

PERANCANGAN JALUR KOMUNIKASI MICROWAVE POINT TO POINT ANTARA STASIUN BUMI PENGINDERAAN JAUH RUMPIN DENGAN PUSTEKDATA LAPAN PEKAYON

(DESIGN OF MICROWAVE COMMUNICATION POINT TO POINT BETWEEN RUMPIN
GROUND STATION AND PUSTEKDATA LAPAN PEKAYON)

B. Pratiknyo Adi Mahatmanto
Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN
Pos El : beni.pratiknyo@gmail.com , pratiknyo.adi@LAPAN.go.id

Abstrak

Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin yang berlokasi di Kabupaten Bogor berfungsi sebagai Stasiun Bumi penerima data dari satelit penginderaan jauh dan Pustekdata LAPAN Pekayon Jakarta Timur sebagai lokasi server pengolahan data citra satelit penginderaan jauh. Kedua site tersebut sebagai satu kesatuan dari proses akuisisi dan pengolahan data citra satelit penginderaan jauh milik LAPAN. Untuk dapat mengirimkan data dari Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin ke Pustekdata LAPAN Pekayon diperlukan jalur komunikasi pengiriman data yang handal sehingga data yang diterima dapat diperoleh secara cepat dan tepat. Perancangan jalur komunikasi data antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon menggunakan radio microwave, kondisi jalur komunikasi yang sudah ada menggunakan jaringan serat optik milik penyedia jasa layanan telekomunikasi. Dimana kondisi jalur komunikasi melalui media serat optik antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon sering terganggu, gangguan tersebut disebabkan oleh putusnya kabel serat optik pada jalur backbone milik penyedia jasa layanan telekomunikasi. Dengan terganggunya jalur komunikasi antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon mengakibatkan terganggunya proses pengiriman data dan pengolahan data citra satelit. Dengan pembuatan desain perancangan jalur komunikasi radio microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon diharapkan jika desain ini diimplementasikan dapat meningkatkan kemampuan proses pengiriman data dan menjaga kerahasiaan data.

Kata Kunci : radio microwave, serat optik, Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin, Kantor Pustekdata LAPAN.

Abstract

Rumpin Ground Station located in Bogor, it has a function to receive remote sensing data from satellites and Pustekdata LAPAN located in East Jakarta where the remote sensing data processing server is located. Both of the site as an integral part of the process of acquisition and processing of remote sensing data belonging to LAPAN. Rumpin Ground Station send the remote sensing data to Pustekdata LAPAN through the communication link. The design of data communication link between Rumpin Ground Station with Pustekdata LAPAN use microwave radio, now the existing communication link use fiber optic network. The condition of the communication link through optical fiber network between Rumpin Ground Station with Pustekdata LAPAN often down because the fiber optic cable on backbone link is broken. This broken communication link make the process of data transmission and remote sensing data processing is interrupted. The design of microwave radio communication link between the Rumpin Ground Station with Pustekdata LAPAN is a problem solving of this situation and if this design is implemented in this communication link can improve the quality of delivery data and keep the safety of data.

Keywords : microwave radio, fiber optic, Rumpin Ground Station, Pustekdata LAPAN Office.

1. PENDAHULUAN

Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin yang memiliki tugas operasional sebagai Stasiun Bumi penerima data dari satelit penginderaan jauh untuk selanjutnya diolah oleh server pengolahan data penginderaan jauh yang berlokasi di Pustekdata LAPAN Pekayon Jakarta Timur [2]. Untuk dapat mengirimkan data dari Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin ke Pustekdata LAPAN Pekayon diperlukan jalur komunikasi pengiriman data yang handal sehingga data yang diterima dapat diperoleh secara cepat dan tepat.

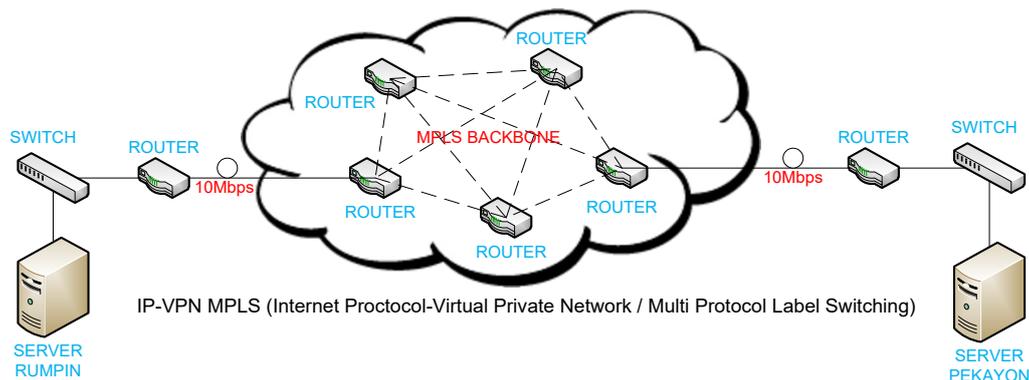
Latar belakang dari penulisan karya tulis ini adalah untuk merencanakan pembuatan jalur komunikasi data antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon dengan menggunakan media radio microwave. Kondisi *existing* jalur komunikasi yang sudah ada menggunakan jaringan serat optik milik salah satu penyedia jasa layanan telekomunikasi. Dimana

kondisi jalur komunikasi melalui jaringan serat optik antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon sering terganggu dengan sering putusnya kabel serat optik pada jalur *backbone* milik penyedia jasa layanan telekomunikasi. Dengan terganggunya jalur komunikasi data antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon mengakibatkan terganggunya pengiriman data dan pengolahan data citra satelit. Dengan pembuatan desain perencanaan jalur komunikasi radio microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon diharapkan jika desain ini diimplementasikan dapat meningkatkan kemampuan proses pengiriman data dan kerahasiaan data.

2. DASAR TEORI

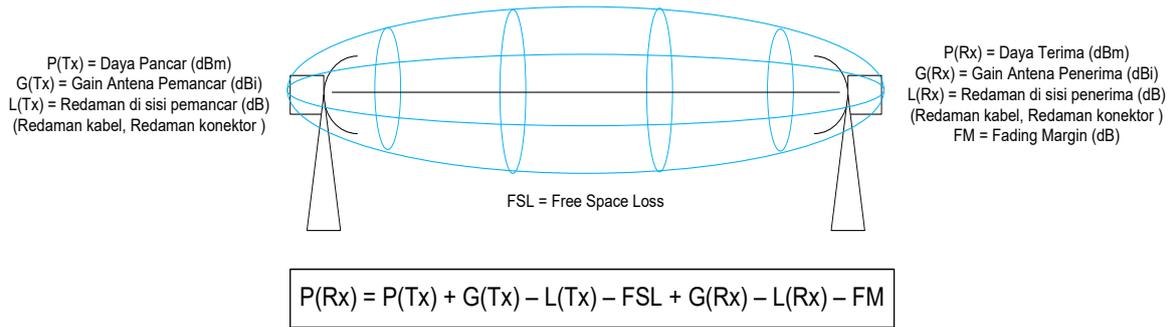
Untuk dapat mengirimkan data dari Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin ke Pustekdata LAPAN Pekayon diperlukan jalur komunikasi data. Jalur komunikasi *existing* yang sudah ada menggunakan media serat optik yang menggunakan teknologi *Virtual Private Network (VPN)*. *Internet Protocol-Virtual Private Network (IP-VPN)* merupakan layanan komunikasi data yang sifatnya *shared network* yang berbasis teknologi IP yang dilengkapi oleh teknologi *Multi Protocol Label Switching (MPLS)* yang membentuk suatu *Wide Area Network (WAN)* [4].

Multi Protocol Label Switching merupakan teknologi pengiriman paket pada jaringan *backbone*. Prinsip kerja *Multi Protocol Label Switching* yaitu menggabungkan kecepatan *switching* pada layer 2 (*Data Link Layer*) dengan kemampuan *routing* dan skalabilitas pada layer 3 (*Network Layer*) dengan menyelipkan label di antara *header layer 2* dan layer 3 pada paket [3]. Label tersebut dihasilkan oleh *Label Switching Router* yang bertindak sebagai penghubung jaringan MPLS dengan jaringan luar, label tersebut berisi informasi tujuan node selanjutnya. Paket-paket tersebut diteruskan berdasarkan path yang sudah ada berdasarkan *Label Switching Path*.



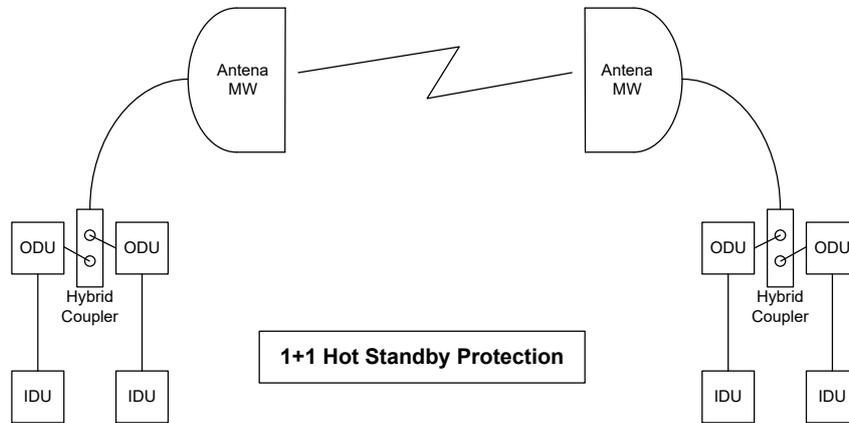
Gambar 2-1 Konfigurasi Jaringan *Existing* Serat Optik [3]

Radio Link Budget Analysis merupakan analisa perhitungan daya pada jalur komunikasi radio yang meliputi *loss* dan *gain* dari pemancar, media komunikasi dan penerima sehingga sesuai dengan kriteria yang baik dalam perencanaan jalur komunikasi [9]. Kriteria yang baik dalam perencanaan jalur komunikasi radio pada sisi pemancar (TX) meliputi daya pancar, *gain* antenna pemancar dan redaman yang diakibatkan oleh *loss* kabel dan konektor dan pada sisi penerima (RX) yaitu daya terima, *gain* antenna penerima, redaman yang diakibatkan oleh *loss* kabel dan konektor. Pada medium ruang bebas yang digunakan ada kriteria *Free Space Loss (FSL)* yang merupakan *loss* yang dihasilkan dari degradasi daya pada sinyal yang diakibatkan oleh perjalanan sinyal dari pemancar ke penerima. Selisih antara batas sensitivitas penerima dengan level daya terima dinamakan *Fading Margin*, dimana kegunaan dari *Fading Margin* ini adalah sebagai perlindungan jalur komunikasi radio terhadap degradasi daya sinyal dari pengaruh redaman hujan [10].



Gambar 2-2 Perhitungan Radio Link Budget [10]

Rencana desain konfigurasi jaringan radio microwave yang akan digunakan pada jalur komunikasi data antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon menggunakan konfigurasi 1+1 *Hot Standby Protection* (HSB) [12]. Dengan menggunakan dua buah paket sistem *main* dan *standby* sehingga jika *main system down* dapat langsung digantikan oleh *standby system* sehingga proses pengiriman data tidak terganggu. Hal ini berimbas kepada meningkatnya kehandalan pengiriman data dan ketersediaan data penginderaan jauh.



Gambar 2-3 Rencana Konfigurasi Jaringan Microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon

3. TINJAUAN LOKASI DAN FREKUENSI YANG DIGUNAKAN

Pada desain perencanaan jalur komunikasi radio microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin yang berlokasi di Kabupaten Bogor dengan Kantor Pustekdata LAPAN Pekayon yang berlokasi di Jakarta Timur rencananya akan menggunakan struktur bangunan tower telekomunikasi yang baru yang belum ada di kedua lokasi, dimana tower tersebut rencananya sebagai tempat untuk pemasangan perangkat antena dan radio microwave.

Rencana koordinat lokasi tower dari Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin yaitu 6°22'21,6" Lintang Selatan dan 106°37'53,33" Bujur Timur dan rencana koordinat lokasi tower di Pustekdata LAPAN Pekayon adalah 6°20'36,1" Lintang Selatan dan 106°51'33,02" Bujur Timur [1]. Berikut merupakan gambaran *path profile* dari jalur komunikasi radio microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon.



Gambar 3-1 Path Profile Jalur Komunikasi Radio Microwave (Google Earth)

Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin melakukan kegiatan akuisisi satelit penginderaan jauh dengan menggunakan sistem antena yang beroperasi pada frekuensi X Band, berdasarkan IEEE kanal frekuensi X Band dimulai dari 8 GHz sampai 12 GHz. Dan untuk perencanaan jalur komunikasi microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon rencananya akan menggunakan kanal frekuensi 13 GHz.

Berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 2014 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia menyatakan bahwa :

Tabel 3-1 Alokasi Spektrum Frekuensi Radio [7]

Frekuensi Radio	Alokasi untuk Indonesia	Pengertian
12,75–13,25 GHz	Tetap	Dinas Tetap (<i>fixed service</i>) : Dinas radio komunikasi antara titik-titik tetap yang telah ditentukan.
	Satelit Tetap (Bumi ke Angkasa)	Dinas Satelit Tetap (<i>fixed-satellite service</i>) : Dinas radio komunikasi antara stasiun-stasiun bumi pada tempat yang telah ditentukan, pada saat satu atau beberapa satelit digunakan; dalam beberapa kasus, dinas ini mencakup hubungan satelit-ke satelit, yang dapat juga dioperasikan pada dinas antar satelit (<i>inter-satellite service</i>); dinas satelit tetap dapat juga mencakup taut pengumpan (<i>feeder links</i>) untuk dinas radio komunikasi ruang angkasa lainnya.
	Bergerak	Dinas Bergerak (<i>mobile service</i>): Dinas radio komunikasi antara stasiun bergerak dan stasiun darat, atau antara stasiun-stasiun bergerak.
	Penelitian Ruang Angkasa (Angkasa Luas) (Angkasa ke Bumi)	Dinas Penelitian Ruang Angkasa (<i>space research service</i>) : Dinas radio komunikasi yang pesawat ruang angkasanya atau benda lainnya di ruang angkasa digunakan untuk keperluan penelitian ilmiah atau yang berkenaan dengan teknologi.

Berdasarkan dokumen yang dikeluarkan oleh *International Telecommunication Union* yang merupakan badan khusus yang menangani bidang telekomunikasi atau teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang termasuk di dalamnya urusan komunikasi radio, berikut merupakan daftar dari kanal frekuensi yang dapat digunakan pada frekuensi 13 GHz.

Tabel 3-2 Daftar Frekuensi 13 GHz yang dikeluarkan oleh ITU-T [8]

Daftar Frekuensi High (MHz)		Daftar Frekuensi Low (MHz)		Daftar Frekuensi High (MHz)		Daftar Frekuensi Low (MHz)	
1 High	13020.5	1 Low	12754.5	17 High	13132.5	17 Low	12866.5
2 High	13027.5	2 Low	12761.5	18 High	13139.5	18 Low	12873.5

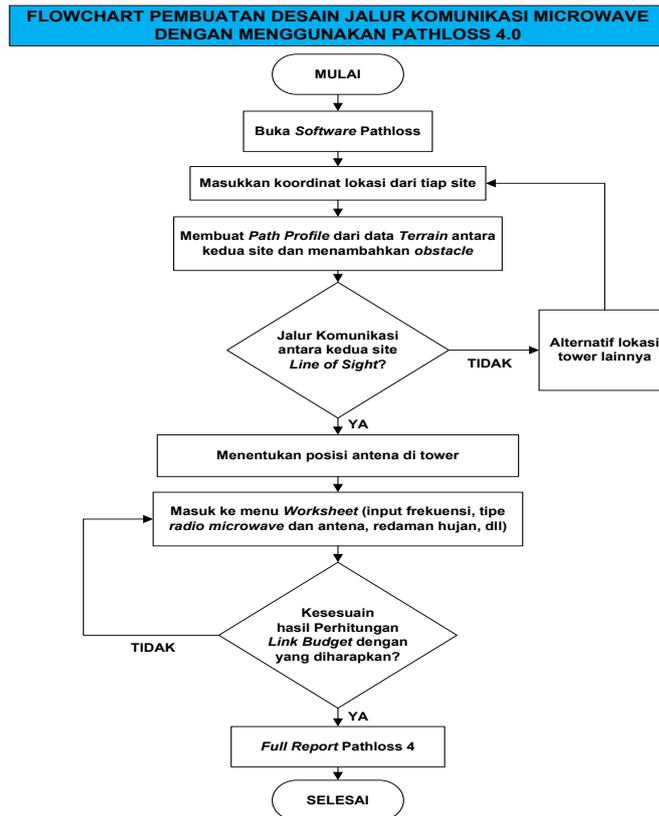
3 High	13034.5	3 Low	12768.5	19 High	13146.5	19 Low	12880.5
4 High	13041.5	4 Low	12775.5	20 High	13153.5	20 Low	12887.5
5 High	13048.5	5 Low	12782.5	21 High	13160.5	21 Low	12894.5
6 High	13055.5	6 Low	12789.5	22 High	13167.5	22 Low	12901.5
7 High	13062.5	7 Low	12796.5	23 High	13174.5	23 Low	12908.5
8 High	13069.5	8 Low	12803.5	24 High	13181.5	24 Low	12915.5
9 High	13076.5	9 Low	12810.5	25 High	13188.5	25 Low	12922.5
10 High	13083.5	10 Low	12817.5	26 High	13195.5	26 Low	12929.5
11 High	13090.5	11 Low	12824.5	27 High	13202.5	27 Low	12936.5
12 High	13097.5	12 Low	12831.5	28 High	13209.5	28 Low	12943.5
13 High	13104.5	13 Low	12838.5	29 High	13216.5	29 Low	12950.5
14 High	13111.5	14 Low	12845.5	30 High	13223.5	30 Low	12957.5
15 High	13118.5	15 Low	12852.5	31 High	13230.5	31 Low	12964.5
16 High	13125.5	16 Low	12859.5	32 High	13237.5	32 Low	12971.5

4. DESAIN JALUR KOMUNIKASI MENGGUNAKAN SOFTWARE PATHLOSS

Desain perencanaan jalur komunikasi radio microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon menggunakan software Pathloss 4. Desain perencanaan jalur komunikasi radio microwave dilakukan dengan menggunakan komputer desktop HP Pavilion 23 dengan spesifikasi Processor Intel(R) Core(TM) i5-3470S CPU 2.90GHz, Memory (RAM) 4 GB, Graphics NVIDIA GeForce 710A dan Operating System 64-bit Windows 8.

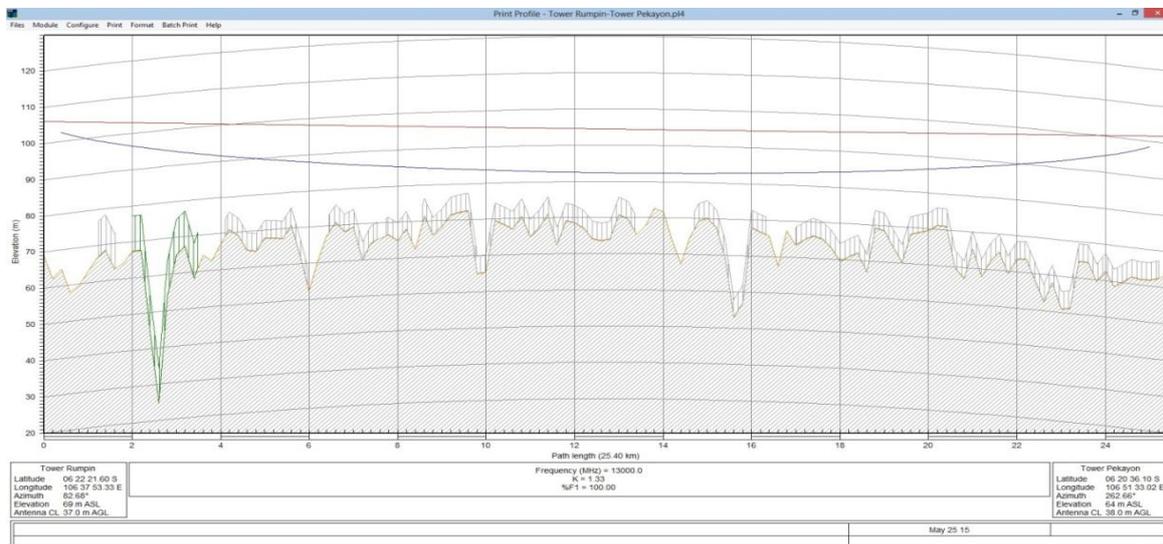
Software Pathloss 4 merupakan sebuah software desain *microwave radio link* yang dapat beroperasi pada rentang frekuensi 30 MHz sampai 100 GHz [11]. Untuk membuat desain jalur komunikasi radio microwave dengan menggunakan software ini dimulai dengan memasukkan koordinat lokasi masing-masing *site*, kemudian akan terbentuk *path profile* yang menunjukkan *terrain* data antara kedua *site* yang diambil dari peta Digital Elevation Model SRTM [5]. Dari tampilan *path profile* antara kedua *site* tersebut akan diketahui kondisi *link* sudah bebas dari *obstacle* (*Line of Sight*) atau belum. Jika kondisi antara kedua *site* sudah bebas (*Line of Sight*) maka dapat ditentukan posisi ketinggian pemasangan antena pada tower. Setelah itu dilanjutkan pada menu *worksheet* untuk melakukan *input* rencana frekuensi yang akan digunakan, pemilihan radio microwave dan antena yang akan digunakan termasuk dengan meng-*input* redaman hujan dan *loss* kabel dan konektor [6]. Setelah semua proses dilakukan maka akan dihasilkan *full report* yang berisi rincian perhitungan *link budget*, jika sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan maka dapat diimplementasikan dengan pemasangan perangkat pada lokasi yang sudah direncanakan.

Berikut merupakan flowchart pembuatan desain jalur komunikasi radio microwave dengan menggunakan software pathloss 4.



Gambar 4-1 Flowchart Pembuatan Desain Jalur Komunikasi Microwave dengan menggunakan Software Pathloss

Berikut merupakan tampilan *path profile* antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon, terrain data menggunakan peta Digital Elevation Model SRTM.



Gambar 4-2 Path profile antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon

Pada desain perencanaan jalur komunikasi radio microwave yang berjarak 25,4 km antara kedua *site*, Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin rencananya akan menggunakan frekuensi *transmit* pada 13.034,5 MHz dan Pustekdata LAPAN Pekayon rencananya akan menggunakan frekuensi *transmit* pada 12.768,5 MHz. Posisi pemasangan antena di tower untuk Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin rencananya pada ketinggian 37 meter dan Pustekdata LAPAN Pekayon rencananya pada ketinggian 38 meter.

Tower Rumpin		Tower Pekayon	
Site Name	Tower Rumpin	Tower Pekayon	
Call Sign	001	002	Operator code
Station Code	RPI	PKY	LAPAN
State	IDN	IDN	Radio model
Owner Code	LAPAN	LAPAN	NP-13-16E1
Latitude	06 22 21.60 S	06 20 36.10 S	Code
Longitude	106 37 53.33 E	106 51 33.02 E	NP-13-16E1
True azimuth (°)	82.68	262.66	Emission designator
Calculated Distance (km)	25.40		13G0G7D
Profile Distance (km)	25.40		Traffic code
Datum	WGS 1984		17E1-4PSK
Elevation (m)	69.11	63.97	TX power (dBm)
Tower Height (m)	42.00	42.00	25.00
TR Antenna Height (m)	37.00	38.00	Frequency (MHz)
Code	7051A	7051A	13000.00
TX loss (dB)	3.55	3.55	Polarization
RX loss (dB)	3.55	3.55	Vertical
			Free space loss (dB)
			142.84
			EIRP (dBm)
			66.65
			RX signal (dBm)
			-35.06
			Radio configuration
			1+1 Configuration
			TX Ch - 1 TX Ch - 2
			13034.5000-V 12768.5000-V

Gambar 4-3 Summary Report Pathloss 4.0

Setelah semua proses dilakukan maka akan dihasilkan *full report* yang berisi rincian perhitungan *link budget* antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon. Rencana desain yang dihasilkan menggunakan antenna microwave dengan diameter 1,8 meter dengan polarisasi *linear vertical* pada kedua *site* dan rencananya data yang dapat dikirimkan sebesar 16-E1 (32 Mbps).

	Tower Rumpin	Tower Pekayon
Elevation (m)	69.11	63.97
Latitude	06 22 21.60 S	06 20 36.10 S
Longitude	106 37 53.33 E	106 51 33.02 E
True azimuth (°)	82.68	262.66
Vertical angle (°)	-0.10	-0.08
Antenna model	VHLP6-13	VHLP6-13
Antenna height (m)	37.00	38.00
Antenna gain (dBi)	45.20	45.20
TX line type	EWP127A	EWP127A
TX line length (m)	0.20	0.20
TX line unit loss (dB /100 m)	11.45	11.45
TX line loss (dB)	0.02	0.02
Connector loss (dB)	0.03	0.03
Circ. branching loss (dB)	3.50	3.50
Frequency (MHz)	13000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	25.40	
Free space loss (dB)	142.84	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.52	
Net path loss (dB)	60.06	60.06
Radio model	NP-13-16E1	NP-13-16E1
TX power (watts)	0.32	0.32
TX power (dBm)	25.00	25.00
EIRP (dBm)	66.65	66.65
Emission designator	13G0G7D	13G0G7D
TX Channels	001 13034.5000V	002 12768.5000V
RX threshold criteria	BER 10 ⁻⁶	BER 10 ⁻⁶
RX threshold level (dBm)	-81.00	-81.00
RX signal (dBm)	-35.06	-35.06
Thermal fade margin (dB)	45.94	45.94
Geoclimatic factor	5.59E-06	
Path inclination (mr)	0.16	
Fade occurrence factor (Po)	5.06E-02	
Average annual temperature (°C)	30.00	
Worst month - multipath (%)	99.99946	99.99946
(sec)	14.07	14.07
Annual - multipath (%)	99.99980	99.99980
(sec)	63.30	63.30
(% - sec)	99.99960 - 126.61	
Rain region	ITU Region P	
0.01% rain rate (mm/hr)	145.00	
Flat fade margin - rain (dB)	45.94	
Rain rate (mm/hr)	150.86	
Rain attenuation (dB)	45.94	
Annual rain (%-sec)	99.99120 - 2774.23	
Annual multipath + rain (%-sec)	99.99080 - 2900.84	
Mon, May 25 2015 Tower Rumpin-Tower Pekayon.p4 Reliability Method - ITU-R P.530-7/8 Rain - ITU-R P.530-8		

Gambar 4-4 Full Report Desain Jalur Komunikasi Radio Microwave dengan Software Pathloss 4.0

5. KESIMPULAN

Desain perencanaan jalur komunikasi radio microwave antara Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon yang berjarak 25,4 km menggunakan software Pathloss 4. Hasil yang didapat adalah posisi penempatan antenna 1,8 meter pada kedua tower untuk Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin rencananya pada ketinggian 37 meter dan Pustekdata LAPAN Pekayon rencananya pada ketinggian 38 meter dan mampu mengirimkan data hingga 16-E1 (32 Mbps). Diharapkan dengan pembuatan desain jalur komunikasi radio microwave antara Stasiun Bumi

Penginderaan Jauh Rumpin dengan Pustekdata LAPAN Pekayon sebagai alternatif dari pengiriman data antar kedua *site* selain menggunakan media serat optik, dan jika desain ini diimplementasikan diharapkan dapat meningkatkan kemampuan proses pengiriman data dan dapat meningkatkan kerahasiaan data penginderaan jauh.

Saran dalam pembuatan sistem grounding pada tower perlu diperhatikan pemisahan antara grounding perangkat dengan grounding tower atau bangunan, perlunya pemasangan penangkal petir di kedua lokasi. Perlu dilakukan *scan* frekuensi pada *range* 13 GHz di kedua lokasi untuk meminimalisir adanya interferensi pada frekuensi yang akan digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Bidang Teknologi Akuisisi dan Stasiun Bumi (Teksista) LAPAN serta pihak-pihak terkait yang turut dalam kegiatan penelitian ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Mahatmanto, B.P.A, Nasution, A.S, Sirin, D.N.S, Setyasaputra, N., 2015, *Analisis Perbandingan Hasil Akuisisi Landsat 8 Pada Daerah Irisan Antara Stasiun Bumi Parepare dan Stasiun Bumi Rumpin pada Tahun 2014*, Jakarta : PIT Mapin 2015.
- 2) Mahatmanto, B.P.A, 2015, *Akuisisi dan Pengolahan Data Landsat 8 oleh Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Rumpin dengan Puncak Sudut Elevasi Kurang dari 10 Derajat*, Jakarta : Seminar Nasional Gamatech 2015.
- 3) Cheung Yinglam, *Multi-Protocol Label Switching (MPLS) : Using MPLS to Build an Application-Centric Network*, Schlumberger, 2003.
- 4) Internet Protocol - Virtual Private Network (IP-VPN) , Icon Plus, <http://www.iconpln.net.id/id/produk/detail/10/ip-vpn>, 2013.
- 5) Shuttle Radar Topography Mission, *National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the National Geospatial - Intelligence Agency (NGA)*, http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM30/, 2000.
- 6) Anwar, A., Santoso, I., Zahra, A.A., *Perancangan Jalur Gelombang Mikro 13 GHz Titik ke Titik Area Prawoto – Undaan Kudus*, Semarang, 2008.
- 7) Kemenkominfo, *Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 2014 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia*, Jakarta, 2014.
- 8) International Telecommunication Union, *Radio-Frequency Channel Arrangements For Radio-Relay Systems Operating in The 13 Ghz Frequency Band*, Geneva Swiss, 1999.
- 9) SAF Tehnika, *Microwave Radio Link Design*, http://www.fortech.lt/old/docs/SAF_CFM_serijos/Link_design.Guide.pdf, 2002.
- 10) Manning, T., 2009, *Microwave Radio Transmission Design Guide*, Boston: Artech House 2009
- 11) Pathloss 4.0 Products, *Contract Telecommunication Engineering*, <http://www.pathloss.com/index.php#!p4prod>, 2015.
- 12) Manjunath, R.K., Raju, K.N., Prasad, S., Shankar,P., 2014, *Design of Short Haul High Capacity Intra City Microwave Acces Link for Transport of Cellular Traffic*, Hyderabad India : Sryahwa Publication 2014.