

# Perbandingan Penggunaan Teknik *Diversity* pada Jaringan Gelombang Mikro di Lingkungan Danau

Syahrul Hidayat Triwibowo<sup>1</sup>, Eka Wahyudi<sup>2</sup>, Solichah Larasati<sup>3</sup>

**Abstract**—Microwave communication system is often implemented as a network cellular backhaul, due to its simplicity of installation and capability to reach remote areas which are difficult to reach using fiber optics. This paper compares the microwave network with frequency diversity and space diversity technique in the lake area using Pathloss 5.0, using two sites, site Mongal and site Bintang in Aceh. These two sites are located in two cities separated by a Lake, so it doesn't support wireline communications. Therefore, wireless communication is needed on site Mongal and site Bintang. Availability of the system without diversity optimization is 99.9554%. Using frequency diversity with frequency difference of 460 MHz, 920 MHz, and 1,380 MHz and using space diversity with space of 0.9 meter, 1.7 meter, and 2.6 meter, best availability of 99.9977% is obtained. The best availability is obtained using space diversity with maximum spacing of 2.6 meter under the main antenna.

**Intisari**— Sistem komunikasi gelombang mikro banyak diimplementasikan sebagai jaringan *backhaul* jaringan seluler, karena memiliki kelebihan dalam kesederhanaan instalasi dan dapat menjangkau wilayah terpencil yang sulit terjangkau serat optik. Dalam makalah ini, dilakukan perbandingan penggunaan teknik *frequency diversity* dan teknik *space diversity* pada konfigurasi jaringan gelombang mikro di lingkungan danau dengan menggunakan Pathloss 5.0, dengan menggunakan dua site, yaitu site Mongal dan site Bintang di daerah Aceh. Dua site ini berada di dua buah kota yang terpisah oleh sebuah danau, sehingga tidak mendukung diadakannya komunikasi *wireline*. Oleh karena itu, perlu adanya komunikasi secara *wireless* pada site Mongal dan site Bintang. Sebelum dilakukan optimasi teknik *diversity*, diperoleh *availability* sebesar 99,9554%. Setelah digunakan teknik *frequency diversity* dengan perbedaan frekuensi 460 MHz, 920 MHz dan 1.380 MHz serta *space diversity* dengan spasi 0,9 meter, 1,7 meter dan 2,6 meter, didapat hasil *availability* yang paling baik dengan nilai 99,9977%, saat menggunakan teknik *space diversity* dengan jarak (spasi) maksimum 2,6 meter di bawah antena utama.

**Kata Kunci**— Gelombang Mikro, *Frequency Diversity*, *Space Diversity*, *Availability*, Pathloss 5.0.

## I. PENDAHULUAN

Pengiriman sinyal informasi dari satu tempat ke tempat lain dapat dilakukan melalui beberapa media, baik media *wireless*

maupun media fisik yang berupa *wireline*. Teknologi *wireless* merupakan jaringan tanpa media fisik, yaitu menggunakan gelombang frekuensi sebagai media penghantar untuk mentransmisikan datanya. Sedangkan teknologi *wireline* merupakan teknologi yang menggunakan media fisik seperti kabel tembaga dan serat optik untuk mentransmisikan data. Pada kondisi tertentu, misalnya di wilayah terpencil atau wilayah lain yang tidak memungkinkan hadirnya jaringan media *wireline*, maka jaringan media *wireless* menjadi solusi. Salah satu media komunikasi *wireless* adalah komunikasi gelombang mikro (*microwave link*). Sistem komunikasi gelombang mikro banyak diimplementasikan sebagai jaringan *backhaul* jaringan seluler karena memiliki kelebihan dalam kesederhanaan instalasi dan dapat menjangkau wilayah terpencil yang sulit terjangkau serat optik. Jaringan *backhaul* merupakan suatu jaringan *transport* radio akses seluler yang menghubungkan *Base Transceiver Station* (BTS) dengan *Base Station Controller* (BSC), maupun BSC dengan *Mobile Switching Centre* (MSC) [1].

Pada sistem komunikasi gelombang mikro, sinyal yang diterima akan berbeda dengan sinyal yang dipancarkan, akibat efek *fading*. *Fading* ini dapat memengaruhi sinyal terima menjadi kuat maupun menjadi lemah, tergantung pada besar fase dari resultan sinyal langsung dan sinyal tidak langsung yang ada [2]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa titik pada lintasan yang memiliki *loss* yang sangat besar menyebabkan kualitas komunikasi menurun [3]. Hal-hal yang memengaruhi kualitas komunikasi tersebut di antaranya adalah pepohonan, atmosfer, dan juga jarak komunikasi. Efek *fading* dapat berupa refraksi, refleksi, difraksi, *scattering* (penghamburan), atenuasi, dan *ducting* dari gelombang radio. Untuk mengatasi efek *fading*, dapat dilakukan optimasi dengan menggunakan teknik *diversity*. Terdapat beberapa jenis teknik *diversity* pada jaringan gelombang mikro, di antaranya adalah teknik *space diversity* dan teknik *frequency diversity*. Teknik *frequency diversity* merupakan teknik *diversity* yang dapat mengoptimalkan jaringan gelombang mikro dengan menggunakan dua frekuensi gelombang mikro pada satu antena, baik pada sisi pemancar maupun penerima. Sedangkan *space diversity* merupakan teknik *diversity* yang menggunakan antena *diversity* pada sisi pengirim dan penerima. Antena *diversity* merupakan antena pada teknik *space diversity* yang bersifat *redundant*, yaitu antena jaringan alternatif atau cadangan yang digunakan untuk meningkatkan ketersediaan jaringan. Jika dalam suatu jaringan terdapat *link* yang terputus, maka jalur tersebut masih dapat terhubung tanpa memengaruhi konektivitas perangkat pada jalur tersebut [4].

Sebuah penelitian membahas tentang peningkatan kinerja jaringan radio gelombang mikro dengan menggunakan teknik

<sup>1</sup>Mahasiswa, Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom, Jl. D.I. Panjaitan no.128 Purwokerto, 53147 (telp: 0281-641 629; fax: 0281-641630; e-mail: 16201099@ittelkom-pwt.ac.id)

<sup>2,3</sup>Dosen, Jurusan Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom, Jl. D.I. Panjaitan no.128 Purwokerto, 53147 INDONESIA (telp: 0281-641 629; fax: 0281-641630; e-mail: ekawahyudi@ittelkom-pwt.ac.id, solichahlarasati@ittelkom-pwt.ac.id)

*space diversity* pada jaringan transmisinya melalui permukaan laut [5]. Dengan teknik *space diversity*, pada masing-masing *site* ditambahkan satu antena *receiver space diversity*, dalam penelitian tersebut, digunakan jarak (spasi) 4 meter di bawah antena utama pada setiap *site*-nya. Penambahan antena terima ini meningkatkan keandalan (*availability*) sistem jaringan. Optimasi pada jaringan tersebut menghasilkan peningkatan *availability* jaringan sebesar 0,961446%. Dari hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa optimasi dengan teknik *space diversity* optimal diterapkan pada jaringan yang transmisinya melalui atas permukaan laut. Penelitian lainnya menggunakan frekuensi tinggi pada jaringan gelombang mikro [6]. Frekuensi tinggi dapat memberikan *bandwidth* yang lebar saat keadaan *traffic rate* tinggi.

Pada penelitian yang lain, diteliti perancangan *link microwave non-diversity* dan dengan menggunakan *space diversity* [7], [8]. Diperoleh peningkatan pada nilai daya sinyal yang diterima. *Space diversity* juga digunakan untuk optimasi *microwave link* [9]. *Fading* mengalami penurunan atau pengurangan. Sedangkan dalam [10], digunakan teknik *frequency diversity* pada jaringan radio gelombang mikro melalui permukaan laut. Penggunaan teknik *frequency diversity* pada penelitian ini menghasilkan peningkatan *availability* sebesar 0,15462%. Semakin besar nilai *availability*, semakin andal sistem tersebut. Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, diketahui terdapat perbedaan dalam penggunaan teknik optimasi pada jaringan radio gelombang mikro pada permukaan laut [5], [10]. Oleh karena itu, dalam makalah ini diteliti perbandingan jaringan radio gelombang mikro dengan teknik *frequency diversity* dan teknik *space diversity* di lingkungan danau yang karakternya memiliki air seperti laut, tetapi dengan elevasi yang berbeda. Diharapkan dapat diketahui optimasi yang cocok untuk *link microwave* di lingkungan danau. Pada penelitian ini, lokasi *site* real ditentukan berdasarkan data dari PT. Alita Praya Mitra, dengan menggunakan dua *site*, yaitu *site* Mongal dan *site* Bintang di daerah Aceh. Dua *site* ini berada di dua buah kota yang terpisahkan oleh sebuah danau, sehingga tidak mendukung diadakannya komunikasi *wireline*. Oleh karena itu, perlu adanya komunikasi secara *wireless* pada *site* Mongal dan *site* Bintang. Dalam pengujian, digunakan frekuensi operasi *link* 23 GHz dan *frequency diversity* 460 MHz, 920 MHz, dan 1.380 MHz. Sedangkan teknik *space diversity* menggunakan spasi minimum  $70\lambda$ , spasi menengah  $135\lambda$  dan spasi maksimum  $200\lambda$ .

## II. METODE

Dalam perancangan jaringan gelombang mikro di lingkungan danau ini, digunakan aplikasi Pathloss 5.0, dengan jarak antar *site* 17,7 km, sehingga merupakan jaringan *short haul*. Pada jaringan ini digunakan frekuensi 23 GHz dengan polarisasi vertikal. Penggunaan frekuensi kerja sesuai dengan teori *short haul*, yaitu frekuensi 23 GHz dapat menjangkau jarak hingga 18 km. Data inisialisasi ditunjukkan pada Tabel I.

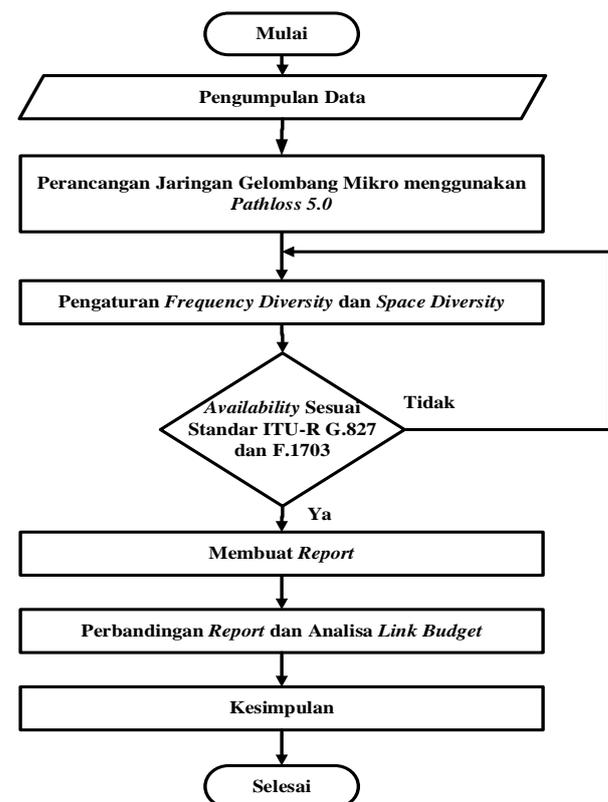
### A. Alur Penelitian

Proses perancangan diawali dengan penentuan lokasi *site* dan perancangan jaringan *point-to-point* agar dapat diketahui

jalur yang akan digunakan saat perancangan, agar sesuai dengan kondisi asli di lapangan. Kemudian, dilakukan pengujian rancangan menggunakan simulator Pathloss 5.0, perhitungan *link budget* komunikasi gelombang mikro, dan analisis keandalan sistem transmisi gelombang mikro yang telah dibuat. Standar nilai *availability*, berdasarkan ITU-R G.827 dan F.1703 tentang komunikasi jaringan *backhaul* pada kriteria *short haul*, yaitu harus memiliki nilai sebesar 99,9800%–99,9966%. Diagram alir penelitian diperlihatkan pada Gbr. 1.

TABEL I  
DATA INISIALISASI PERANCANGAN JARINGAN GELOMBANG MIKRO

Parameter	Site Mongal	Site Bintang
Frekuensi (MHz)	23.000	
Polarisasi	Vertikal	



Gbr. 1 Diagram alir penelitian.

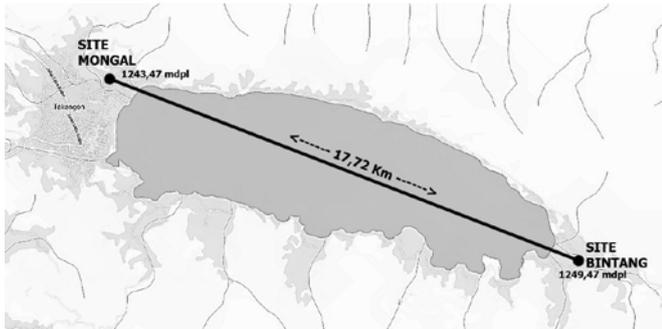
### B. Data Lokasi Site

Peta rute dibuat untuk melihat jalur yang digunakan dalam perancangan jaringan *backhaul* sistem transmisi gelombang mikro dan juga melihat kondisi geografisnya secara umum. Lokasi yang disimulasikan adalah lingkungan danau dengan menggunakan dua *site* yang koordinatnya tersaji pada Tabel II.

Dengan menggunakan *path profile* berdasarkan peta *map info*, dapat diketahui kondisi wilayah jaringan gelombang mikro lingkungan danau yang direncanakan, yaitu *site* Mongal dan *site* Bintang, dengan jarak antar *site* 17,72 km. *Path profile* diperlihatkan pada Gbr. 2.

TABEL II  
DATA SITE JARINGAN

Parameter	Site Mongal	Site Bintang
Latitude	04°38'17,70" U	04°35'07,40" U
Longitude	96°51'13,60" T	97°00'16,40" T
Elevasi	1.243,47 mdpl	1.249,47 mdpl
Path Length	17,72 Km	



Gbr. 2 Path profile jaringan kedua site.

### C. Perancangan Jaringan Microwave

1) *Gain Antena*: Gain antena merupakan suatu hal yang mengukur kemampuan dari sebuah antena dalam memancarkan gelombang pada suatu arah. Antena pada dasarnya bersifat isotropik, yaitu memancarkan gelombang energi ke segala arah dengan besar yang sama. Gain antena diukur dalam desibel (dBi), dan dapat dihitung menggunakan (1) [1].

$$G = 20 \log f + 20 \log d + 10 \log \eta + 20,4 \quad (1)$$

dengan

$G$  = gain atau penguatan antena (dBi)

$d$  = diameter antena (m)

$f$  = frekuensi antena (GHz)

$\eta$  = efisiensi antena (50%–70%).

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan Pathloss 5.0, diperoleh hasil seperti disajikan pada Tabel III.

TABEL III  
DATA GAIN ANTENA

Parameter	Site Mongal	Site Bintang
Model antena	VHPX2.5-220	VHPX2.5-220
File name antena	3863a	3863a
Gain antena (dBi)	42,40	42,40
Tinggi antena (m)	14,93	13,30

2) *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)*: EIRP menunjukkan nilai efektif daya yang telah mengalami penguatan yang dipancarkan oleh antena pemancar. Nilai EIRP didapat dari penjumlahan daya keluaran antena dengan gain antena lalu dikurangi loss yang ada. Nilai EIRP dapat dicari menggunakan (2) [4].

$$EIRP = PTx + GTx - LTx \quad (2)$$

dengan

$EIRP$  = effective isotropic radiated power (dBm)

$PTx$  = daya pancar (dBm)

$GTx$  = gain/penguatan antena (dBi)

$LTx$  = rugi-rugi pada pemancar (dB).

Data EIRP yang dihasilkan pada pengujian di aplikasi Pathloss 5.0 ditunjukkan pada Tabel IV.

TABEL IV  
DATA EIRP

Parameter	Site Mongal	Site Bintang
Gain antena (dBi)	42,40	42,40
TX line model	EW220	EW220
TX line unit loss (dB/100 m)	27,95	27,95
TX line length (m)	16,90	15,30
TX line loss (dB)	4,72	4,28
Connector loss (dB)	0,6	0,6
Circulator branching loss (dB)	3	3
TX power (dBm)	23	23
EIRP (dBm)	57,08	57,52

3) *Free Space Loss*: Free space loss merupakan redaman yang ada pada sepanjang ruang antar dua buah antena pemancar dan penerima. Pada ruang antar antena pemancar dan penerima ini tidak diperkenankan adanya penghalang dikarenakan transmisinya yang berkarakter LOS [4].

Dalam pengujian menggunakan Pathloss 5.0 didapatkan nilai free space loss seperti pada Tabel V.

TABEL V  
DATA FREE SPACE LOSS

Parameter	Site Mongal	Site Bintang
Free space loss	144,67 dB	
Atmospheric abs loss	3,4 dB	
Net Pathloss	79,47 dB	79,47 dB

Nilai free space loss dapat dihitung menggunakan (3) [4].

$$Lfs = 92,45 + 20 \log (f_{GHz}) + 20 \log (D_{KM}) \quad (3)$$

dengan

$Lfs$  = free space loss (dB)

$f$  = frekuensi (GHz)

$D$  = jarak kedua antena (km).

4) *Isotropic Received Level (IRL)*: Isotropic Received Level (IRL) merupakan besarnya nilai daya isotropik yang diterima oleh antena penerima dari antena pengirim. Nilai IRL ini adalah nilai yang diterima di sisi antena, bukan nilai yang diterima oleh sistem decoding. Nilai IRL diperoleh menggunakan (4) [4].

$$IRL = EIRP - Lfs \quad (4)$$

dengan

$EIRP$  = effective isotropic radiated power (dBm)

$IRL$  = isotropic received level (dBm)

$Lfs$  = free space loss (dB).

5) *Received Signal Level (RSL)*: Receive Signal Level (RSL) adalah besarnya nilai daya yang diterima oleh perangkat pengolah decoding pada sisi penerima. Nilai RSL

dapat dipengaruhi oleh rugi-rugi redaman sepanjang jalur *link* antara antena penerima dan antena pengirim serta dipengaruhi oleh *gain* pada sisi penerima. RSL dihitung menggunakan (5) [1].

$$RSL = IRL + G_{RX} - Lf - Lb \tag{5}$$

dengan

$RSL = receive\ signal\ level$  (dBm)

$G_{RX} = gain$  di sisi penerima (dBi)

$Lf = feeder\ loss$  (dB)

$Lb = branching\ loss$  (dB).

Berdasarkan pengujian pada Pathloss 5.0, diperoleh data seperti pada Tabel VI.

TABEL VI  
NILAI RECEIVE SIGNAL LEVEL

Parameter	Site Mongal	Site Bintang
<i>Rx threshold criteria</i>	1E-3 BER	1E-3 BER
<i>Rx threshold level</i>	-85,5 dB	-85,5 dB
<i>Receive signal</i>	-56,47 dBm	-56,47 dBm

6) *Fading Margin (FM)*: Pada perambatan gelombang radio, di sisi penerima akan didapatkan dua gelombang yang berbeda, yaitu gelombang langsung dan gelombang pantul (dari pemantulan oleh permukaan bumi), sehingga menimbulkan level daya yang diterima berbeda pada ujung penerima. Jarak tempuh serta waktu perambatan yang berbeda juga menimbulkan level daya yang diterima berbeda pada ujung penerima. Perbedaan level daya inilah yang disebut *fading*. Untuk mengatasi *fading*, diperlukan cadangan daya yang sering disebut *fading margin (FM)*. FM dapat dihitung menggunakan (6) [4].

$$FM = 30 \log D + 10 \log (a \times b \times 2,5 \times f) - 10 \log UnAvPath - 60 \tag{6}$$

dengan

$FM = fading\ margin$  (dB)

$D = panjang\ lintasan$  (km)

$f = frekuensi\ kerja$  (GHz)

$a = faktor\ kekasaran\ bumi$

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

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

$a = 0,25$ ; untuk pegunungan dan dataran tinggi

$b = faktor\ iklim$

$b = 0,5$ ; untuk daerah panas dan lembab

$b = 0,25$ ; untuk daerah normal

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

$b = 1$ ; untuk kondisi paling buruk

$UnAvPath = ketidakandalan\ sistem$  (*unavailability*).

FM dapat juga dihitung menggunakan (7) apabila nilai *unavailability* belum diketahui.

$$FM = RSL - Rx_{TH} \tag{7}$$

dengan

$FM = fading\ margin$  (dB)

$RSL = received\ signal\ level$  (dBm)

$Rx_{TH} = Rx\ threshold\ level$  (dBm)

Tabel VII menunjukkan nilai FM jaringan gelombang mikro dari *site* Mongal dan *site* Bintang.

TABEL VII  
NILAI FADING MARGIN

Parameter	Site Mongal	Site Bintang
<i>Fading margin</i>	29,03 dB	29,03 dB
<i>Terrain roughness</i>	6,10 m	6,10 m
<i>C factor</i>	6,58	

7) *Availability dan Unavailability*: Keandalan suatu sistem biasa disebut *availability*. *Availability* juga sering disebut dengan *reliability* yang diartikan sebagai kemampuan sistem dalam memberikan pelayanan. Secara ideal, semua sistem harus mempunyai nilai *availability* 100%. Namun, nilai 100% tidak mungkin tercapai karena di dalam suatu sistem pasti terdapat ketidakandalan sistem. *Unavailability* atau *outage time* adalah kebalikan dari *availability* yang dapat diartikan sebagai kegagalan sistem dalam memberikan pelayanan [1].

$$UnAvpath = a \times b \times 2,5 \times f \times D^3 \times 10^{-6} \times 10^{FM/10} \tag{8}$$

$$Availability = (1 - UnAvPath) \times 100 \% \tag{9}$$

dengan

$UnAvPath = ketidakandalan\ sistem$  (*unavailability*)

$a = faktor\ kekasaran\ bumi$

$b = faktor\ iklim$

$f = frekuensi$  (GHz)

$D = panjang\ lintasan$  (km)

$FM = fading\ margin$  (dB)

$Availability = keandalan\ sistem$  (%).

#### D. Perancangan Space Diversity

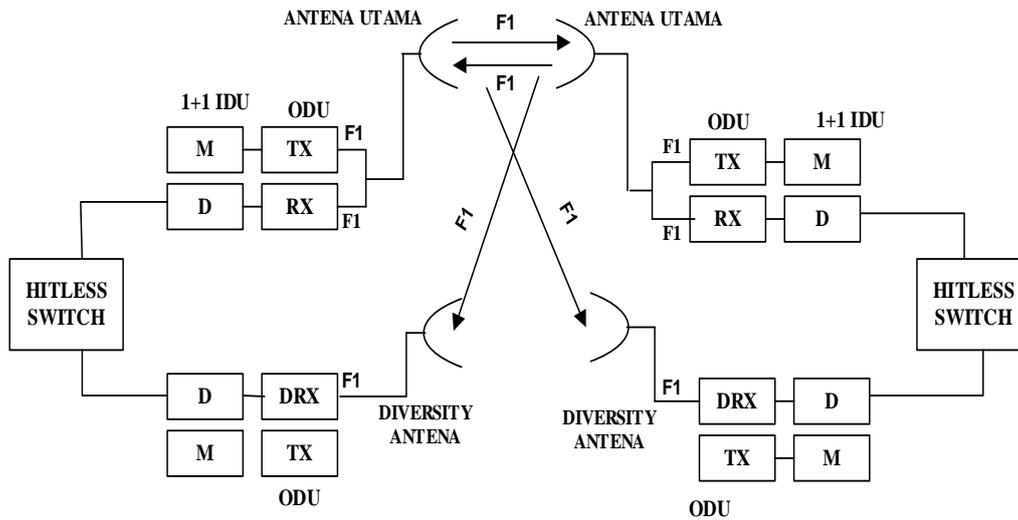
Pada sistem ini, sisi penerima dan pengirim masing-masing menggunakan dua buah antena, atau berupa penerima yang umumnya dua sistem yang terpisah secara vertikal dalam jarak beberapa panjang gelombang satu sama lain. Karena antar kedua antena memiliki jarak, maka disebut sebagai jenis teknik *space diversity* atau peragaman spasi/ruang [11]. Sinyal yang diterima oleh masing-masing antena kemudian secara simultan dihubungkan menuju *hitless switch* agar sinyal yang diterima oleh antena penerima dapat digabungkan. Konfigurasi *space diversity* ditunjukkan pada Gbr. 3.

Untuk mendapatkan operasi yang optimal, jarak antara kedua antena yang terpisah harus diatur sedemikian rupa. Kenyataannya, untuk menerima sebuah sinyal informasi, digunakan dua atau lebih sistem antena yang dipasang secara vertikal atau horizontal dengan antena utama dan antena *space diversity* diberi jarak setidaknya antara  $70\lambda - 200\lambda$  terhadap antena utama [12].

Sedangkan untuk mencari nilai panjang gelombang, digunakan (10) [13].

$$\lambda = c/f \tag{10}$$

dengan



Gbr. 3 Konfigurasi *space diversity*.

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

Menggunakan teknik *space diversity* untuk mengatasi *fading*, diperoleh faktor perbaikan dengan (11) [4].

$$I_{SD} = 1,2 \times 10^{-3} \times (f/D) \times s^2 \times v^2 \times 10^{A/10} \quad (11)$$

dengan

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

Dan untuk mengetahui nilai *availability* yang diperoleh setelah digunakannya *space diversity* adalah menggunakan (12) [4].

$$Availability_{SD} = (1 - UnAvPath/I_{SD}) \times 100 \% \quad (12)$$

dengan

$Availability_{SD}$  = keandalan sistem setelah *space diversity* (%)  
 $UnAvPath$  = ketidakandalan sistem (*unavailability*)  
 $I_{SD}$  = faktor perbaikan *space diversity*.

Tabel VIII menunjukkan nilai faktor perbaikan *space diversity* jaringan gelombang mikro dari *site* Mongal dan *site* Bintang.

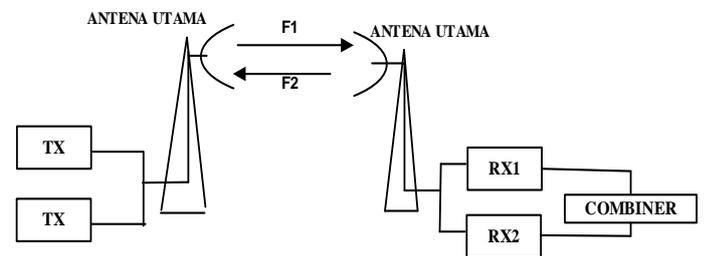
**E. Perancangan Frequency Diversity**

*Frequency diversity*, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 4, merupakan sistem yang mengoperasikan dua frekuensi gelombang mikro pada satu antena, baik di pemancar maupun di penerima. Informasi secara simultan dikirimkan kedua pemancar yang beroperasi pada frekuensi yang berbeda

kemudian diteruskan ke satu antena pemancar. Pada antena penerima, informasi dikumpulkan dan dipisahkan menjadi dua sinyal. Perbedaan frekuensi ( $\Delta f$ ) antara kedua frekuensi cukup 2%, dan akan lebih baik jika berbeda 6%, untuk menghindari terjadinya interferens yang besar [4].

TABEL VIII  
 DATA FAKTOR PERBAIKAN *SPACE DIVERSITY*

Parameter	Faktor Perbaikan
<i>Space Diversity</i> $70\lambda$	1,03
<i>Space Diversity</i> $135\lambda$	3,94
<i>Space Diversity</i> $200\lambda$	9,37



Gbr. 4 Konfigurasi *frequency diversity*.

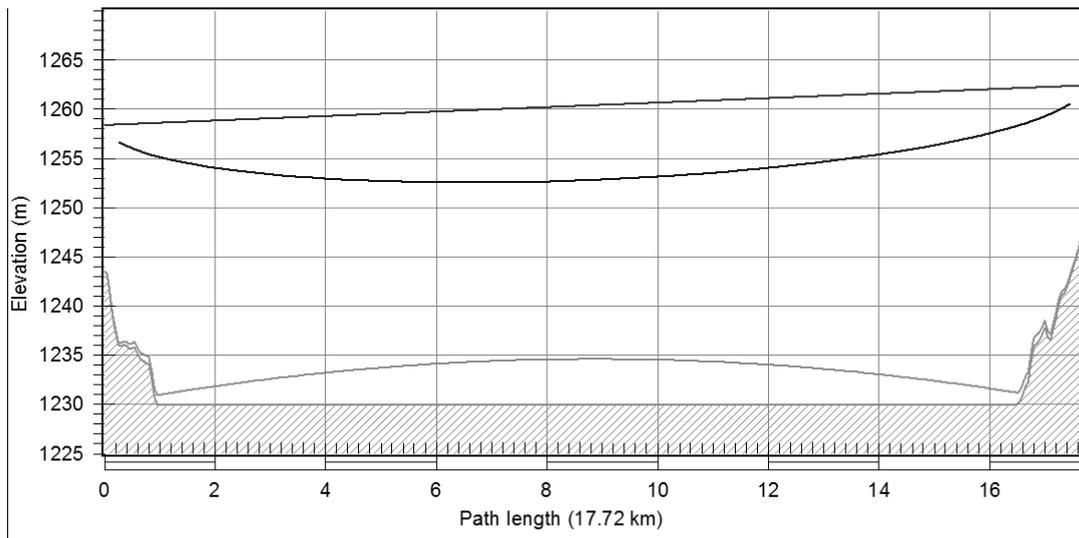
Apabila digunakan teknik *frequency diversity*, akan diperoleh faktor perbaikan seperti yang ditunjukkan pada (13) [4].

$$I_{FD} = 10 \log \Delta f - 20 \log f - 10 \log D + FM^{0.9} \quad (13)$$

dengan

$I_{FD}$  = faktor perbaikan *frequency diversity*  
 $\Delta f$  = perbedaan frekuensi yang digunakan dalam sistem transmisi yang menggunakan teknik *frequency diversity*.  
 $f$  = frekuensi (GHz)  
 $D$  = panjang lintasan (km)

dan dengan nilai FM pada *frequency diversity* seperti pada (14) [4].



Gbr. 5 Path Profile site Mongal–site Bintang.

$$FM = 20 \log D + 5 \log (axbx2,5) + 15 \log f - 5 \log UnAvPath - 5 \log \Delta f - 29,5 \quad (14)$$

dengan

$D$  = panjang lintasan (km)

$a$  = faktor kekasaran bumi

$b$  = faktor iklim

$\Delta f$  = perbedaan frekuensi yang digunakan dalam sistem transmisi yang menggunakan teknik *frequency diversity*.

$f$  = frekuensi (GHz)

$I_{FD}$  = faktor perbaikan *frequency diversity*

$UnAvPath$  = ketidakandalan sistem.

Untuk mengetahui nilai *availability* yang didapat setelah menggunakan *frequency diversity*, digunakan (15) [4].

$$Availability_{FD} = (1 - UnAvPath/I_{FD}) \times 100 \% \quad (15)$$

dengan

$Availability_{FD}$  = keandalan sistem setelah *frequency diversity* (%)

$UnAvPath$  = ketidakandalan sistem (*unavailability*)

$I_{FD}$  = faktor perbaikan *frequency diversity*.

Berdasarkan pengujian menggunakan Pathloss 5.0, didapat nilai faktor perbaikan *frequency diversity* seperti disajikan pada Tabel IX.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Path Profile

Dengan analisis *path profile* berdasarkan peta *map info*, dapat diperlihatkan kondisi wilayah tempat perencanaan jaringan *backhaul* sistem transmisi gelombang mikro di lingkungan danau yang direncanakan, yaitu *site* Mongal ke *site* Bintang. *Site* Mongal terletak pada ketinggian 1.243,47 m di atas permukaan laut dan terletak pada 04°38'17,70" LU

serta 96°51'13,60" BT. Sedangkan *site* Bintang berada pada ketinggian 1.249,15 m di atas permukaan laut dan terletak pada 04°35'07,40" LU serta 97°00'16,40" BT.

TABEL IX  
DATA FAKTOR PERBAIKAN *FREQUENCY DIVERSITY*

Parameter	Faktor Perbaikan
<i>Frequency Diversity</i> 460MHz	3,12
<i>Frequency Diversity</i> 920MHz	6,25
<i>Frequency Diversity</i> 1.380MHz	8,61

TABEL X  
DATA SUMMARY REPORT

Parameter	Availability
Tanpa Optimasi	99,9554%
<i>Space Diversity</i> 70λ	99,9795%
<i>Space Diversity</i> 135λ	99,9949%
<i>Space Diversity</i> 200λ	99,9977%
<i>Frequency Diversity</i> 460MHz	99,9857%
<i>Frequency Diversity</i> 920MHz	99,9928%
<i>Frequency Diversity</i> 1.380MHz	99,9952%

Berdasarkan Gbr. 5, dapat dilihat *path profile site* Mongal dan *site* Bintang dengan jarak 17,72 km. *Terrain* antar *site* tersebut adalah danau dengan tinggi antenna utama di *site* Mongal adalah 14,93 meter dan tinggi antenna utama di *site* Bintang 13,30 meter. Dengan nilai faktor kelengkungan bumi (*K factor*) adalah 1.33, dihasilkan nilai dari *Fresnel zone* 1 (*F1*) adalah 100,0 meter.

#### B. Summary Report

Pada Tabel X dapat dilihat bahwa perencanaan *site* Mongal ke *site* Bintang tanpa optimasi menggunakan *space diversity* ataupun *frequency diversity* menghasilkan nilai *availability* sebesar 99,9554%. *Availability* hasil simulasi masih dapat dikatakan kurang maksimal karena *effective fading margin*-nya belum maksimal. Dan berdasarkan standar ITU-R G.827 dan F.1703 tentang komunikasi jaringan *backhaul* gelombang

mikro, pada kriteria *short haul* harus diperoleh *availability* sebesar 99,9800%–99,9966%, sehingga perlu adanya optimasi agar nilai *availability* sesuai dengan standar ITU-R G.827 dan F.1703. Untuk memaksimumkannya, dapat dilakukan optimasi, yaitu dengan penerapan teknik *space diversity* dan *frequency diversity*. Setelah menggunakan *space diversity* dengan jarak minimum sebesar  $70\lambda$  yaitu jarak 0,9 m di bawah antena utama, dihasilkan *availability* sebesar 99,9795%. Dengan jarak menengah,  $135\lambda$  atau 1,7 m di bawah antena utama diperoleh *availability* 99,9949%, dan dengan jarak maksimum yaitu  $200\lambda$  atau 2,6 m di bawah antena utama didapatkan nilai *availability* sebesar 99,9977%. Nilai *availability* mengalami peningkatan setelah menggunakan teknik *space diversity*, sama halnya dengan penelitian sebelumnya yang mengalami peningkatan nilai *availability* setelah menggunakan teknik *space diversity* [5]. Nilai *availability* setelah dilakukannya *space diversity* meningkat karena *unavailability* yang dihasilkan mengecil oleh adanya *improvement factor space diversity* (faktor perbaikan). Secara tidak langsung, *availability space diversity* dipengaruhi oleh selisih RSL, jarak antena, dan peningkatan *effective fading margin*. Saat digunakan teknik *frequency diversity* dengan perbedaan frekuensi 460 MHz (2% dari frekuensi kerja *link*), diperoleh nilai *availability* sebesar 99,9857%. Sedangkan saat frekuensi yang digunakan sebagai *diversity* sebesar 4% dari frekuensi kerja *link*, yaitu 920 MHz, didapat nilai *availability* 99,9928%. Dan ketika frekuensi *diversity* 6%, dengan perbedaan frekuensi sebesar 1.380 MHz dari frekuensi kerja *link*, didapatkan *availability* sebesar 99,99705%. Nilai *availability* mengalami peningkatan setelah optimasi menggunakan teknik *frequency diversity* dibandingkan dengan *availability* sebelum optimasi, sama halnya dengan penelitian sebelumnya [10]. Nilai *availability* setelah *frequency diversity* meningkat karena *unavailability* yang dihasilkan mengecil oleh adanya *improvement factor frequency diversity* (faktor perbaikan). Secara tidak langsung, *availability frequency diversity* dipengaruhi oleh selisih frekuensi yang digunakan dan peningkatan *effective fading margin*.

### C. Perhitungan Link Budget

Perhitungan *link budget* merupakan perhitungan secara manual yang menghitung semua parameter pemancar melalui suatu media ke penerima dalam sistem telekomunikasi. *Link budget* mempertimbangkan berbagai atenuasi akibat propagasi, begitu pula dengan *gain antenna*, *free space loss*, dan rugi-rugi lainnya. Analisis perhitungan *link budget* dilakukan agar perencanaan jaringan gelombang mikro antara *site* Mongal dan *site* Bintang dapat memenuhi kondisi sistem komunikasi yang bekerja secara optimal dalam melakukan komunikasi radio gelombang mikro [4]. Baik atau tidaknya hasil perancangan simulasi menggunakan Pathloss 5.0 dapat diketahui dengan cara membandingkannya dengan hasil perhitungan *link budget* sebagai tolok ukur perancangan jaringan gelombang mikro dari *site* Mongal ke *site* Bintang. Pada makalah ini, lokasi *site* real diperoleh berdasarkan data dari PT. Alita Praya Mitra. Hasil perhitungan *link budget* diperlihatkan pada Tabel XI dan akan dijelaskan satu per satu sebagai berikut.

TABEL XI  
DATA PERHITUNGAN LINK BUDGET

Parameter	Availability
Tanpa Optimasi	99,9600%
Space Diversity $70\lambda$	99,9611%
Space Diversity $135\lambda$	99,9898%
Space Diversity $200\lambda$	99,9957%
Frequency Diversity 460 MHz	99,9871%
Frequency Diversity 920 MHz	99,9936%
Frequency Diversity 1.380 MHz	99,9953%

1) *Perhitungan Link Budget Tanpa Optimasi*: Besarnya nilai *fading margin* adalah 29,03 dB, seperti yang diperlihatkan pada Tabel VII. Dengan lingkungan *site* Bintang dan *site* Mongal yang berupa danau, maka nilai *a* (kekasaran bumi) adalah 4, sedangkan nilai *b* (faktor iklim) adalah 0,25. Perhitungan *unavailability* mengacu pada (8) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} UnAvpath &= a \times b \times 2,5 \times f \times D^3 \times 10^{-6} \times 10^{\frac{-FM}{10}} \\ &= 4 \times 0,25 \times 2,5 \times 23 \times (17,72)^3 \times 10^{-6} \times 10^{-29,03/10} \\ &= 3,999990845 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai *unavailability*, dengan menggunakan (9), didapatkan nilai *availability* sebesar

$$\begin{aligned} Availability &= (1 - UnAvPath) \times 100\% \\ &= (1 - 3,999990845 \times 10^{-4}) \times 100\% \\ &= (0,999600) \times 100\% \\ &= 99,9600\% \end{aligned}$$

Nilai *availability* yang dihasilkan sebelum optimasi berdasarkan hasil perhitungan *link budget* adalah sebesar 99,9600%. Hasil simulasi dan hasil perhitungan *link budget* memiliki selisih sebesar 0,0046. Dengan selisih yang kecil, maka hasil perancangan simulasi menggunakan Pathloss 5.0 dapat dikatakan baik. Selisih dapat diakibatkan oleh faktor perhitungan yang biasanya melibatkan pembulatan angka.

2) *Perhitungan Link Budget Space Diversity  $70\lambda$* : Berdasarkan Tabel VIII, nilai faktor perbaikan *space diversity* berjarak  $70\lambda$  (0,9 m) adalah 1,03. Dengan nilai *unavailability* seperti pada perhitungan *link budget* tanpa optimasi, yaitu sebesar  $3,999990845 \times 10^{-4}$ , maka dengan mengacu pada (12), nilai *availability space diversity* berjarak  $70\lambda$  (0,9 m) adalah

$$\begin{aligned} AvailabilitySD &= (1 - UnAvpath/I_{SD}) \times 100\% \\ &= (1 - 3,999990845 \times 10^{-4}/1,03) \times 100\% \\ &= (0,999611) \times 100\% \\ &= 99,9611\% \end{aligned}$$

Diperoleh nilai *availability* saat menggunakan *space diversity* dengan jarak  $70\lambda$  (0,9 m) sebesar 99,9611%. Hasil simulasi dan hasil perhitungan *link budget* memiliki selisih sebesar 0,0184. Selisih dapat diakibatkan oleh faktor perhitungan yang biasanya menggunakan pembulatan angka. Hasil perancangan menggunakan Pathloss 5.0 mendekati teori perhitungan *link budget*, sehingga perancangan menggunakan Pathloss 5.0 sudah baik.

3) *Perhitungan Link Budget Space Diversity 135λ*: Pada Tabel VIII, nilai faktor perbaikan *space diversity* berjarak 135λ (1,7 m) adalah 3,94. Dengan nilai *unavailability* seperti pada perhitungan *link budget* tanpa optimasi, yaitu sebesar  $3,999990845 \times 10^{-4}$ , maka dengan mengacu pada (12), didapatkan nilai *availability* sebesar

$$\begin{aligned} \text{Availability}_{SD} &= (1 - \text{UnAvpath}/I_{SD}) \times 100\% \\ &= (1 - 3,999990845 \times 10^{-4}/3,94) \times 100\% \\ &= (0,999898) \times 100\% \\ &= 99,9898\% \end{aligned}$$

Didapatkan nilai *availability* saat menggunakan *space diversity* dengan jarak 135λ (1,7 m) sebesar 99,9898%. Ada selisih sebesar 0,0051 antara hasil simulasi dan hasil perhitungan *link budget*. Dengan selisih yang kecil, maka hasil perancangan simulasi menggunakan Pathloss 5.0 dapat dikatakan baik. Selisih dapat diakibatkan oleh faktor perhitungan yang biasanya menggunakan pembulatan angka.

4) *Perhitungan Link Budget Space Diversity 200λ*: Berdasarkan Tabel VIII, nilai faktor perbaikan *space diversity* berjarak 200λ (2,6 m) adalah 9,37. Dengan nilai *unavailability* seperti pada perhitungan *link budget* tanpa optimasi, yaitu sebesar  $3,999990845 \times 10^{-4}$ , maka dengan mengacu pada (12), nilai *availability space diversity* berjarak 200λ (2,6 m) adalah

$$\begin{aligned} \text{Availability}_{SD} &= (1 - \text{UnAvpath}/I_{SD}) \times 100\% \\ &= (1 - 3,999990845 \times 10^{-4}/9,37) \times 100\% \\ &= (0,999957) \times 100\% \\ &= 99,9957\% \end{aligned}$$

Diperoleh nilai *availability* saat menggunakan *space diversity* dengan jarak 200λ (2,6 m) sebesar 99,9953%, dengan selisih antara hasil simulasi dan hasil perhitungan *link budget* sebesar 0,0020. Selisih dapat diakibatkan oleh faktor perhitungan yang biasanya melibatkan pembulatan angka. Dengan hasil perancangan menggunakan Pathloss 5.0 yang mendekati teori perhitungan *link budget*, maka perancangan menggunakan Pathloss 5.0 ini dapat dikatakan sudah baik.

5) *Perhitungan Link Budget Frequency Diversity 460 MHz*: Pada Tabel IX, nilai faktor perbaikan *frequency diversity* 460 MHz adalah 3,12. Dengan nilai *availability* seperti pada perhitungan *link budget* tanpa optimasi, yaitu sebesar  $3,999990845 \times 10^{-4}$ , dan dengan mengacu pada (15), didapatkan nilai *availability* sebesar

$$\begin{aligned} \text{Availability}_{FD} &= (1 - \text{UnAvpath}/I_{FD}) \times 100\% \\ &= (1 - 3,999990845 \times 10^{-4}/3,12) \times 100\% \\ &= (0,999871) \times 100\% \\ &= 99,9871\% \end{aligned}$$

Didapatkan nilai *availability* saat menggunakan *frequency diversity* 460 MHz sebesar 99,9871%, sehingga selisih hasil simulasi dan hasil perhitungan *link budget* adalah sebesar 0,0014. Dengan selisih yang kecil, maka hasil perancangan simulasi menggunakan Pathloss 5.0 dapat dikatakan baik. Selisih dapat diakibatkan oleh faktor perhitungan yang biasanya menggunakan pembulatan angka.

6) *Perhitungan Link Budget Frequency Diversity 920 MHz*: Dengan nilai *availability* seperti pada perhitungan *link budget* tanpa optimasi, yaitu sebesar  $3,999990845 \times 10^{-4}$ , dan nilai faktor perbaikan *frequency diversity* 920 MHz adalah 6,25 pada Tabel IX, maka dengan mengacu pada (15), didapat nilai *availability* sebesar

$$\begin{aligned} \text{Availability}_{FD} &= (1 - \text{UnAvpath}/I_{FD}) \times 100\% \\ &= (1 - 3,999990845 \times 10^{-4}/6,25) \times 100\% \\ &= (0,999936) \times 100\% \\ &= 99,9936\% \end{aligned}$$

Diperoleh nilai *availability* saat menggunakan *frequency diversity* 920 MHz sebesar 99,9936%. Hasil simulasi dan hasil perhitungan *link budget* memiliki selisih sebesar 0,0008. Selisih dapat diakibatkan oleh faktor perhitungan yang biasanya melibatkan pembulatan angka. Dengan hasil perancangan menggunakan Pathloss 5.0 yang mendekati teori perhitungan *link budget*, perancangan menggunakan Pathloss 5.0 dapat dikatakan sudah baik.

7) *Perhitungan Link Budget Frequency Diversity 1.380MHz*: Pada Tabel IX, nilai faktor perbaikan *frequency diversity* 1.380 MHz adalah 8,61. Dengan nilai *availability* seperti pada perhitungan *link budget* tanpa optimasi, yaitu sebesar  $3,999990845 \times 10^{-4}$ , maka dengan mengacu pada (15), didapatkan nilai *availability* sebesar

$$\begin{aligned} \text{Availability}_{FD} &= (1 - \text{UnAvpath}/I_{FD}) \times 100\% \\ &= (1 - 3,999990845 \times 10^{-4}/8,61) \times 100\% \\ &= (0,999953) \times 100\% \\ &= 99,9953\% \end{aligned}$$

Diperoleh nilai *availability* saat menggunakan *frequency diversity* 1.380 MHz sebesar 99,9953%. Terdapat selisih sebesar 0,0001 antara hasil simulasi dan hasil perhitungan *link budget*. Dengan hasil perancangan menggunakan Pathloss 5.0 mendekati perhitungan *link budget*, maka perancangan menggunakan Pathloss 5.0 sudah baik. Selisih dapat diakibatkan oleh faktor perhitungan yang biasanya menggunakan pembulatan angka.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil *availability* menggunakan Pathloss 5.0 dengan teknik *space diversity* dan *frequency diversity* mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Dengan hasil perancangan menggunakan Pathloss 5.0 mendekati perhitungan *link budget*, maka perancangan menggunakan Pathloss 5.0 sudah dapat dikatakan baik. Berdasarkan standar ITU-R G.827 dan F.1703 tentang komunikasi jaringan *backhaul* gelombang mikro pada kriteria *short haul*, harus diperoleh nilai *availability* sebesar 99,9800%–99,9966%. Maka, dapat disimpulkan nilai dari perancangan *link site* Mongal dengan *site* Bintang dengan menggunakan teknik *space diversity* dan *frequency diversity* tersebut telah memenuhi standar kualitas *availability* yang ditentukan oleh ITU-R G.827 dan F.1703, dengan nilai *availability* paling baik mencapai 99,9977% menggunakan teknik *space diversity* dengan jarak maksimum 200λ yaitu 2,6 meter.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada keluarga yang selalu mendukung dalam segala hal. Ucapan terima kasih juga untuk dosen pembimbing yang telah membimbing selama penulisan penelitian ini dan PT. Alita Mitra Praya yang telah memberi data lokasi *site* real sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Serta kepada segala pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

## REFERENSI

- [1] A. Hikmaturokhman, *Diktat Kuliah Gelombang Mikro*, Purwokerto, Indonesia: Akatel Sandhy Putra, 2007.
- [2] S. Purbawanto, "Pengaruh Fading pada Sistem Komunikasi Gelombang Mikro Tetap dan Bergerak," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 3 No. 1, hal. 33-39, 2011.
- [3] A.C. Eska, "Komunikasi Bergerak Frekuensi 2.3 GHz Melewati Pepohonan Menggunakan Metode Giovanelli Knife Edge," *Jurnal Infotel*, Vol. 8 No. 1, hal. 94-99, 2016.
- [4] A. Hikmaturokhman dan A. Wahyudin, *Perancangan Jaringan Gelombang Mikro Menggunakan Pathloss 5: Teori dan Simulasi*, Yogyakarta, Indonesia: Pustaka Ilmu, 2018.
- [5] D.B. Liu, E. Wahyudi, dan E.S. Nugraha, "Pengaruh Space Diversity terhadap Peningkatan Availability pada Jaringan Microwave Lintas Laut dan Lintas Pegunungan," *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*, Vol. 4 No. 2, hal. 541-550, 2017.
- [6] S. Pramono, "Analisa Perencanaan Power Link Budget untuk Radio Microwave Point to Point Frekuensi 7 GHz (Studi Kasus : Semarang)," *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, Vol. 3 No. 1, hal. 27-31, 2014.
- [7] Faqih, "Desain Ketinggian Antena dan Link Budget Sistem Komunikasi LOS Radio Microwave dalam Konfigurasi Non-Diversity," *Widya Teknika*, Vol. 18 No. 1, hal. 29-33, 2010.
- [8] Faqih, "Konfigurasi Space Diversity Pada Perencanaan Link Microwave Siwa – Sulaho," *Widya Teknika*, Vol. 18 No. 2, hal. 29-33, 2010.
- [9] Z.H. Pradana dan A. Wahyudin, "Analisis Optimasi Space Diversity Pada Link Microwave Menggunakan Itu Models," *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*, Vol. 4 No. 2, hal. 586-592, 2017.
- [10] Y. Rahmawati dan A. Wahyudin, "Perancangan Jaringan Backhaul Sistem Transmisi Gelombang Mikro Digital Menggunakan Frequency Diversity di Wilayah Kepulauan Riau," *Techno*, Vol. 19, pp. 63-70, 2018.
- [11] R. Freeman, *Telecommunication System Engineering Fourth Edition*, New York, USA: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [12] W. Stallings, "Transmission Media," dalam *Data and Computer Communications*, 7th ed., New York, USA: Pearson Higher Ed., 2013.
- [13] I. Sinclair, *Electronic and Electrical Servicing*, 2nd ed. Burlington, USA: Elsevier Ltd., 2007.