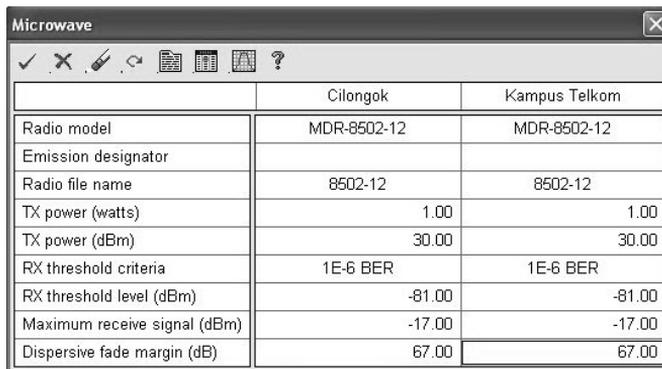
Gambar 6. 43 *Icon Radio*

- b. Tampilan *Data Radio* seperti gambar 6.44 dan 6.45 di bawah ini.



Gambar 6. 44 Konfigurasi untuk IDU

- c. Menekan icon insert data untuk menampilkan data data radio, Memilih beberapa pilihan, pilih + 12, apabila akan memasukan ke pemancar dan penerima, +1 apabila hanya akan memasukan ke pemancar saja, + 2 apabila hanya akan memasukan ke penerima saja, kemudian pilih +12



	Cilongok	Kampus Telkom
Radio model	MDR-8502-12	MDR-8502-12
Emission designator		
Radio file name	8502-12	8502-12
TX power (watts)	1.00	1.00
TX power (dBm)	30.00	30.00
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-81.00	-81.00
Maximum receive signal (dBm)	-17.00	-17.00
Dispersive fade margin (dB)	67.00	67.00

Gambar 6. 45 Memilih IDU untuk Pemancar dan Penerima

K. Menkonfigurasi Parameter *Tx channel*

- a. Frekuensi Pemancar dan Penerima harus di konfigurasi sesuai dengan range frekuensi yang dapat di support oleh IDU dan ODU pada konfigurasi sebelumnya, caranya dengan mengkonfigurasi parameter *Tx channel* yaitu dengan cara menekan icon yang bertuliskan “TX ch” dan akan muncul tabel seperti pada gambar 6.46 di bawah ini.

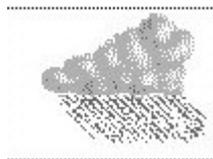
TX Channel Lookup Table 1_9_2_3ghz-itu-rf_382-2ghz-213mhz.tc5					
Files Edit					
+1t +2t   					
	Channel ID Hi	Frequency Hi (MHz)	Channel ID Lo	Frequency Lo (MHz)	
1	1h	2135.00	1l	1922.00	
2	2h	2164.00	2l	1951.00	
3	3h	2193.00	3l	1980.00	
4	4h	2222.00	4l	2009.00	
5	5h	2251.00	5l	2038.00	
6	6h	2280.00	6l	2067.00	
7					
8					

Gambar 6. 46 Parameter Tx Channel

- b. Menekan tombol icon +2 yang berarti mengkonfigurasi ke kedua site.

L. Menkonfigurasi Parameter Curah Hujan

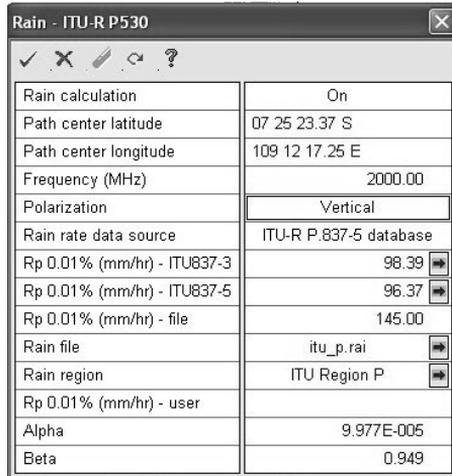
- a. Mengkonfigurasi data rain atau curah hujan, dengan klik icon di bawah ini.



Gambar 6. 47 Icon Curah Hujan

- b. Menampilkan tabel seperti gambar 6.48 berikut dengan beberapa parameter yang harus di isi, yaitu
 - “Frequency” dirubah menjadi “2000 Mhz” (sesuai dengan spesifikasi perangkat antenna yang dipilih pada halaman selanjutnya) ,

- “Rain File” di pilih itu_p.raai , sesuai dengan gambar pembagian curah hujan di dunia (Menekan icon panah berwarna biru untuk mengkonfigurasi curah hujan di Indonesia).
- “Polarization”, Polarisasi antena menunjukkan polarisasi vektor medan listrik dari gelombang yang diradiasikan yaitu, posisi dan arah medan listrik dengan referensi kepada permukaan bumi atau tanah menentukan polarisasi gelombang. Jenis polarisasi yang paling sering digunakan adalah polarisasi linier (horisontal dan vertikal) dan polarisasi melingkar (polarisasi tangan kanan dan polarisasi tangan kiri). Pemilihan polarisasi disesuaikan dengan project yang sedang dilakukan, agar tidak terjadi interferensi dengan HOP yang lain.



Gambar 6. 48 Pemilihan Curah Hujan

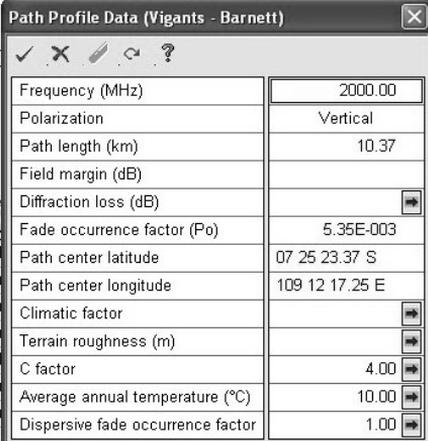
- c. Mengkonfigurasi lintasan dari pemancar ke penerima atau path profile data, beberapa parameter yang harus di isi adalah C factor (kekasaran bumi) ,

C factor : 4 = untuk daerah halus, laut, danau, dan gurun

C factor : 1 = untuk daerah kekasaran rata-rata, dataran

C factor : $\frac{1}{4}$ = untuk pegunungan dan dataran tinggi

Secara otomatis perangkat Lunak Pathloss 5 akan membaca database GTOPO30(world).

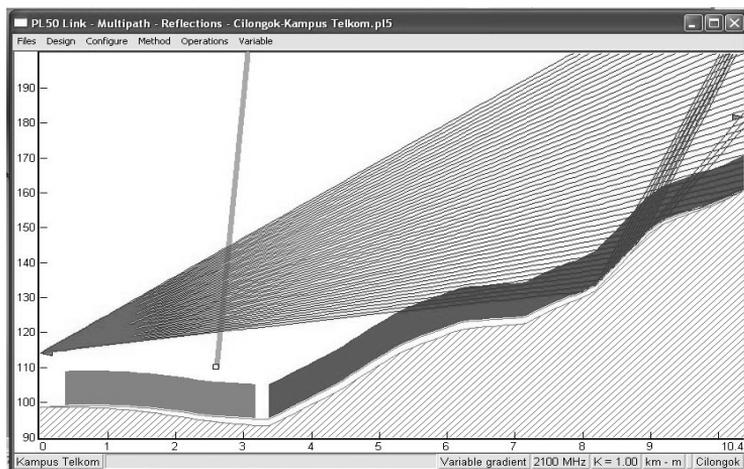


Path Profile Data (Vigants - Barnett)	
Frequency (MHz)	2000.00
Polarization	Vertical
Path length (km)	10.37
Field margin (dB)	
Diffraction loss (dB)	
Fade occurrence factor (Po)	5.35E-003
Path center latitude	07 25 23.37 S
Path center longitude	109 12 17.25 E
Climatic factor	
Terrain roughness (m)	
C factor	4.00
Average annual temperature (°C)	10.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00

Gambar 6. 49 Path Profile antara Pemancar dan Penerima

M. Menampilkan *Multipath*

- a. Pada menu *Multipath* menampilkan pancaran sinyal dari antenna pemancar ke antenna penerima. Jika terjadi *multipath fading*, akan terdapat hamburan sinyal di sekitar jalur tersebut,
- b. Menampilkan *multipath* dengan cara memilih menu Design – submenu *Multipath*.

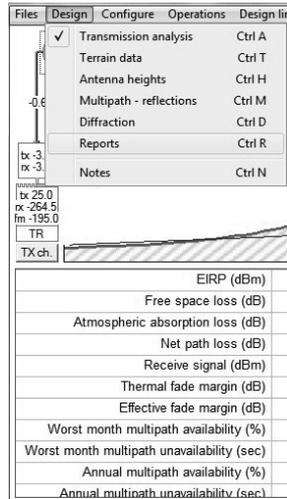


Gambar 6. 50 Menu *Multipath*

N. Membuat *Report*

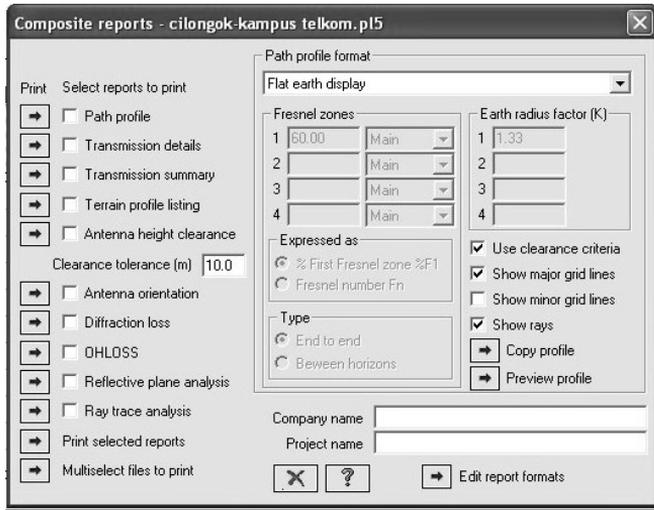
- a. Setelah semua parameter di konfigurasi, maka tahapan selanjutnya adalah menampilkan hasil perhitungan atau *report* yang telah diimplementasikan

pada pemancar-penerima. Untuk menampilkan *report* dengan cara sebagai berikut, yaitu menekan *design – Report* seperti gambar di bawah ini.



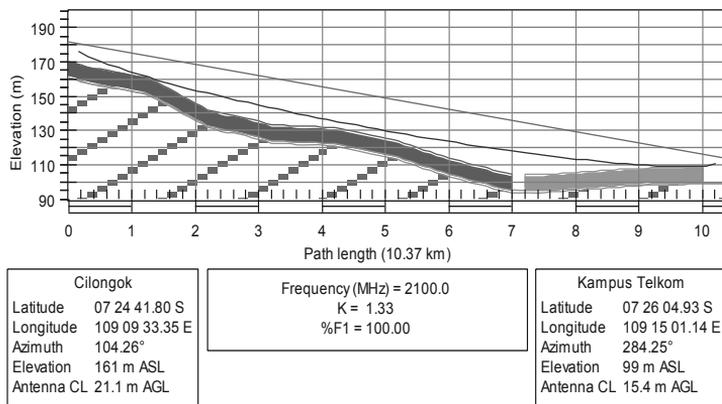
Gambar 6. 51 Menu *Report*

- b. Memilih jenis *report* yang di inginkan seperti di bawah ini.



Gambar 6. 52 Jenis *Report*

- c. Dibawah ini beberapa contoh *report* dari hasil pemilihan *report* di atas.



Gambar 6. 53 Contoh *Report*

- d. Menekan panah biru pada *transmission detail report* maka akan menampilkan *report* seperti di bawah ini.

Transmission details (cilongok-kampus telkom.pl5)

	Cilongok	Kampus Telkom
Latitude	07 24 41.80 S	07 26 04.93 S
Longitude	109 09 33.35 E	109 15 01.14 E
True azimuth (°)	104.26	284.25
Vertical angle (°)	-0.41	0.34
Elevation (m)	160.64	98.64
Tower height (m)	100.00	100.00
Antenna model	GP10F-25A (TR)	GP10F-25A (TR)
Antenna file name	1282	1282
Antenna gain (dBi)	35.40	35.40
Antenna height (m)	21.13	15.39
TX line model	EWP17	EWP17
TX line unit loss (dB/100 m)	1.14	1.14
TX filter loss (dB)	3.00	3.00
Frequency (MHz)		2100.00
Polarization		Vertical
Path length (km)		10.37
Free space loss (dB)		119.23
Atmospheric absorption loss (dB)		0.06
Net path loss (dB)	51.49	51.49
Radio model	MDR-8502-12	MDR-8502-12
Radio file name	8502-12	8502-12
TX power (dBm)	30.00	30.00
EIRP (dBm)	62.40	62.40
TX channel assignments	6i 2067.00V	6h 2280.00V
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-81.00	-81.00
Receive signal (dBm)	-21.49	-21.49
Thermal fade margin (dB)	59.51	59.51
Dispersive fade margin (dB)	67.00	67.00
Dispersive fade occurrence factor		3.00
Effective fade margin (dB)	57.65	57.65
C factor		4.00
Average annual temperature (°C)		22.62
Fade occurrence factor (Po)		5.621E-003
Worst month multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Worst month multipath unavailability (sec)	0.03	0.03
Annual multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Annual multipath unavailability (sec)	0.11	0.11
Annual 2 way multipath availability (%)		100.00000
Annual 2 way multipath unavailability (sec)		0.22
Polarization		Vertical
0.01% rain rate (mm/hr)		96.37
Flat fade margin - rain (dB)		59.51
Annual rain availability (%)		100.00000
Annual rain unavailability (min)		0.00
Annual rain + multipath availability (%)		100.00000
Annual rain + multipath unavailability (min)		0.00

Gambar 6. 54 Report Transmission Detail

O. Konfigurasi *Diversity*

Diversity didefinisikan sebagai suatu teknik untuk meningkatkan kehandalansistem dengan cara memasang secara simultan dua atau lebih sistem atau subsistem.

Pada sub-bab ini akan di jelaskan penggunaan sistem *Space Diversity* pada perangkat Lunak *Pathloss 5*. Perangkat lunak *Pathloss 5* mempunyai beberapa penggunaan antena dalam aplikasi antena gelombang mikro, sebagai berikut :

- a. TR yaitu, antena digunakan untuk mengirimkan dan menerima sinyal.
- b. RX yaitu, antena digunakan hanya untuk menerima sinyal dari pengirim.
- c. DR yaitu, antena digunakan hanya untuk menerima sinyal pada konfigurasi *space diversity*.
- d. TH yaitu, antena yang digunakan untuk mengirimkan dan menerima sinyal pada konfigurasi *hybrid diversity*.

Penjelasan konfigurasi antena gelombang mikropada *Pathloss 5*, sesuai gambar diatasditunjukan pada Tabel berikut

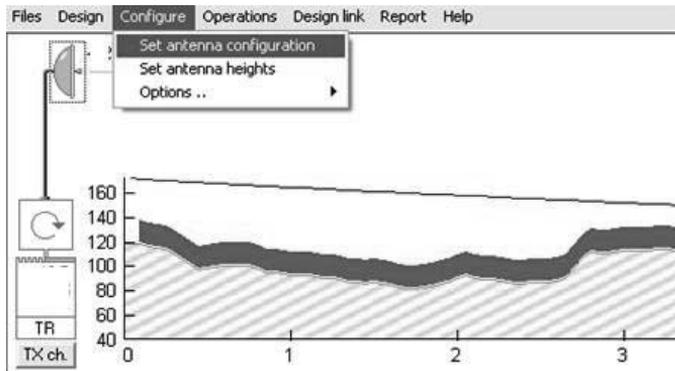
Tabel 6. 1 Konfigurasi Antena Gelombang mikropada Pathloss 5

No	Konfigurasi Antena	Keterangan
1	TR - TR	Sebuah antenna tunggal digunakan di setiap site untuk mengirim dan menerima sinyal
2	TRDR - TRDR	Dua buah antenna digunakan untuk konfigurasi menggunakan sistem <i>space diversity</i>
3	TXXR - TXXR	Dua buah antenna yang digunakan di setiap site untuk mengirim dan menerima
4	TXXDR - TXXDR	Tiga buah antenna digunakan di setiap site untuk mengirimkan(TX), menerima (RX) dan <i>Space Diversity</i> (DR)
5	TR – TRTH TRTH - TR	Konfigurasi <i>hybrid diversity</i> yang menggunakan <i>frequency diversity</i> di kedua arah dan di arah yang satunya adalah <i>space diversity</i> Pada akhir konfigurasi <i>space diversity</i> , antenna TR dan TH mengirim dan menerima frekuensi

No	Konfigurasi Antena	Keterangan
6	TX - RX RX - TX	Di satu site digunakan untuk mengirim dan site lainnya menerima sinyal. Kedua konfigurasi mengidentifikasi site sebagai pengirim dan penerima sinyal
7	TX - RXDR RXDR - TX	Di satu site digunakan untuk mengirim dan site lainnya <i>Diversity Receiver</i> .

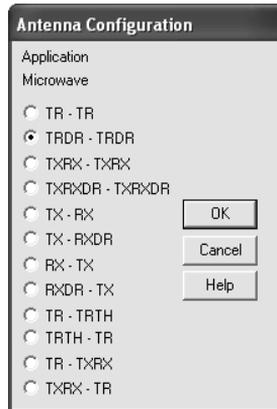
Berikut ini adalah cara mengkonfigurasi sistem *space diversity* pada perangkat lunak Pathloss 5.

- a. Menekan *Configure* kemudian memilih *Set Antenna Configuration*, seperti gambar dibawah ini.



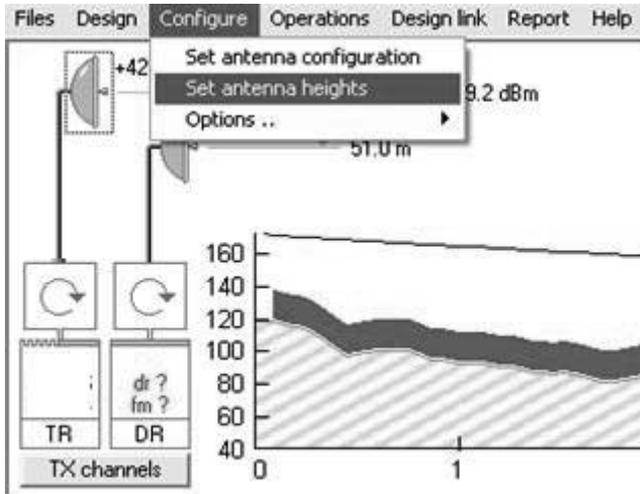
Gambar 6. 55 Konfigurasi Antenna

- b. Setelah itu akan keluar gambar berikut ini, jenis-jenis konfigurasi antenna dibawah ini



Gambar 6. 56 Jendela Konfigurasi Antenna

- c. Sehingga akan muncul antenna kedua yang terpisah secara vertical, diperlukan pengaturan jarak antara antenna utama dengan antenna kedua. Menurut referensi dari Roger L. Freeman, *Telecommunication Transmission Handbook*. New York, 1981. Maka jarak nya adalah $100 \lambda - 200 \lambda$.



Gambar 6. 57 Pemilihan Tinggi Antenna

Setelah menentukan antenna maka kita melakukan langkah-langkah konfigurasi yang sudah dijelaskan pada halaman selanjutnya, yaitu mulai mengkonfigurasi dari ODU, kemudian IDU, Pengkalanalan frekuensi, curah hujan dan *C factor* pada *path profile* datanya.

P. Simulasi *Passive Repeater*

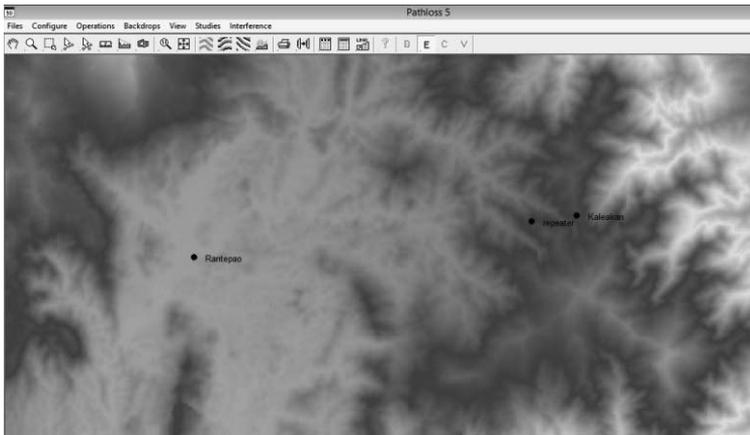
Passive repeater dibutuhkan jika ada suatu link yang semula dikira LOS ternyata tidak LOS. Dan link tersebut terdapat *obstacle* yang tidak dapat dihindari, seperti pohon, bangunan, dll.

- a. Buat link dari Site A ke site *repeater* dan buat link dari site *repeater* ke site B.
- b. Buat site dengan klik *View – Site List*.
- c. Isi site name Site A , *Passive Repeater*, dan Site B beserta *latitude, longitude, elevasi*.

Site name	Latitude	Longitude	Call sign	Station code	Elevation (m)	Tower height (m)	Tower type	Site type	Site status	Base station	Show local study	Show area study
1 Rantepao	02 58 12.10 S	119 54 07.90 E			814.2		unknown	not defined	not specified	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 repeater	02 57 21.00 S	120 01 58.00 E			1192.0		unknown	not defined	not specified	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Kaleakan	02 57 13.00 S	120 03 01.00 E			1208.1		unknown	not defined	not specified	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4							unknown	not defined	not specified	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

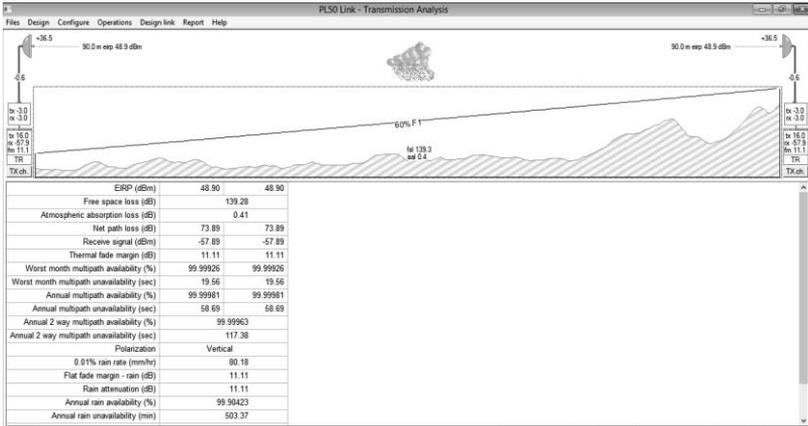
Gambar 6. 58 Konfigueasi *Site List* Dengan *Repeater*

- d. Maka terbentuk tiga titik, yaitu site A, *repeater* dan Site B.



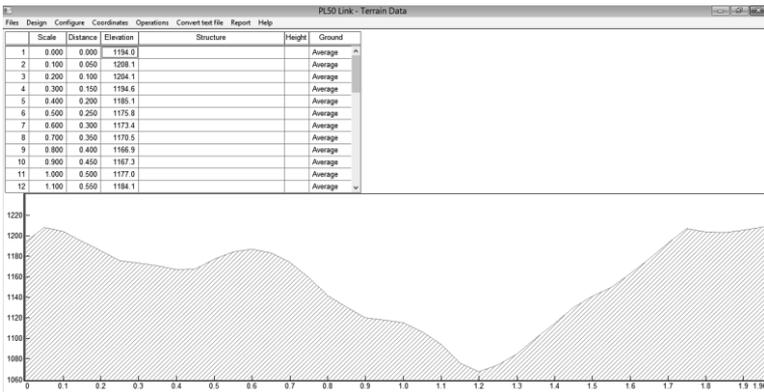
Gambar 6. 59 Tampilan Lokasi Site

- g. Kemudian konfigurasi *transmission analysis* dengan menginput parameter-parameter yang di butuhkan yaitu parameter antenna, radio gelombang mikro, *transmission lines*, *antenna coupling*, *rain*, dll.

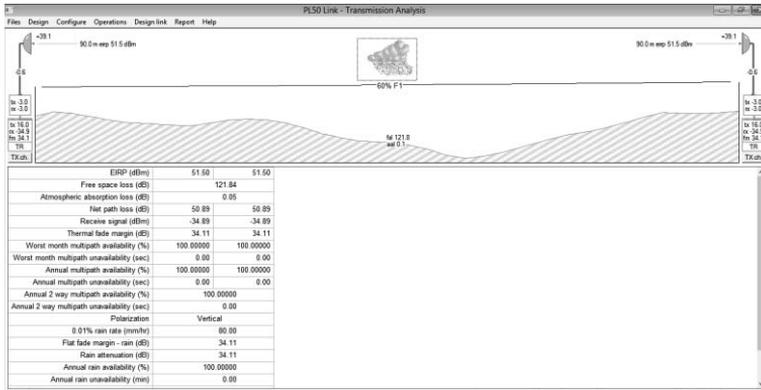


Gambar 6. 62 *Transmission Analysis Site dengan Repeater*

- h. Langkah selanjutnya adalah *setting terrain data*, *transmission analysis* pada *repeater* ke Site B

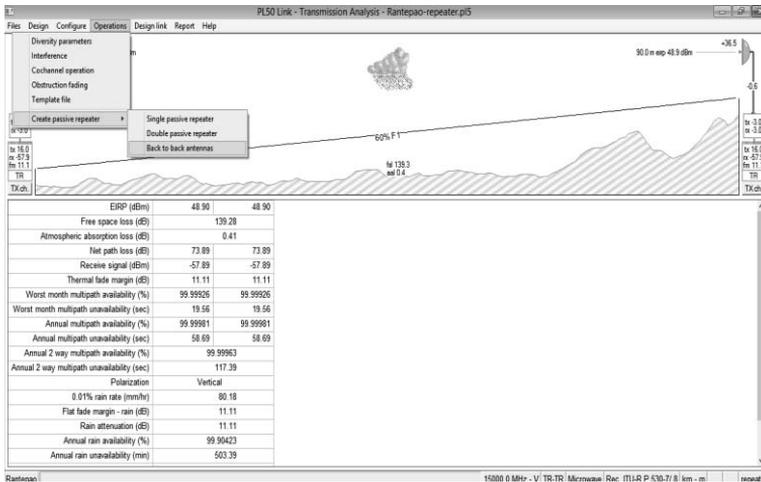


Gambar 6. 63 *Terrain Data Repeater dengan Site*



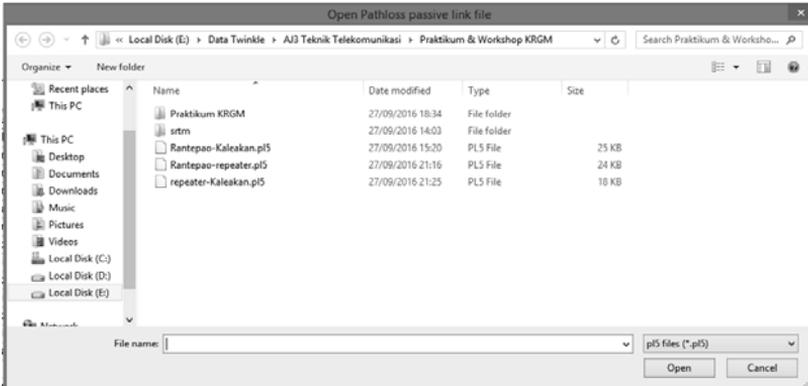
Gambar 6. 64 Transmission Analysis Repeater dengan Site

- i. Kemudian pada tahap selanjutnya adalah mengkonfigurasi link *passive repeater*. Dengan cara membuka link site A ke *passive repeater* dan menambahkan *passive repeater* melalui *transmission analysis*, klik *Operation - Create passive repeater* dan pilih *back to back antenna*.



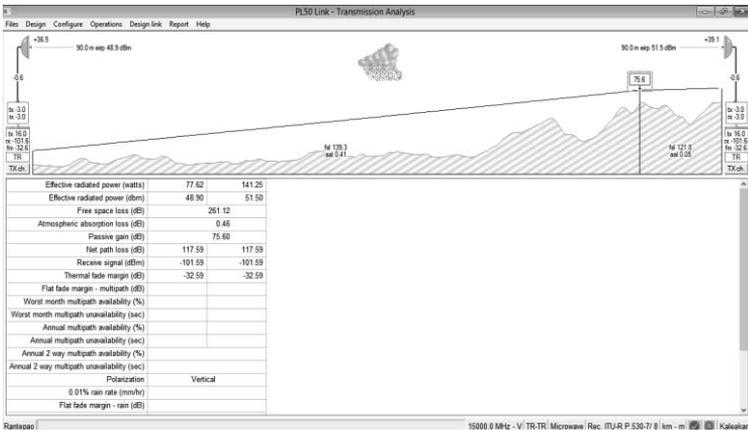
Gambar 6. 65 Membuat Passive Repeater

- j. Selanjutnya akan *import file*, dan *import file* Site *passive repeater* ke site B.

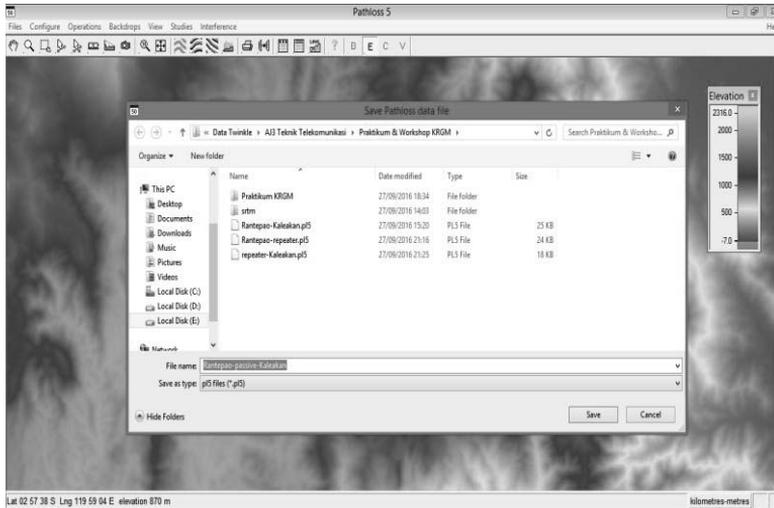


Gambar 6. 66 Menggabungkan *file Repeater* dengan Site

- k. Setelah *create repeater* maka link gelombang mikro tersebut sudah menjadi link gelombang mikro *passive repeater*.

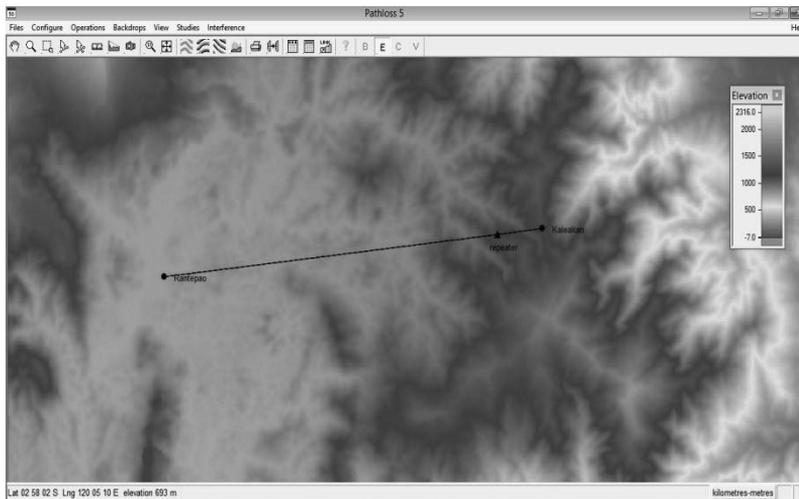


Gambar 6. 67 link gelombang mikro *passive repeater*



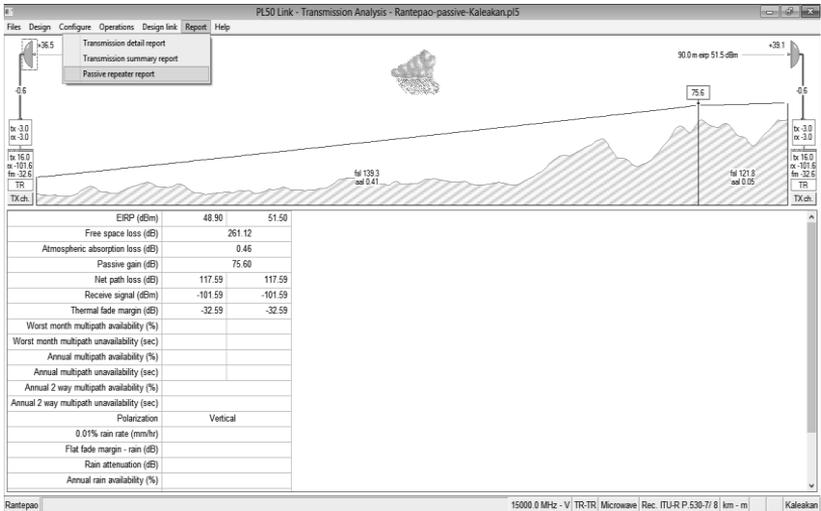
Gambar 6. 68 Simpan File link gelombang mikro *passive repeater*

1. Berikut ini adalah tampilan dari link *passive repeater*.

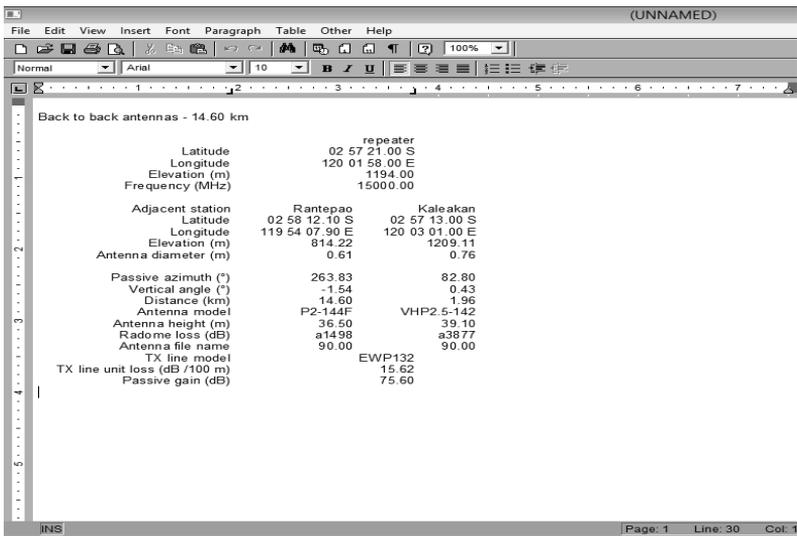


Gambar 6. 69 Tampilan link gelombang mikro *passive repeater*

- m. Passive repeater mempunyai *report*, caranya klik *report* – pilih *passive repeater report*.



Gambar 6. 70 link gelombang mikro *passive repeater*



Gambar 6. 71 Report link gelombang mikro *passive repeater*

Rangkuman

Simulasi sistem komunikasi gelombang mikro dilakukan untuk menguji sistem yang akan digelar. Sehingga diharapkan dengan simulasi, maka kualitas komunikasi dapat diestimasi dan sesuai dengan kondisi real.

Soal Latihan

1. Diketahui site sebagai berikut:

No	Site	Latitude	Longitude	Elevation (m)
1	Palopo	03 00 26.20 S	120 11 30.60 E	14.0
2	Welenrang	02 51 43.30 S	120 10 24.80 E	31.7
3	Kaleakan	02 57 13.00 S	120 03 01.00 E	1209.1
4	Rantepao	02 58 12.10 S	119 54 07.90 E	814.2

Dengan menggunakan parameter yang disesuaikan dengan standarisasi yang ada,

- a. Buatlah simulasi dengan menggunakan pathloss 5.0 yang menghubungkan site Rantepao – Kaleakan – Welenrang -Palopo.

- b. Buatlah simulasi dengan menggunakan repeater (*Back to Back* dan *Reflector*) antara site Rantepao dan Walenrang.
- c. Buatlah simulasi dengan menggunakan Diversity (*Frequency* dan *Space*) antara site Kaleakan dan Welenrang.
- d. Buatlah kesimpulan dari soal-soal diatas

Daftar Pustaka

1. AIRCOM, Microwave Link Planning Training Notes, AIRCOM International, Surrey
2. Hikmaturokhman, A., *Diktat Kuliah Gelombang Mikro*, AKATEL Purwokerto. 2007.
3. Mpirical, LTE System Engineering, Mpirical limited. 2008
4. Triana, H.P.W dan Hikmaturokhman, A., *Perencanaan Dan Analisis Jaringan Transmisi Microwave Menggunakan Pathloss 4.0 Studi Kasus Di PT. Alita Praya Mitra Jakarta Selatan*, Purwokerto: Akademi Teknik Telekomunikasi Purwokerto. 2012
5. Freeman, R.L., *Telecommunication System Engineering Analog And Digital Network Design, Fourth Edition*, John Wiley & Sons. New York. 1998.
6. Winch, R. G., *Telecommunication Transmission System 2nd Edition*, McGraw Hill. New York. 1998
7. Leenaerts, D. Van der tang, Johan. Dan Caucher, C., *Circuit Design for Tranceivers*, Kluwer. London. 2001
8. Hikmaturokhman, A. Wahyudin, A. Yuchintya, A. S. dan Nugraha, T.A., *Comparison analysis of passive repeater links prediction using methods: Barnett Vigants & ITU models*.

- New Media Studies (CONMEDIA), 2017 4th International Conference. pp.142-147
9. Haykin, Simon., *Communication Systems Fourth Edition*, Wiley, New York.2001
 10. Lehparker, H., *Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment*, McGrawHill. New York. 2010
 11. Moreno, L.,*Point-To-Point Radio Link Engineering. Radio Engineering Services*. Torino-Italy. 2001-2010
 12. Freeman, R.L.,*Radio System Design for Telecommunications third edition*. John Wiley & Sons. New York. 2007.
 13. Kizer, G., *Digital Microwave Communication – Engineering Point-to-point Microwave System*. John Willey & Sons. New Jersey. 2013
 14. Atta, N.,*Description On How To Use Pathloss Software As A Complete Microwave System Planner*, Nesic Cairo Office. May 2003.
 15. Nec, *Microwave Equipment Training, Equipment Introduction*, 2008

Glossary

Antenna	Struktur transmisi antara gelombang terbimbing (saluran transmisi) dengan gelombang ruang bebas atau sebaliknya.
Arbsorbsi	Proses penyerapan sinyal
Availability	Kehandalan sistem
Backhaul Network	Jaringan penghubung antara jaringan akses dengan jaringan <i>core</i> atau <i>backbone</i>
Difraksi	Proses pembelokan sinyal
Diversity	Teknik penanggulangan fading dengan menggunakan lebih dari satu sistem
Fading	Pemudaran, pelemahan sinyal
Gain	Penguatan sinyal
Gelombang Mikro	Gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang 1 meter – 1 mm atau frekuensi 300 Mhz – 300 Ghz
Indoor Unit (IDU)	Perangkat yang dipasang di dalam suatu ruangan

Interferensi	Kombinasi dua tau lebih gelombang elektromagnetik, yang mengakibatkan pelemahan atau penguatan.
Link Budget	Perhitungan semua gain dan rugi-rugi dari pengirim, melalui suatu media ke penerima pada suatu sisitem telekomunikasi
LOS (Line-of-Sight)	Penjalaran gelombang secara lurus dari pengirim ke penerima tanpa terhalang penghalang.
Loss	Rugi-rugi
Modulasi	Proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal pembawa
Noise	Sinyal yang tidak diinginkan yang mengganggu sinyal informasi
Outage System	Kegagalan sistem
Outdoor Unit (ODU)	Perangkat yang dipasang di luar ruangan
Propagasi	Penjalaran sinyal
Receiver	Penerima sinyal
Refleksi	Proses pemantulan sinyal
Refraksi	Proses pembiasan sinyal

Repeater	Sistem Pengulangan sinyal
Routing	Proses pemilihan jalur trafik pada suatu jaringan
Terrain	Medan, daerah, lapangan
Transmitter	Pengirim sinyal
Wireless	Jalur komunikasi tanpa menggunakan kabel
Wireline	Jalur komunikasi menggunakan kabel

Index

A

Absorpsi · 48
Amplitude Shift Keying · 25
Antena · 35, 36, 47, 65, 176
Atmosfer · 48, 68
availability · 90, 91, 98, 101,
119, 130, 131, 134, 137
Availability · 90, 91, 93, 98,
131, 134, 137, 191

B

back to back antenna · 106,
107, 110, 183
Backhaul · 5, 191
Beamwidth · 124, 125

C

Chain · 99
clearance · 59, 61, 62, 103
coaxial · 37, 38, 39
Combiner · 90

D

Difraksi · 58, 191
Diversity · 89, 115, 116, 118,
132, 135, 175, 176, 177,
188, 191
down converter · 30, 31
Ducting · 57, 58

E

EIRP · 47, 126, 127, 137

F

Fading · 63, 64, 65, 67, 68, 69,
70, 91, 115, 129, 130, 131,
191
fadingmargin · 129, 130, 131,
133, 134, 135, 137
faktor perbaikan · 133, 134,
135, 136
Flat fading · 64, 65
Free Space Loss · 46, 125, 126,
127, 128

frequency diversity · 68, 115,
119, 176
Frequency Shift Keying · 24, 25,
26
Fresnel Zone · 59

H

High Power Amplifier · 32
Hoploss · 128
Hot-standby · 116, 117

I

IDU · 86, 87, 90, 141, 159, 166,
167, 179, 191
Indoor Unit · 86, 191
Interferensi · 67, 71, 72, 73,
74, 75, 76, 77, 78, 192
Intermediate Frequency · 13,
87
Isotropic Received Level · 127,
128
isotropis · 39, 47, 123
ITU · 7, 8, 47, 53, 93, 96, 97,
189

K

K Factor · 55, 65, 70
kuantisasi · 17, 18, 19

L

Line of Sight · 4, 46, 105
Line-of-Sight · 3, 9, 192
link budget · 121, 140, 141,
142
Link budget · 3, 121, 136
Long Haul · 81
Loop · 102
LOS · 4, 46, 63, 66, 67, 68, 69,
79, 111, 125, 158, 179, 192
Low-noise amplifier · 34

M

Margin · 129, 130, 131, 137
Medium Haul · 82
Modulasi · 14, 23, 24, 26, 27,
192
multipath · 68, 69, 78, 81, 82,
83, 91, 141, 171
Multipath · 67, 68, 69, 81, 82,
83, 84, 171
Multiplexer · 90

O

ODU · 86, 87, 88, 89, 116, 141,
159, 160, 161, 163, 164,
167, 179, 192
omnidirectional · 123
outage time · 119, 131
outagesystem · 92
Outdoor unit · 86

P

path profile · 97, 103, 111, 179
Path profile · 103, 170
PDH · 16, 93, 94, 95
Phase Shift Keying · 24, 26, 27,
28
*Plesiochronous Digital
Hierarchy* · 94
Propagasi · 5, 41, 42, 43, 46,
64, 158, 192
Pulse Code Modulation · 16, 39

Q

*Quadrature Amplitude
Modulation* · 24, 29

R

Radio Frequency · 5, 13, 87
Received Signal Level · 127,
128
Redaman Hujan · 49
reflectors · 106
Refleksi · 62, 192
Refraksi · 54, 56, 192
repeater · 7, 12, 97, 99, 105,
106, 107, 108, 109, 110,
111, 119, 179, 180, 181,
182, 183, 184, 185, 186,
188, 189
report · 171, 172, 173, 174,
186
Ring · 102
routing · 77, 91, 97, 98

S

Saluran transmisi · 37
Sampling · 17, 18
SDH · 16, 93, 95
shannon · 22, 23
Short Haul · 83
Site Survey · 111

space diversity · 115, 119, 133,
134, 175, 176, 177

star · 100, 101

T

Terrain · 58, 154, 155, 159,
181, 182, 193

topologi · 6, 98, 99, 100, 101,
102, 119

Transmission Analysis · 160,
182, 183

transmission detail · 174

Transmission lines · 163

Tree · 101, 102

U

unavailability · 90, 91, 130,
131, 132, 134

Up Converter · 30, 31

W

wireless · 2, 200

wireline · 2, 3, 81

Acknowledgement

Ucapan Terima Kasih diucapkan kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Direktorat Pengelolaan Kekayaan Intelektual, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, dan Bapak Ir. Uke Kurniawan Usman, MT, IPM sebagai Pendamping Penulisan Buku Ajar melalui Program Penerimaan Hibah Penulisan Buku Ajar Tahun 2018.



Profil Penulis



Alfin menamatkan pendidikan sarjana di Teknik Elektro UGM pada tahun 2002 dan memulai karir pertamanya di Indosat sebagai Technical Support penempatan Surabaya-Batam, setelah keluar dari Indosat Dia bergabung untuk mengerjakan Project Samsung sebagai RF Optimization Engineer untuk Jabodetabek Area. Pada Akhir 2003 Alfin bergabung menjadi Dosen di IT Telkom Purwokerto (dahulu AKATEL/ST3 Telkom Purwokerto). Pada tahun 2009 Alfin mendapatkan beasiswa dari Telkom University dan berhasil meraih gelar Magister Teknik Elektro pada tahun 2011, dia juga pernah mengikuti beberapa pendidikan non formal di bidang ICT antara lain di Shenzen Cina, Kuala Lumpur Malaysia dan Singapore.

Berbekal pengalaman dan pengetahuan yang Alfin miliki, selain menjadi Dosen di IT Telkom Purwokerto ia sering diundang untuk memberikan training atau menjadi narasumber di bidang Telekomunikasi Seluler 5G-4G-3G-2G di beberapa institusi antara lain, PT Telkom Indonesia, PT Indosat Jakarta, PT Inti Bandung, PT Huawei Services Indonesia, PT Xerindo Teknologi Jakarta, PT Alita Praya Mitra,

PT Moratelindo, PT Lexcorp, PT Floatway, CV Commtech , PT Bali Tower, PT KIN, PT IBS, Polines, Pens-ITS, PNJ-UI, Vokasi UGM, Vokasi Tel-U, Untidar Magelang, UII serta beberapa Training Public yang di laksanakan di Jakarta-Bandung-Semarang-Surabaya.

Alfin juga pernah menjadi Konsultan ICT untuk Program Depkominfo yaitu ICT Pura pada tahun 2012 di Kab Banyumas serta Kab Purbalingga di tahun 2013.

Selain menjadi Dosen pada Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, peneliti , konsultan dan trainer, Alfin juga menjadi penulis Buku, 2 buku yang ditulisnya bersama-sama dengan penulis lain adalah 4G Handbook Versi Bahasa Indonesia Jilid 1 dan 4G Handbook Versi Bahasa Indonesia Jilid 2.

Scopus

Scopus ID : 57194239039

Google Scholar

Scholar ID : Ev1xu0MAAAAJ



<http://sinta2.ristekdikti.go.id/authors/detail/?id=257545&view=overview>

ResearchGate

https://www.researchgate.net/profile/Alfin_Hikmaturokhman

 Gmail

alfin@ittelkom-pwt.ac.id



Ade Wahyudin, S. T., M.T, Lahir di Karawang 27 Desember 1985. Menyelesaikan Diploma 3 di Politeknik Negeri Bandung (POLBAN) Jurusan Teknik Elektronika pada tahun 2007, Sarjana Teknik Telekomunikasi di Institut Teknologi Telkom Bandung (sekarang

Universitas Telkom) pada tahun 2010, Magister Teknik Elektro-Telekomunikasi di Institut Teknologi Telkom Bandung (sekarang Universitas Telkom) pada tahun 2013. Pernah bekerja sebagai konsultan regulasi ICT di Tritech Consult Indonesia dan sejak tahun 2015 menjadi dosen di Institut Teknologi Telkom Purwokerto pada Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi. Bidang keahlian penelitian meliputi *wireless communication* dan *ICT Regulation*.

Scopus

Scopus ID: 57202775113

Google Scholar

Scholar: b9v4hYQAAAAJ&hl



<http://sinta2.ristekdikti.go.id/authors/detail/?id=6004567&view=overview>

ResearchGate

https://www.researchgate.net/profile/Ade_Wahyudin2

 Gmail

adewahyudin@ittelkom-pwt.ac.id