



Perencanaan dan analisis kehandalan sistem komunikasi radio *microwave* tampak pandang pada pita frekuensi 12750-13250 MHz

Planning and analysis of the reliability of line of sight microwave radio communication system on 12750-13250 MHz band

Ahmad Hasyim

Pusat Penelitian dan Pengembangan Aptika & IKP
Jl. Medan Merdeka Barat No.9 Jakarta 10110, Indonesia
e-mail: ahma037@kominfo.go.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah diterima 1 Desember 2016
Direvisi 26 Desember 2016
Disetujui 28 Desember 2016

Keywords:

LOS
Fresnel Zone
Propagation attenuation
Reliability

Kata kunci :

LOS
Zona Fresnel
Redaman propagasi
Kehandalan

ABSTRACT

Radio wave propagation can be defined as the process of propagation of radio waves from the transmitter to the receiver. These waves will propagate through free air towards the receiver antenna with experienced curbs along the tracks, so when it arrive at the receiver antenna, the signal energy is very slow. Line of sight (LOS) is one kind of propagation where no obstacles found between the transmitter and the receiver station. Geographical constraints and the curvature of the earth bring limitations to the line of sight transmission, but this problem can generally be reduced through planning, calculation and use of additional technologies. In a radio communication system planning, LOS performance needs to be planned caused by signal fluctuations and reliability. Digital microwave point to point radio systems using 13 GHz of spectrum, 16 QAM of modulation, 140 Mbps of bit rate, 0,7 dB of noise figure requires -4,488 dBm of transmit power, 85,51 dB of fading margin, and 99,99999999 % of reliability .

ABSTRAK

Propagasi gelombang radio dapat diartikan sebagai proses perambatan gelombang radio dari pemancar ke penerima. Gelombang ini akan merambat melalui udara bebas menuju antenna penerima dan mengalami redaman di sepanjang lintasnya, redaman perangkat dan saluran transmisi, sehingga ketika sampai di antenna penerima, energi sinyal sudah sangat lemah. *Line of sight* (LOS) merupakan salah satu jenis propagasi di mana diantara stasiun pengirim dan stasiun penerima tidak terdapat penghalang. Kendala geografis dan kelengkungan bumi menyebabkan adanya keterbatasan untuk transmisi *line of sight*, namun masalah ini secara umum dapat dikurangi melalui perencanaan, perhitungan dan penggunaan teknologi tambahan. Dalam perencanaan sistem komunikasi radio, kinerja LOS perlu direncanakan cadangan daya akibat fluktuasi sinyal serta analisis kehandalannya. Sistem radio gelombang mikro digital antar titik yang menggunakan frekuensi 13 GHz dengan modulasi 16 QAM, *bit rate* 140 Mbps, dan *noise figure* 0,7 dB memerlukan daya pancar -4,488 dBm, fading margin sebesar 85,51 dB dan kehandalannya sebesar 99,99999999%.

1. Pendahuluan

Transmisi merupakan salah satu bagian terpenting dalam sistem telekomunikasi, dan secara umum transmisi berarti pengiriman suatu sinyal atau informasi dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam melakukan transmisi tentunya terdapat kendala-kendala yang dapat menyebabkan proses transmisi mengalami gangguan sehingga kegiatan penyampaian informasi terganggu.

Sistem telekomunikasi radio *line of sight*(LOS) adalah teknik pentransmisi sinyal dimana antara dua terminal yang saling berhubungan benar-benar tidak ada penghalang, sehingga sinyal dari pengirim dapat langsung mengarah dan diterima oleh sistem penerima. Sistem LOS biasanya digunakan pada sistem transmisi gelombang mikro yang merupakan propagasi gelombang ruang bebas dengan memperhatikan gelombang langsung dan gelombang pantul. (Astuti, 1998, Effendi & Judawisastra,2004)

Dalam pentransmisi sinyal, terdapat banyak faktor yang mempengaruhinya, yaitu redaman ruang bebas, refleksi, refraksi, atmosfer, *fading*, dan juga pantulan yang disebabkan oleh penghalang.

Unjuk kerja transmisi merupakan ukuran dari suatu proses transmisi yang dilakukan, yang menunjukkan baik atau tidaknya proses transmisi tersebut. Oleh karena itu unjuk kerja transmisi yang baik merupakan syarat yang harus dipenuhi dan sangat perlu diperhatikan agar tujuan dalam berkomunikasi dapat tercapai.(Astuti, 1998)

Dalam pentransmision gelombang dari pemancar ke penerima terjadi pantulan yang disebabkan oleh adanya penghalang atau lapisan (*ducting*) sehingga ada kemungkinan gelombang tidak dapat mencapai antena atau terjadinya perubahan fasa yang membuat pelemahan, sehingga terjadi fading yaitu ketidaktentuan sinyal terima dan hal ini selalu menghasilkan redaman yang tergantung pada jarak antara kedua stasiun, frekuensi yang digunakan, jenis permukaan dan cuaca pada lintasan yang dilalui. Untuk mengatasi *fading* harus ditentukan nilai dari margin, yang besarnya ditentukan oleh *availability* dari sistem yang digunakan.(Astuti, 1998, Effendi & Judawisastra, 2004)

Kajian ini menganalisis perencanaan sistem komunikasi LOS dalam sistem gelombang mikro yang meliputi penentuan tinggi antena, daya pancar, cadangan daya (*fading margin*) dan kehandalan sistem radio dengan asumsi permukaan bumi datar, daerah yang dilewati berupa persawahan/datar dengan iklim tropis dan menggunakan data sekunder berupa jarak antara pemancar dan penerima, tinggi penghalang (*obstacle*) antara pemancar dan penerima, frekuensi kerja di daerah *microwave*, antena yang digunakan di pemancar dan penerima berupa parabola dan level daya *threshold* perangkat penerima sebesar -90 dBm pada BER 10^{-3} .(Astuti, 1998 & Judawisastra, 2004). Adapun maksud dan tujuannya yaitu untuk merencanakan sistem komunikasi radio gelombang mikro digital *point to point* yang memenuhi syarat *line of sight*(LOS) dan analisis kehandalan sistem, sehingga dapat ditentukan tinggi antena stasiun pemancar dan penerima, dan besarnya daya pancar yang dikeluarkan oleh stasiun pemancar agar informasi dapat diterima dengan baik, serta menghitung kehandalan sistem dengan memperhatikan kontur daerah dan cadangan daya yang diakibatkan oleh adanya *fading*.

2. Tinjauan Pustaka

Menurut Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika RI Nomor 33 Tahun 2015 tentang Perencanaan Penggunaan Pita Frekuensi Radio *Microwave Link* Titik ke Titik (*Point to Point*), disebutkan bahwa telekomunikasi adalah setiap pemancaran, pengiriman, dan atau penerimaan dari setiap informasi dalam bentuk tanda-tanda, isyarat, tulisan, gambar, suara, dan bunyi melalui kawat, optik, radio, atau sistem elektromagnetik lainnya. Komunikasi Titik ke Titik (*point to point*) adalah suatu komunikasi antara dua stasiun radio yang terletak pada titik-titik tetap (*fixed point*) tertentu, sedangkan *microwave link* titik ke titik adalah sistem radio relay diatas 1 GHz antara dua stasiun radio yang terletak pada titik-titik tetap (*fixed points*) tertentu (Permenkominfo No.33, 2015).

Sistem komunikasi radio LOS mempunyai daya kirim 0,2 – 10 watt dengan *bit rate* lebih besar sama dengan 90 Mbps/*carrier* dengan jumlah kanal lebih besar sama dengan 1800 kanal/*carrier* dengan panjang lintasan *l* sampai 80 km. Perencanaan sistem ini, harus memperhatikan daya pancar yang dibutuhkan, perbaikan yang diperlukan karena lebih banyak faktor yang dapat menimbulkan *fading* serta *bandwidth* yang diperlukan lebih besar (Astuti, 1998).

2.1. Propagasi Sinyal Pada Sistem LOS

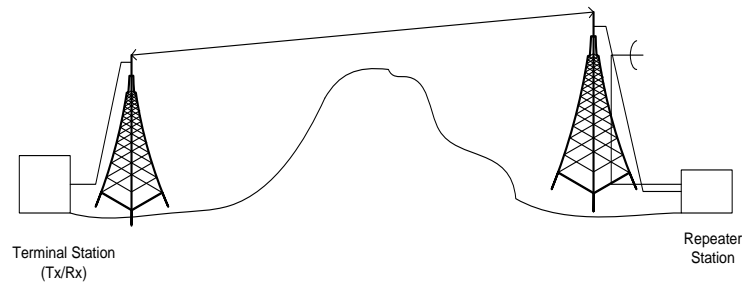
Propagasi pada sistem LOS adalah propagasi sinyal pada ruang bebas yang memanfaatkan sinyal langsung dan sinyal tidak langsung yang diakibatkan oleh pantulan tanah. Propagasi sistem LOS disajikan pada Gambar 1.

2.1.1. Redaman

Pada proses propagasi sinyal akan mengalami redaman, diantaranya:

- a. redaman ruang bebas
- b. redaman hujan
- c. redaman gas-gas di atmosfer

Diantara redaman-redaman tersebut, yang paling dominan adalah redaman ruang bebas. Sedangkan redaman hujan dan gas akan cukup berpengaruh untuk frekuensi diatas 10 GHz atau frekuensi kerja dibawah 10 GHz tetapi jarak antara T_x dan R_x cukup jauh.



Gambar 1. Propagasi Sistem LOS (Astuti,1998, Judawisastra,2004, Sharma & Naglia, 2016)

Pada ruang bebas gelombang radio akan mengalami penyebaran energi sepanjang lintasannya, dan ini berarti gelombang yang merambat akan kehilangan energi yang didefinisikan sebagai redaman ruang bebas L_{fs} . Untuk menghitung besar redaman ruang bebas tersebut didasarkan pada analisis pada antenna isotropis yaitu (Astuti, 1998), (Freeman, 1999), (Judawisastra, 2004), (Kurniawan, 2003), (Rappaport, 1996),(Sharma & Naglia, 2016) :

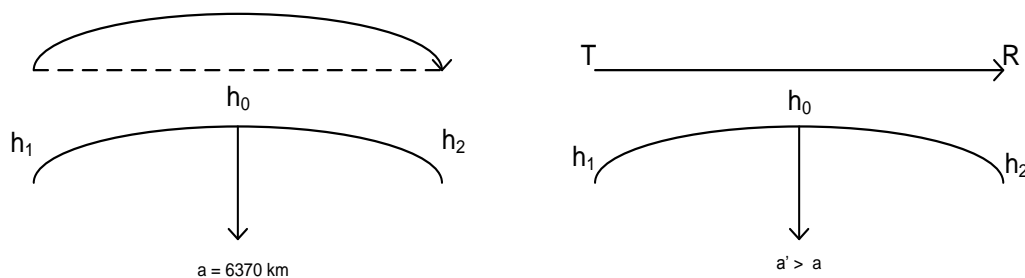
$$L_{fs} (dB) = 32,45 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{km} \quad (1)$$

dimana :

d = jarak dari pemancar ke penerima (km)

f = frekuensi kerja (MHz)

2.1.2. Refraksi pada atmosfer



Gambar 2. Horizon radio (Astuti, 1998 & Freeman, 1999),

Refraksi adalah pembengkokan/pembelokkan gelombang radio karena perubahan karakteristik atmosfer, yaitu terjadinya perubahan temperatur, kerapatan, dan kelembaman, dimana perubahannya dipengaruhi kedudukan gelombang terhadap permukaan bumi. Perubahan kerapatan atmosfer berpengaruh terhadap cepat rambat gelombang v (Freeman, 1999), (Judawisastra,2004).

$$v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

dimana :

n = indeks bias refraksi

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/det)

ϵ_r = permitivitas relatif

Refraksi pada gelombang yang merambat pada atmosfer menyebabkan timbulnya *horizon radio* (kaki langit) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, sehingga jarak $T_x - R_x$ pada sistem *LOS* terbatas. Jadi jarak *LOS* sangat ditentukan oleh kerapatan atmosfer.

Karena lintasan gelombang radio pada kenyataannya melengkung, maka untuk memudahkan analisis, lintasan gelombang radio dimanipulasi menjadi datar, dengan cara memanipulasi jari-jari bumi dengan menggunakan formula berikut (Freeman, 1999), (Judawisastra,2004):

$$\begin{aligned} a' &= \text{jari-jari efektif bumi} \\ &= k x a \end{aligned} \quad (3)$$

dimana :

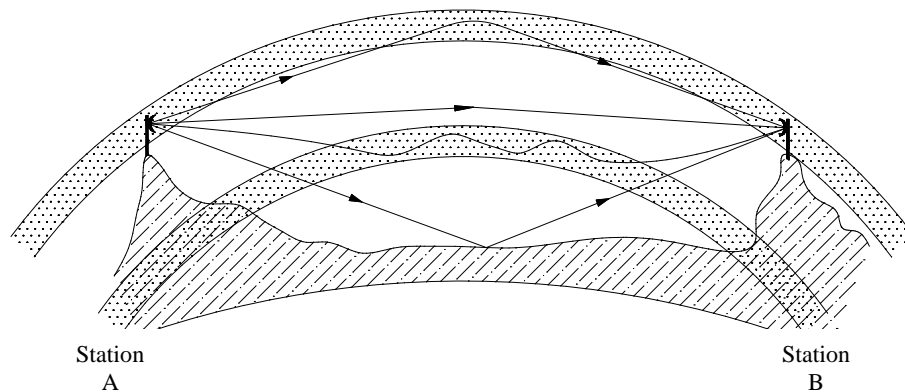
k = faktor kelengkungan bumi

a = jari-jari bumi (6370 km)

untuk standar k = 4/3

2.1.3. Pengaruh daerah (*terrain*) yang dilintasi gelombang dan *multipath fading*

Selain atmosfer, kondisi daerah yang dilintasi gelombang radio juga bisa menyebabkan gelombang tersebut mengalami *multipath*/lintasan jamak yang diakibatkan oleh kelengkungan bumi ataupun efek penghalang seperti bukit, pepohonan dan bangunan yang tinggi. *Fading* didefinisikan sebagai variasi sinyal terima sebagai fungsi dari fase, polarisasi, dan atau level dari suatu sinyal terhadap waktu. *Fading* terjadi akibat proses propagasi dari gelombang radio meliputi pembiasan, pantulan, difraksi, hamburan redaman dan *ducting*. Pengaruh *fading* terhadap sinyal terima dapat memperkuat atau memperlemah (Astuti, 1998, Takur & Kamboj, 2016).

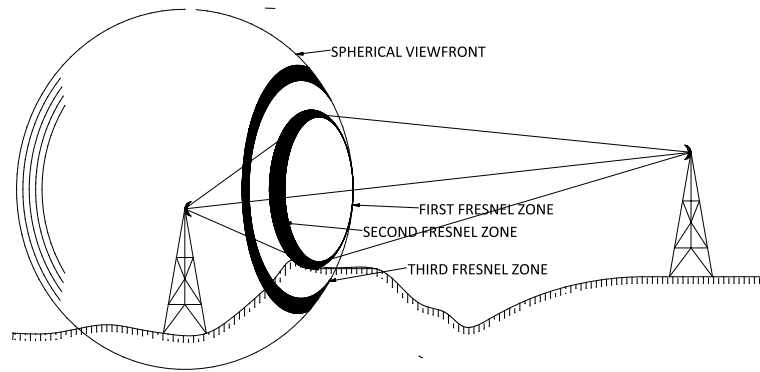


Gambar 3. Lintasan jamak (*multipath*) sinyal (Freeman, 1999), (Judawisastra, 2004), (Kurniawan, 2003)

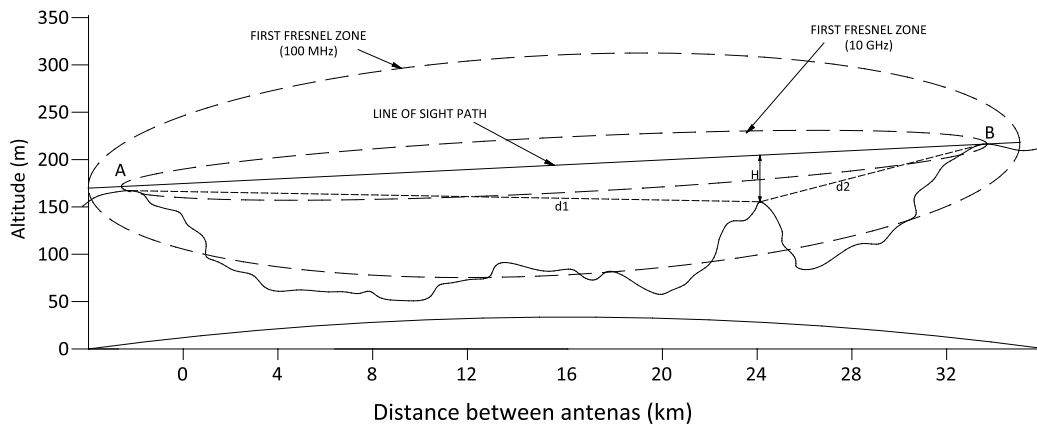
Karena penyebab terjadinya *fading* adalah variasi kondisi di atmosfer dan kondisi di permukaan tanah maka fading tidak dapat dipastikan secara akurat. (Astuti, 1998 & Alim, 2010).

2.1.4. Zona Fresnel

Untuk menghindari pengaruh *multipath* ini (terutama pantulan tanah), maka ditetapkan daerah *clearance* (bebas dari *obstacle*) yang salah satu komponennya adalah Zona Fresnel. Zona Fresnel adalah tempat kedudukan titik dalam lintasan gelombang radio dimana gelombang tersebut direfleksikan dengan panjang lintasan tambahan maksimum $\frac{1}{2}\lambda$ membentuk ellipsis seperti pada gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Zona Fresnel (Freeman, 1999), (Judawisastra,2004), (Sharma & Naglia, 2016)



Gambar 5. Zona Fresnel untuk jarak dan frekuensi tertentu (Freeman, 1999), (Judawisastra, 2004), (Takur & Kamboj, 2016)

Dari gambar 6, secara matematis didekati dengan (Astuti,1998) (Freeman,1999), (Judawisastra,2004), (Kurniawan,2003) :

$$F_n = 17,3 \sqrt{\frac{n \cdot d_{1(km)} \cdot d_{2(km)}}{f_{GHz} \cdot D_{Km}}} \quad (4)$$

dimana:

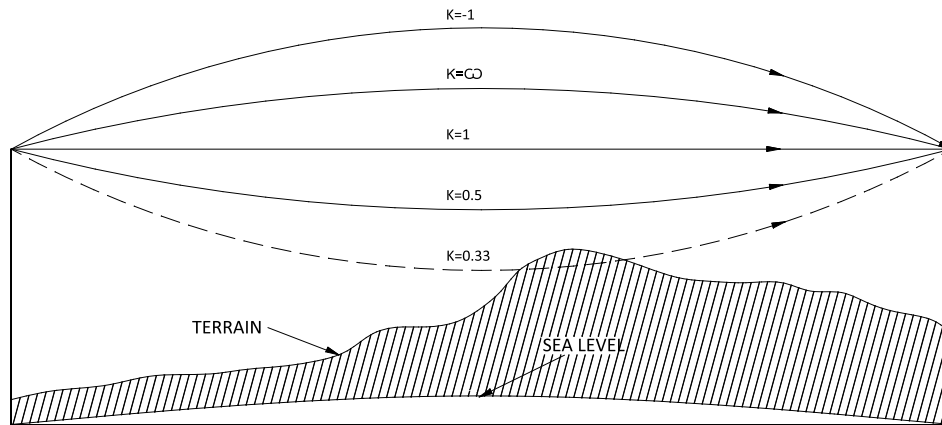
- F_n = jarak lintasan tertentu terhadap lintasan LOS (meter)
- n = jumlah zone fresnel
- d_1 = jarak ujung lintasan ke titik refleksi (km)
- d_2 = jarak ujung lintasan yang lain ke titik refleksi (km)
- f = frekuensi (GHz)
- $D = d_1 + d_2$ (km)

Karena dalam analisis “propil lintasan” digunakan peta permukaan bumi yang datar, maka diperlukan faktor koreksi terhadap ketinggian titik *obstacle* (halangan) (Astuti,1998) (Freeman,1999), yaitu dengan menggunakan formula berikut:

$$h_{corrected} (m) = \frac{0,079 \cdot d_{1(km)} \cdot d_{2(km)}}{k} \quad (5)$$

dimana:

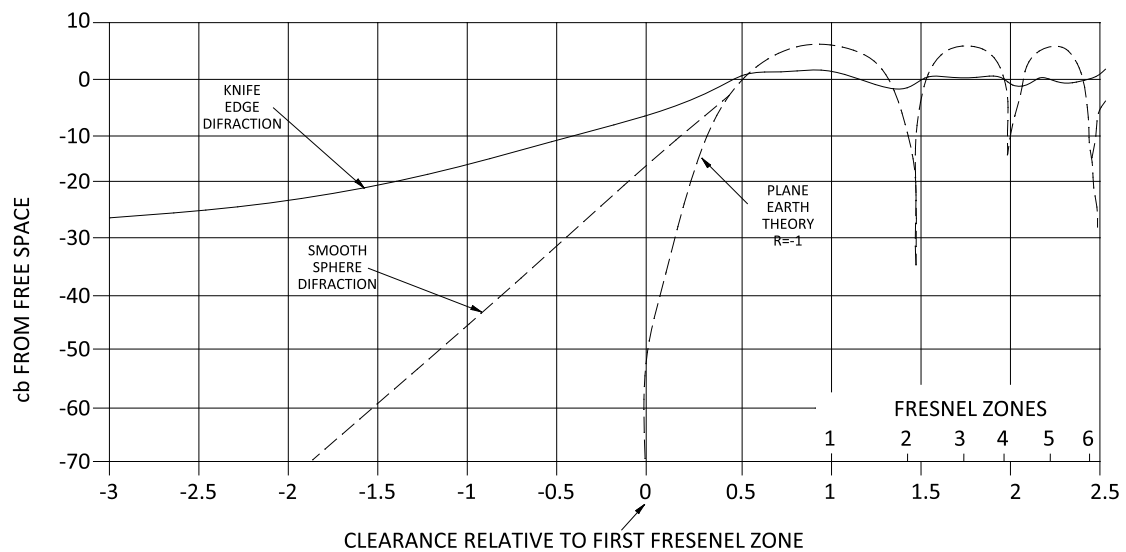
- k = faktor kelengkungan bumi seperti pada gambar 6.
- h = perbedaan tinggi titik tersebut, jika dinyatakan kurva bumi datar dengan kurva bumi dengan jari-jari efektif bumi.



Gambar 6. Faktor kelengkungan bumi (Astuti, 1998), (Freeman, 1999)

Lintasan sinyal yang ditransmisikan pada sistem LOS harus mempunyai daerah bebas hambatan atau *a clearance from the obstacle* minimum adalah $0,6 \times$ jari-jari $F1$ (belum termasuk faktor koreksi terhadap kelengkungan bumi) seperti pada gambar 7 (Astuti,1998) (Freeman,1999),(Sharma & Naglia, 2016). Adapun formula untuk menghitung *clearance* adalah sebagai berikut:

$$Clearance (m) = 0,6 F_1 + h_{corrected} \quad (6)$$



Gambar 7. Hubungan *clearance factor* dengan *free space* (Freeman, 1999)

2.1.5. Analisis *link* dan *fade margin*

Jika daya yang keluar dari perangkat pemancar adalah P_{Tx} , maka daya yang masuk ke perangkat penerima (Freeman, 1999), (Judawisastro, 2004), (Thakur & Kamboj, 2016) adalah:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_{TOT} \quad (7)$$

dimana:

P_{Tx} = level daya pancar (dBm atau dBw)

P_{Rx} = level daya terima (dBm atau dBw)

L_{TOT} = rugi-rugi total (dB)

dengan,

$$L_{TOT} = L_{fs} + L_b + L_f - G_{Tx} - G_{Rx} \text{ (dB)} \quad (8)$$

dimana :

L_{fs} = rugi-rugi ruang bebas (*free space*) (dB)

L_b = rugi-rugi rangkaian (*RF branching network, transmission line*, dan lain-lain) (dB)

L_f = rugi-rugi antenna *feeder, pointing* LOSs (dB)

G_{Tx} = gain antenna Tx (dB)

G_{Rx} = gain antenna Rx (dB)

a. Gain Antena

Penguatan atau *gain* adalah perbandingan daya pancar suatu antena terhadap antena referensi. Persamaannya untuk antena parabola (Judawisastra, 2004, Rajagopalan, 2010) :

$$G = \eta \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \quad (9)$$

dimana :

d : diameter antena (m)

λ : panjang gelombang (m)

η : efisiensi antena , 0.6 – 0.9

b. *Link analysis* pada sistem digital

Pada sistem komunikasi digital, kualitas sinyal sangat dipengaruhi oleh parameter *bit error rate* (BER). Nilai BER merupakan fungsi dari energi tiap bit informasi per *carrier* (E_b) dan besarnya *noise* (N_o), dimana E_b/N_o itu merupakan hasil dari *carrier to noise* (C/N) dan *noise bandwidth to bit rate ratio*. Daya terima perangkat radio di dekati dengan persamaan (Freeman, 1999), (Freeman, 1987), (Lehpahmer, 2004):

$$\frac{E_b}{N_o} = \left(\frac{P_R}{\text{bit rate}} \right) : (K T) \quad (10)$$

$$(N_o) \text{ dB} = K + T_o + NF_{sys} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{C}{N_o} \right)_{dB} &= P_R - N_o \\ &= P_R - (-204_{dBw} + NF_{dB}) \\ \text{atau} \\ &= P_R - (-228,6_{dBw} + 10 \log T_{sys}) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

dari persamaan (10) diperoleh :

$$\frac{E_b}{N_o} \text{ (dB)} = P_{Rx} \text{ (dBw)} - 10 \log (\text{bit rate}) - (-204_{dBw} + NF_{dB}) \quad (13)$$

dimana :

E_b/N_o = *energy bit per noise* (dB)

P_{Rx} = *receive signal level* (dBw)

NF = *noise figure* (dB)

Harga-harga dari besaran ini dapat dilihat dari grafik performansi unjuk kerja sistem modulasi digital (E_b/N_o vs BER). Untuk mengetahui E_b/N_o suatu sistem maka diperlukan grafik performansi unjuk kerja

dimana BER sendiri telah diketahui karena merupakan karakteristik dari sistem yang dimaksud. Gambar 8 menunjukkan performansi sistem modulasi digital E_b/N_0 terhadap BER yang tergantung dari jenis modulasinya.

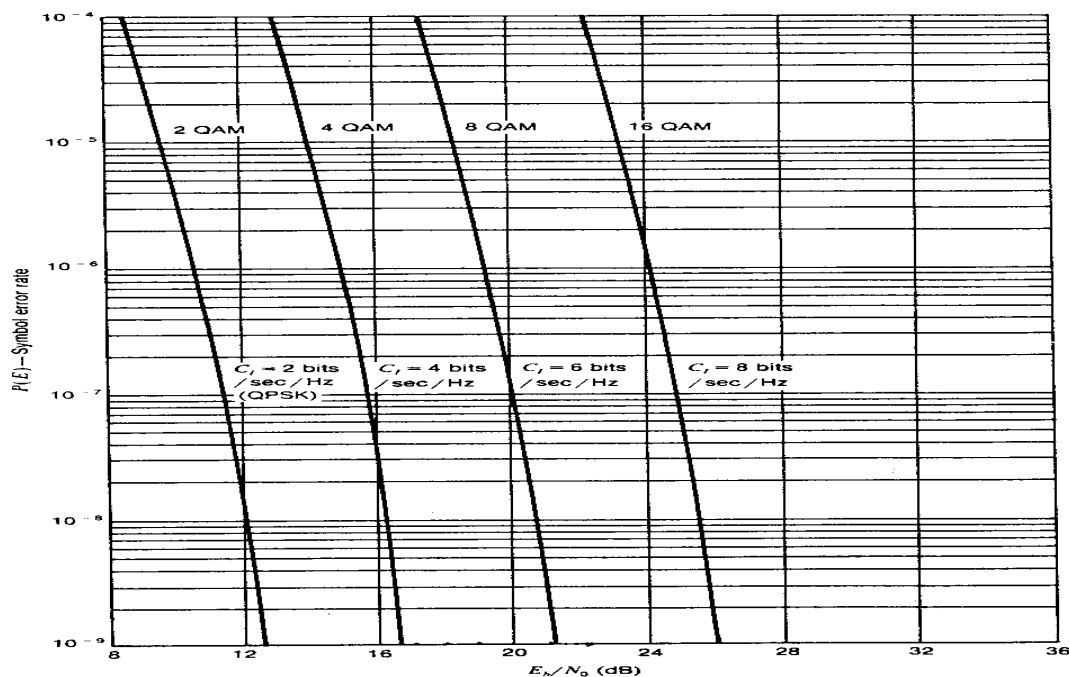


FIGURE 2.41 Ideal M -QAM performance. From Ref. 17.

Gambar 8. Grafik E_b/N_0 terhadap BER (Freeman, 1999)

Dalam propagasi gelombang radio, besarnya daya terima berfluktuasi akibat adanya *fading*. Untuk menanggulangnya digunakan cadangan *fading* (*fade margin* setiap *hop*) yaitu batas *fading* maximum yang diijinkan oleh ketersediaan (*availability*) total *link radio* tersebut.

Pada perancangan sistem komunikasi radio, *fading margin* dihitung dari perbedaan level daya terima (pada kualitas sinyal/BER yang diinginkan) dan level ambang batas (*threshold*) pada BER 10^{-3} , (Astuti,1988), (Kurniawan, 2003) yaitu:

$$Fade\ Margin = |Pr - P_{TH}| \tag{14}$$

dimana :

Pr = level daya terima (pada kualitas sinyal / BER yang diinginkan) (dBm atau dBw).

P_{TH} = level ambang batas (*threshold*) BER 10^{-3} (dBm atau dBw).

Kemungkinan terjadinya *fading margin* pada bulan buruk yang ditentukan jenis daerahnya didekati dengan persamaan (Freeman, 1999), (Lehpahmer,2004) :

$$FM_{(GM\ LOS)} = 30 \log d_{(km)} + 10 \log (6 a b f_{(GHz)}) - 10 \log (1 - R) - 70 \tag{15}$$

umumnya $R_{hop} \geq 99,99\%$ (Astuti, 1998)

dimana :

d = Jarak antara Tx dan Rx (km)

f = frekuensi kerja (GHz)

R = Reliability/availability

a = Kekasaran lapangan

= 4, diatas air, lapangan rata

= 1, diatas lapangan biasa

= ¼, diatas lapangan sangat kasar, pegunungan (perbukitan) dan kering

- b = Faktor cuaca
- = 1/2, panas, lembab → trofis
- = 1/4, normal, panas dan agak kering → subtrofis umumnya
- = 1/8, dingin, untuk pegunungan dan kering tetapi profil pantulan tidak ada

2.2. Penelitian Sebelumnya

Penelitian-penelitian sebelumnya (Santoso, dkk), melakukan studi terhadap jalur transmisi komunikasi *microwave* untuk daerah Prawoto-Undara Kudus dengan jalur LOS, analisis *link budget* jalur *terrestrial point to point* tanpa menghitung ketinggian antenna di masing-masing stasiun. Kemudian penelitian (Darmawan Setiabudi, dkk., 2011) melakukan penelitian transmisi sistem gelombang radio LOS, menghitung kebutuhan daya, dan tinggi antenna dengan menggunakan alat bantu tanpa memperhatikan kontur daerah yang dilewati sinyal.

Thakur & Kamboj (Thakur & Kamboj, 2016) melakukan studi untuk transmisi pada frekuensi 18 GHz dengan melakukan perhitungan kualitas dan *availability microwave*, kebutuhan daya pancar, dan redaman yang terjadi antara pemancar dan penerima, pengarahan antenna, level daya terima, tinggi antenna, gain antena serta cadangan daya tanpa memperhatikan kontur daerah yang dilewati oleh sinyal dan analisis dilakukan dengan menggunakan aplikasi *pathloss*.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengetahui dan menganalisis dalam perencanaan dan kehandalan sistem *radio microwave* pada frekuensi 12750-13250 MHz.

3.1. Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menganalisis perencanaan sistem *radio microwave* supaya memenuhi persyaratan LOS serta kehandalan sistem radio supaya sistem dapat bekerja dengan baik.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian merupakan data sekunder yang terdiri dari data lapangan, atmosfer dan kondisi iklim yang dilewati sepanjang lintasan gelombang, serta spesifikasi perangkat dan sistem komunikasi gelombang radio seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data lapangan, atmosfer dan iklim

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Data ketinggian permukaan tanah terhadap permukaan laut :		
	a. Kota X	250	meter
	b. Kota Y	225	meter
	c. Bukit kecil Z (terletak diantara kota X dan Kota Y)	260	meter
2.	Jarak :		
	d. Jarak Kota X – Kota Y	18	km
	e. Jarak bukit kecil – Kota Y	7	km
3.	Jari-jari bumi	6370	km
4.	Faktor kelengkungan bumi (K)	4/3	
5.	Daerah yang dilewati oleh lintasan gelombang berupa daerah persawahan		
6.	Iklim trofis		

Sumber : data diolah

Tabel 2. Parameter sistem komunikasi gelombang mikro digital

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Pita Frekuensi	12750-13250	MHz
2.	Polarisasi gelombang	vertikal	
3.	Noise figure penerima (Rx)	0,7	dB
4.	Baseband	140	Mbps
5.	Modulasi	16 QAM	
6.	Level threshold minimum (P_{Rth}) perangkat	- 90	dBm
6.	Diameter antena parabola di kota X dengan efisiensi (η) 0.7	1.2	meter
7.	Diameter antena parabola di kota Y dengan efisiensi (η) 0.7	1.2	meter
8.	Loss branching dan perangkat di kota X	2	dB
9.	Loss branching dan perangkat di kota Y	2	dB
10.	Feeder loss dan poynting antena di kota X	2.5	dB
11.	Feeder loss dan poynting antena di kota Y	2.5	dB

Sumber : data diolah

3.3. Teknik Analisis

Studi ini memberikan analisis terhadap perencanaan dalam sistem telekomunikasi gelombang mikro. Dimana pembahasannya menganalisis dan menjelaskan data sekunder dari frekuensi kerja, dimensi dan efisiensi antena parabola dengan asumsi bumi datar sehingga sistem radio dapat memenuhi persyaratan LOS dari penentuan tinggi antena dan daya pancar serta diperoleh kehandalan sistemnya.

Tahapan-tahapan analisis meliputi :

- Penentuan ketinggian antena stasiun pemancar dan penerima
- Perhitungan dan perencanaan daya
- Perhitungan *fading margin* dan kehandalan sistem radio

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis ketinggian antena stasiun X dan stasiun Y

Analisis ketinggian antena mengikuti tahapan berikut:

- Perhitungan Zona Fresnel, dengan menggunakan persamaan (4) diperoleh

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{1 \times 7 \times 11}{13 \times 18}} = 9,92 \text{ meter}$$

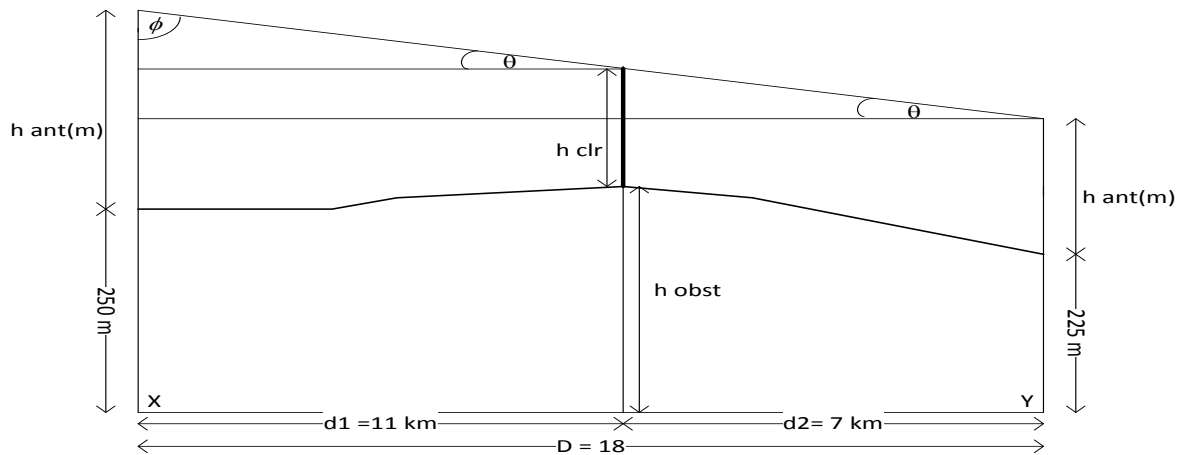
- Perhitungan faktor koreksi kelengkungan bumi, digunakan persamaan (5) diperoleh :

$$h_{corrected} (m) = \frac{0,079 \times 7 \times 11}{\frac{4}{3}} = 4.56 \text{ m}$$

- Perhitungan daerah *clearance from obstacle* (h_{cl}), digunakan persamaan (6), diperoleh :

$$Clearance (m) = (0,6 \times 9,92) + 4,5 = 10,512 \text{ m}$$

Maka dari data dan perhitungan diatas dapat digambarkan lintasan dan topografi daerah seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Path profile

Dengan memperhatikan Gambar 9 tersebut, dan dengan konsep kesebangunan dapat dihitung tinggi antenna kedua stasiun dengan asumsi tinggi kedua antenna sama diatas permukaan tanah, sebagai berikut :

$$\tan \theta = \frac{(250 + h_{ant}) - (260 + h_{clr})}{11} = \frac{(250 + h_{ant}) - (225 + h_{ant})}{18}$$

$$\tan \theta = \frac{(250 + h_{ant}) - (260 + 10,512)}{11} = \frac{(250 + h_{ant}) - (225 + h_{ant})}{18}$$

sehingga $h_{ant} = 35,788$ m

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh bahwa tinggi antenna di stasiun X dan stasiun Y diatas permukaan tanah yang dipersyaratkan supaya stasiun X dan stasiun Y memenuhi syarat LOS yaitu 35,788 meter dan dengan tinggi antenna di kedua stasiun tersebut diperoleh sudut θ nya = $0,079^\circ$. Sudut ini merupakan sudut elevasi stasiun Y menuju stasiun X, sedangkan sudut elevasi stasiun X menuju stasiun Y diperoleh sebesar $89,9^\circ$.

4.2. Perhitungan dan perencanaan daya

Tahapan perhitungan dan perencanaan daya adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan *free space* LOS, dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh :

$$L_{fs} = 42,45 + 20 \log 13000 + 20 \log 18 = 139,83 \text{ dB}$$

- b. *Feeder loss* di Tx (stasiun X) dan di Rx (stasiun Y)

$$L_f = 2,5 + 2,5 = 5 \text{ dB}$$

- c. *Branching network loss*

$$L_b = 2 + 2 = 4 \text{ dB}$$

- d. Perhitungan *gain* antenna pemancar (G_{Tx}) dan penerima (G_{Rx}), dengan menggunakan persamaan (9) diperoleh :

$$G_{Tx} = G_{Rx} = 0,7 \left(\frac{\pi \times 1,2}{0,023} \right)^2$$

$$= 18806,35 = 42,74 \text{ dB}$$

Untuk menghitung daya terima, berdasarkan grafik E_b/N_o terhadap *bit error rate* seperti gambar 8, dengan menggunakan sistem *radio* modulasi 16 QAM dan BER 10^{-6} diperoleh $E_b/N_o = 24$ dB dan dengan menggunakan persamaan (13) diperoleh daya terima:

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_o} &= P_{Rx}(\text{dBw}) - 10 \log(\text{bit rate}) - (-204_{\text{dBw}} + NF_{\text{dB}}) \\ 24 &= P_{Rx} - 10 \log(140 \times 10^6) + 204 - 0,7 = 134,269 \\ P_{Rx} &= -97,838 \text{ dBw} \\ &= -67,838 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Sehingga daya terima yang direncanakan -67.838 dBm. Dari perhitungan daya terima diperoleh daya terima lebih besar dibandingkan ambang batas minimum perangkat, sehingga sistem radio layak beroperasi. Dengan nilai daya terima tersebut, dan menggunakan persamaan (7) dan (8) diperoleh daya pancar P_{Tx} sebesar:

$$\begin{aligned} P_{Tx} &= P_{Rx} - G_{Tx} - G_{Rx} + L_{fs} + L_{fed} + L_{branc} \\ &= -67.838 - 42,74 - 42,74 + 139,83 + 5 + 4 \\ &= -4.488 \text{ dBm} = 0,355 \text{ mwatt} = 3,55 \times 10^{-4} \text{ watt} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, diperlukan daya pancar untuk sistem komunikasi radio digital tersebut sebesar $-4,488$ dBm atau $3,55 \times 10^{-4}$ watt. Nilai tersebut telah sesuai dengan standar yang diatur dalam Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor. 34 Tahun 2015 mengenai Persyaratan Teknis Perangkat Komunikasi Radio *Microwave Link* Titik ke Titik dengan Sistem *Digital Hybrid* yang menstandarkan daya pancar ≤ 32 dBm (Permenkominfo No.34, 2015).

4.3. Perhitungan *fading margin* dan kehandalan sistem

Berdasarkan perhitungan daya terima dan parameter sistem diketahui kuat sinyal minimum yang ditangkap perangkat penerima $P_{Rth} = -90$ dBm, serta dengan menggunakan persamaan (14), diperoleh cadangan daya atau *fading margin*:

$$\begin{aligned} \text{Fading margin} &= |-4,488 - (-90)| \\ &= 85,51 \text{ dB} \end{aligned}$$

Untuk menghitung kehandalan sistem, digunakan persamaan (15), sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} 85,51 &= 30 \log 18 + 10 \log(6 \times 1 \times 0,5 \times 13) - 10 \log(1 - R) - 70 \\ R &= 99,99999999\% \end{aligned}$$

Dengan *fading margin* 85,51 dB, diperoleh tingkat kehandalan sebesar 99,99999999%. Terlihat bahwa nilai *fading margin* sistem radio lebih besar dari 30 dB dan kehandalan lebih besar dari 99,99%, maka sistem radio sangat baik dan layak untuk beroperasi.

5. Simpulan dan Saran

5.1. Simpulan

Supaya sistem radio gelombang mikro digital frekuensi kerja 13 GHz memenuhi syarat LOS, dengan kondisi stasiun X dan Y masing-masing berada pada ketinggian 250 dan 225 meter di atas permukaan laut (mapl), jarak kedua stasiun 18 km serta diantara kedua stasiun terdapat *obstacle* setinggi 260 mapl dengan jarak 7 km dari stasiun Y, diperlukan menara atau antena dikedua stasiun setinggi 35,788 m diatas permukaan tanah.

Dengan menggunakan modulasi digital 16 QAM, *bit rate* sebesar 140 Mbps dan frekuensi kerja 13 GHz diperoleh daya terima sebesar -67.838 dBm dan di kedua stasiun ditempatkan antena parabola berdiameter 1.2 m diperlukan daya pancar sebesar -4.488 dBm atau $3,55 \times 10^{-4}$ watt

Untuk menanggulangi dampak dari fluktuasi sinyal, diperlukan cadangan daya (*fading margin*) sebesar 85,51 dB dan kehandalan sistem radio sebesar 99,99999999%.

Sistem radio layak beroperasi, karena berdasarkan perhitungan diperoleh daya pancar yang diperlukan lebih kecil dari 32 dBm, *fading margin* lebih besar dari 30 dB dan kehandalan sistem lebih besar dari 99,99%.

5.2. Saran

Dari kajian ini dapat diteliti lebih lanjut pengaruh redaman karena hujan untuk sepanjang lintasan radio pada sistem *microwave point to point* dan lokasi kajian dapat dilakukan di seluruh wilayah Indonesia, sehingga dapat dijadikan bahan analisis lebih lanjut dalam kebijakan menentukan cadangan daya (*fading margin*), kebutuhan kanal, dan kehandalan (*reliability*) yang dipersyaratkan sesuai dengan jenis modulasinya.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kapuslitbang Aptika dan IKP, Badan Litbang SDM Kominfo Bapak Dr. Wiryanta, MA yang telah mengijinkan waktu, penggunaan tempat, dan fasilitas nya serta Bapak Prof. Dr. Adit Kurniawan, M.Eng di Lab. Radar dan Teknik Gelombang Mikro -Teknik Elektro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB yang telah meluangkan waktu, kajian *literature* dan diskusinya dalam penyusunan dan pembuatan artikel ini juga Tim Redaksi, Reviewer dan Editor Buletin Pos dan Telekomunikasi Puslitbang SDPPPI, Badan Litbang SDM Kominfo.

Daftar Pustaka

- Alim, M.A., Rahman, M.M., Hossain, M.M., Al-Nahid, A. (2010). *Analysis of Large Scale Propagation Model For Mobile Communication in Urban Area*. International Journal of Computer Science and Information Security, 7.
- Astuti, R.P. (1998). *Perkuliahan Perancangan Radio Terrestrial*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung.
- Can, M. (2012). *System Power budget Analysis of Microwave Radio Links in Adana Region*. Adana Turkey Memduh, ieece.
- Chulhe, J., Hang Lee, J.H. (2012). *Outage Analysis and Optimization of DF-Based Multi-Hop Transmission for Fading Channel with large Path Loss Exponent*. IEEE 0018-954.
- DAI, H. *Link Budget Analysis in Mobile Communication System*. The University of Birmingham, B.15 2 TT, UK.
- Effendi, M.R. (2004). *Diklat Kuliah Kanal Fading Acak*, Departemen Teknik Elektro, ITB, Bandung.
- Freeman, R.L. (1987). *Radio Sistem Design For Telecommunication (1-100 GHz)*. John Willey & Sons, New York.
- Freeman, R.L. (1999). *Telecommunication Transmission Hand Book*. John Willey & Sons, New York.
- Judawisastro, H. (2004). *Catatan Kuliah EL-366 Antena dan Propagasi*, Departemen Teknik Elektro, ITB, Bandung.
- Kim, J. (2009). *Range Estimation of TACTICAL RADIO WAVEFORM USING LINK BUDGET ANALYSIS*. IEEE Milwaukee School of Engineering.
- Kundu, A.K., Khan, M.T.H., Sharmin, W., Goni, M.O., Barkat, K.A. (2013). *Designing a mobile satellite communication Antenna and Link Budget Optimization*. International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT).
- Kurniawan, A. (2003). *Predictive Power Control in CDMA Sistem*. Dissertation Doctor of Philosophy, University of South Australia.
- Lehpahmer, H. (2004). *Microwave Transmission Network: Planning, Design and Development*. Pg 106 McGraw-Hill Professional Engineering.
- Permenkominfo No.33. tentang Perencanaan Penggunaan Pita Frekuensi Radio Microwave Link Titik ke Titik (Point to Point) (2015).
- Permenkominfo No.34. tentang Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Radio Microwave Link Titik ke Titik dengan Sistem Digital Hybrid (2015).
- Rajagopalan, H., Rahmat-Samii, Y. (2010). *Link Budget Analysis and Characterization for Ingestible Capsule Antenna*. IEEE Transaction, 23, (pp No. 978).
- Rappaport, T.S (1996). *Wireless Communications, Principle and Practice*. IEEE Press, Printice-Hall, New York.
- Santoso, Zahra, Anwar, *Perancangan Jalur Gelombang Mikro 13 GHz Titik ke Titik Area Prawoto-Undaan Kudus*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sharma, D., Sharma, P.K., Gupta, Vishal., Singh, R.K. (2010). *A Survey on Path loss Models Used in Wireless Communication System Design*. IJRTE, 3 (2).

- Sharma,K., Naglia, P.(2016). *Transmission and Optimization of a 3G/4G Microwave Network at 14 GHz*. International Journal of Engineering Science and Computing,6 (5),(pp. 6086 – 6091)
- Thakur, A., Kamboj, S.(2016). *Transmission and Optimization of a 3G Microwave Network at 18 GHz*. International Journal of Engineering Science and Computing,6,(5),(pp. 5624 -5626)
- Ubom, E.A.,Idigo,V.E., Azubogu,A.C.O., Ohaneme, C.O., Alumona,T.L. (2011). *Path loss Characteziation of Wireless Propagation of South-South Region of Nigeria*. International Journal of Computer Theory and Engineering,3(3).
- Yinfen,X.(2011). *Planning of 3 G-oriented Transmission Network*. IEEE 978-1-61284-459-6/11.