

**ANALISIS REDAMANTERHADAP PERFORMANCEDENSE WAVELENGTH
DIVISION MULTIPLEXING (DWDM) PADA SISTEM KOMUNIKASI
SERAT OPTIK DENGAN METODE *LINK POWER BUDGET*
DI PT. TELKOM PADANG (STUDI KASUS *LINK*
PADANG – LUBUK BASUNG)**

Farta Wendy Herdianta¹, Hanesman², Delsina Faiza²
Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
Email: Fartawendy@gmail.com

Abstract

The research was conducted by analyzing the optical fiber attenuation of the DWDM performance in terms of power received on optical fiber communication systems link Padang-Lubuk cone in PT. Telkom Padang. Optical fiber has a very small damping. Therefore optical fibers become the primary choice in telecommunications networks. To improve the transmission quality is better than the use of DWDM technology, DWDM technology is a method to insert a number of channels were transmitted in a single optical fiber. Instruments in this study is the Power Meter and OTDR JDSU MTS-2000 type, the type of cable used G.655 Single Mode type. Link Power Budget method is used to determine the performance of DWDM caused by attenuation based on the value of the received power output receiver. On the link Padang - Lubuk cone highest attenuation occurs in core 1 of 29.742dB with 100.035 km cable lengths, and the core 10 of 31.8 dB with 119.998 km cable lengths. Based on the large fault or attenuation/km core 1 of 0.297 dB/km, the core 10 of 0.265 dB/km and the standard ITU-T was 0.35 dB/km. Value attenuation/km core 1 and core 10 is still in normal conditions and under standard ITU-T 0.35 dB/km. Based on optical fiber attenuation, the results of analysis of the link power budget is the value of Rx is smaller than the value of Rx sensitivity of -27 dBm, it can be said performance DWDM optical fiber communication systems in normal and can be used to operate because the power output can still be accepted by receiver in the device.

Keywords: optical fiber cable, optical fiber attenuation, DWDM, link power budget.

A. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat cepat. Berbagai macam fasilitas teknologi telekomunikasi terus dikembangkan agar pengguna dapat melakukan komunikasi secara praktis dan cepat. Semakin beragamnya layanan informasi, maka tuntutan jaringan yang memadai dan persaingan antar pemberi layanan telekomunikasi semakin ketat. Hal ini berakibat meningkatnya tuntutan sistem transmisi yang memiliki kapasitas *bandwidth* yang besar dan kualitas tinggi. Kebutuhan *bandwidth* yang besar telah diupayakan dengan

meningkatkan kualitas media transmisi yang digunakan

Teknologi media transmisi data yang digunakan dalam membangun suatu sistem jaringan komunikasi dan masih terus dalam tahap pengembangan adalah teknologi serat optik. Teknologi serat optik terus dikembangkan agar dapat meningkatkan kinerja sistem jaringan komunikasi. Sebelum menggunakan serat optik sebagai media transmisi, perusahaan-perusahaan yang bergerak dibidang telekomunikasi menggunakan kabel tembaga sebagai media transmisinya. Peralihan ini didasari pada keunggulan serat optik jika dibandingkan kabel tembaga. Serat

optik merupakan salah satu media transmisi yang mampu menyalurkan data dengan kecepatan cahaya dan kapasitas besar dengan kehandalan tinggi. Serat optik digunakan sebagai

media transmisi pilihan, karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain memiliki *bandwidth* yang besar, redaman transmisi kecil, ukuran kecil, dan tidak terpengaruh oleh gelombang elektromagnetik.

Transmisi data menggunakan serat optik membutuhkan daya untuk mengirimkan data atau informasi ke penerima. Data – data yang ditransmisikan dapat berupa data suara maupun *video*. Data atau informasi dikirim dalam bentuk gelombang *pulse* dan dalam satu serat optik tunggal dikirim banyak panjang gelombang yang telah dikonversi dalam bentuk cahaya putih dengan daya pengiriman yang cukup besar. Transmisi data dari pemancar ke penerima dalam jarak yang cukup jauh selalu mengalami penurunan daya atau kehilangan daya (*loss*), hilangnya daya dapat disebut *attenuation* (redaman) yang disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya redaman kabel, redaman *splice*, redaman konektor, *bending* (pembengkokan), pemantulan cahaya, penyerapan, hamburan dan pantulan Fresnel.

Nilai redaman yang melebihi standar dapat mengganggu proses transmisi data, bahkan menyebabkan *delay* dan hilangnya informasi yang dikirim yang diakibatkan oleh rugi-rugi yang terjadi di sepanjang kabel serat optik. *Delay* data atau hilangnya informasi juga dikarenakan dispersi (tumpang tindih pulsa gelombang) dan banyaknya *bit* – *bit* yang rusak (*bit error*).

PT. Telkom sebagai operator penyedia layanan informasi memiliki berbagai jenis layanan telekomunikasi yaitu layanan *broadband*, seluler, telepon dan layanan lainnya. Berdasarkan pembukuan PT. Telkom Padang tahun 2013, “Jumlah pengguna layanan PT. Telkom berasal dari layanan *broadband* (*internet speedy, flash* dan *blackberry*) dengan jumlah 53.000 pengguna dan untuk layanan umum seperti seluler dan telepon tetap dengan jumlah 147.000 pengguna”. Layanan telekomunikasi PT. Telkom menggunakan serat optik sebagai media transmisinya seperti layanan telepon dan layanan *broadbandspeedy*. Kinerja layanan telekomunikasi yang menggunakan serat optik sebagai media transmisi dipengaruhi oleh faktor-faktor *loss* atau kehilangan daya, Tabel 1 menunjukkan kinerja layanan yang menggunakan sistem komunikasi serat optik PT. Telkom dalam segi layanan telepon.

Tabel 1. Kinerja Layanan Jasa Telepon PT. Telkom

No	Kinerja jaringan	Parameter	Persentase
1.	Standar Panggilan Yang Tidak Berhasil Dalam Jaringan	Persentase panggilan yang tidak berhasil dalam jaringan	0.08%
2.	Standar <i>Network Post Dialing Delay</i>	Persentase <i>Network Post Dialing Delays</i>	97.5%
3	Standar <i>Endpoint Service Availability</i>	- Persentase Jumlah panggilan yang tidak mengalami <i>dropped call</i> dan <i>blocked call</i>	99.48%
		- Persentase <i>dropped call</i>	0.19%
4	Standar Kinerja layanan Pesan Singkat	Persentase jumlah pesan singkat yang berhasil dikirim dengan interval waktu antara pengiriman dan penerimaannya tidak lebih dari 3 menit	99.09%

Berdasarkan Tabel 1, jaringan komunikasi yang menggunakan media transmisi serat optik masih belum maksimal, karena masih terdapat beberapa kesalahan dalam jaringan, seperti *Persentase Network Post Dialing Delay* dalam jaringan sebesar 97.5%, ini artinya masih terdapat 2.5% kesalahan yang terjadi dalam jaringan berupa *delay* saat melakukan panggilan.

Segi nilai redaman serat optik, total redaman serat optik sangat mempengaruhi besarnya daya yang diperlukan untuk mengimbangi daya yang dikirim ke penerima, apabila daya yang diterima tidak mencukupi untuk sampai ke penerima, maka dari sisi pengirim atau pemancar daya diperbesar. Besarnya nilai redaman berdampak pada data atau informasi yang dikirim. Tabel 2 menunjukkan kondisi dan besarnya redaman yang menggunakan serat optik pada PT. Telkom *link* Padang – Lubuk Basung.

Tabel 2. Kondisi dan Total Loss Serat Optik Link Padang- Lubuk Basung PT. Telkom

No. Core	Kondisi	Jarak (Km)	Total loss (dB)	Keterangan
1	Ok	115.342	30.426	<i>Bending</i> KM.73.00
2	Nok	115.342		Rusak
3	Ok	115.342	26.676	
4	Ok	115.342	26.295	
5	Nok			
6	Nok	87.63		Putus di KM 87.6
7	Ok			
8	Ok			
9	Ok	119.916	27.104	
10	Ok	119.916	30.668	<i>Bending</i> KM.61.00
11	Ok	119.916	26.081	
12	Ok	119.916	26.145	
13	Ok	119.916	26.287	
14	Ok			
15	Ok			
16	Ok			
17	Ok			
18	Ok			
19	Nok	60.931		Putus di Km 60.910
20	Ok	61.870	13.58	
21	Ok			
22	Ok			
23	Ok	44.049	10.513	
24	Ok	44.039	10.124	

Berdasarkan Tabel 2, media transmisi serat optik masih belum maksimal dan ada 4 *core* serat optik dalam kondisi yang tidak baik yaitu kabel serat optik rusak dan putus, kondisi ini dapat menurunkan kinerja transmisi, sedangkan 2 *core* (1 dan 10) mengalami *loss* yang besar, dengan *loss* yang besar jika total redaman dilihat dari segi patahan (redaman/km) maka nilai redaman/km mendekati nilai maksimal dari standar yang ada.

PT. Telkom Indonesia, Tbk sebagai salah satu operator telekomunikasi, dituntut untuk selalu tepat dan cepat dalam menangani berbagai masalah agar dapat memuaskan pelanggannya, untuk mengatasi masalah tersebut PT. Telkom Indonesia, Tbk mengembangkan jaringan serat optik dengan teknologi untuk memanfaatkan *bandwidth* serat optik yang besar, nilai redaman yang kecil dan pemanfaatan sebagian besar panjang gelombang yaitu menggunakan *metode* penjamakan. Pada komunikasi serat optik terdapat beberapa *metode* penjamakan, yaitu TDM (*Time Division Multiplexing*), FDM (*Frequency Division Multiplexing*) dan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) yang selanjutnya berkembang menjadi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).

Teknologi DWDM merupakan perbaikan teknologi WDM yang telah dikembangkan sebelumnya, yaitu memperkecil spasi antar kanal, sehingga terjadi peningkatan jumlah kanal yang mampu di multipleks. Teknologi DWDM adalah teknologi yang menyisipkan sejumlah panjang gelombang melalui satu serat optik. Teknologi DWDM bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan serat optik yang terpasang sehingga memungkinkan *service* baru yang cepat dan mudah disediakan pada infrastruktur *fiber eksisting* serta menawarkan multiplikasi *bandwidth* bagi operator pada pemasangan serat yang sama.

Dalam sistem DWDM dikenal sebuah aplikasi sistem pembagian spektrum panjang gelombang pada pentransmisiannya. Sistem ini dikenal dengan *Arrayed Waveguide Gratings* (AWG) yang dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* dengan jumlah kanal yang sangat besar dengan rugi yang relatif kecil. Permasalahan untuk ketersediaan kualitas transmisi memiliki hubungan dengan pengembangan kinerja dari teknologi DWDM. Penelitian ini, akan dilakukan analisis nilai redaman kabel, redaman *splice* dan redaman konektor dari segi daya terima DWDM pada sistem komunikasi serat optik. Berdasarkan hasil pengukuran, maka dilakukan penelitian untuk menganalisis redaman serat optik terhadap *performance* DWDM pada sistem komunikasi serat optik dengan menggunakan metode *link power budget*.

1. Prinsip Dasar Komunikasi Serat Optik

Agrawal (2002:1) menyatakan “Sistem komunikasi serat optik adalah sistem gelombang cahaya yang menggunakan serat optik sebagai media transmisi informasi”. Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) semakin banyak digunakan, bukan hanya sebagai pengganti dari jenis sistem transmisi sebelumnya, tetapi karena sistem serat optik ini memberikan keuntungan yang jauh lebih efektif dan efisien dibandingkan yang lain. Jenis komunikasi serat optik ini juga tidak bersifat menghantarkan listrik, sehingga dapat digunakan di daerah-daerah terisolasi listrik. Serat optik bekerja berdasarkan hukum Snellius tentang pemantulan sempurna. Pemantulan cahaya atau pembiasan cahaya yang terjadi sangat bergantung pada saat cahaya menyentuh permukaan atau masuk ke inti serat optik.

2. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Powers (1999:102) menyatakan “Sistem serat optik memiliki aplikasi untuk menggabungkan sinyal optik yang terpisah atau membagikan sinyal optik, yaitu *multiplexing* dan *demultiplexing* dilakukan oleh komponen *optical coupler*”. *Multiplexing* adalah teknik menggabungkan beberapa sinyal secara bersamaan pada suatu saluran transmisi. Di sisi penerima, pemisahan gabungan sinyal tersebut sesuai dengan tujuan masing-masing disebut *demultiplexing*. Dalam *multiplexing*, perangkat yang digunakan disebut *multiplexer* (*Transceiver/Mux*). *Receiver* atau perangkat yang melakukan *demultiplexing* disebut *demultiplexer* (*Demux*).

Ryan (1997:9) menyatakan bahwa “Teknologi DWDM memanfaatkan komposisi sinyal optik yang membawakan beberapa aliran informasi, masing-masing ditransmisikan dengan panjang gelombang optik yang berbeda”. *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) adalah suatu metoda untuk menyisipkan sejumlah kanal melalui satu serat optik. DWDM mengoptimalkan penggunaan *fiber* yang terpasang dan memungkinkan *service* baru secara cepat dan mudah disediakan pada infrastruktur *fiber eksisting*. DWDM menawarkan multiplikasi *bandwidth* bagi operator pada pemasangan *fiber* yang sama.

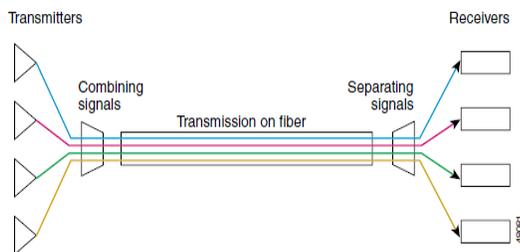
Keuntungan - keuntungan dalam penerapan DWDM antara lain adalah :

- a. Penghematan penggunaan sumber daya *core* optik terutama jaringan kabel optik yang hanya memiliki kapasitas *core* yang kecil.

- b. Kemampuan penyaluran *transport network* yang sangat tinggi, sehingga mampu menekan biaya investasi dan pemeliharaan perangkat.
- c. *Transparansi* format dan *bit rate* (tidak merubah format/*bit rate*, hanya menyalurkan) sehingga penyaluran data, gambar dan suara tetap.

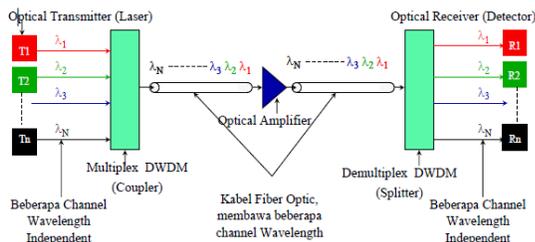
3. Komponen dan Sistem Kerja DWDM

DWDM merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses *me-multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut ditransmisikan melalui sebuah serat optik. Sistem DWDM yang melakukan fungsi utama.



Gambar 1. Sistem Kerja DWDM

Sistem kerja dari DWDM dapat disesuaikan berdasarkan komponen-komponen DWDM dan dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Prinsip Kerja DWDM

Berdasarkan Gambar, dapat dijelaskan sistem kerja DWDM sesuai dengan komponennya, yaitu :

a. *Optical Transmitter* (Laser)

Andreas Andrian (2007:36)

Transmitter optik untuk sistem *DWDM* adalah laser-laser dengan resolusi tinggi dan ketepatan pita sempit. Laser-laser ini memungkinkan dekatnya jarak antar kanal, yang dapat menambah jumlah panjang gelombang yang dapat digunakan pada pita 1500 nm untuk meminimalkan efek ketidakcocokan isyarat (*dispersi*). *Transmitter*

optik juga meminimalkan rugi-rugi daya sehingga transmisi jarak jauh dapat dilakukan.

b. *DWDM Multiplexer*

DWDM Multiplexer berfungsi untuk menggabungkan sinyal-sinyal *transmityang* mempunyai panjang gelombang berbeda-beda menjadi satu, untuk kemudian diteruskan ke satu *optical fiber*.

c. *Optical Cable*

Optical Cable berfungsi untuk menyalurkan sinyal gabungan beberapa panjang gelombang, yang datang dari *DWDM Multiplexer*.

d. *Optical Amplifier*

Andreas Andrian (2007:36)

Penguat optik memperkuat isyarat optik untuk meminimalkan efek melalui serat optic rugi-rugi daya dan pelemahan sebagai akibat pengiriman pulsa cahaya. Teknologi penguat optik memungkinkan munculnya teknologi *DWDM* dengan kecepatan tinggi dan volume transmisi tinggi. Tetapi untuk jarak yang lebih pendek pada jaringan-jaringan metropolitan dan regional, penguat optik tidak harus selalu diterapkan.

e. *DWDM Demultiplexer*

DWDM Demultiplexer berfungsi untuk memisahkan satu sinyal gabungan beberapa *lamda* yang datang dari kabel serat optik, menjadi beberapa sinyal dengan *lamda* yang *independent*.

f. *Optical Receiver (Detector)*

Optical Receiver berfungsi untuk mendeteksi sinyal dengan gelombang cahaya yang datang dari *DWDM demultiplexing*, untuk kemudian mengubah dari sinyal dengan daya optik (cahaya) menjadi sinyal dengan daya listrik.

4. Attenuation (Redaman)

Kartalopoulos (2001:24) menyatakan bahwa “ Redamanseratoptikdisebabkan oleh faktorintrinsic, terutamahamburandan penyerapan, dan denganfaktor ekstrinsik, termasuktingkat jenuh dariproses manufaktur, lingkungan, danfisikpembengkokan”.

Redaman serat optik yang menjadi parameter dalam penelitian DWDM dari segi daya terima berdasarkan ITU-T G.655 adalah :

a. Redaman Kabel Serat Optik

Keiser (2000:92) menyatakan bahwa “Redaman pada serat optik merupakan pelemahan daya dari cahaya yang ditransmisikan mulai dari pemancar sampai jarak tertentu”. Standar redaman kabel 0.22 dB/km.

b. Redaman *Splice* (Sambungan)

Menurut Crisp dan Elliot (2008:114) menyatakan bahwa “*splice fusi* adalah metode penyambungan serat optik yang memberikan hasil paling permanen dan menimbulkan rugi daya paling rendah”. Penyambungan kabel serat optik juga dapat menimbulkan rugi daya walaupun kecil dan redaman serat optik standar redaman *splice* 0.15 dB untuk satu *splice*.

c. Redaman Konektor

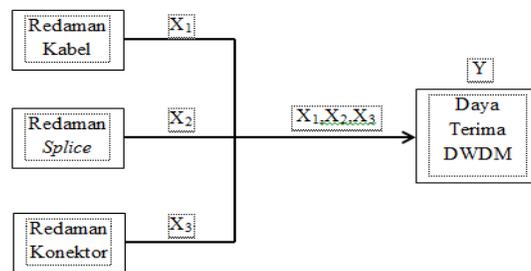
Konektor ini tentu akan menambah faktor redaman yang terdapat pada sistem, faktor redaman tersebut antara lain tidak sesuai ukuran inti serat optik yang dipasang ke konektor, rugi celah optis antara kabel dengan konektor, bahkan kotoran atau debu yang terdapat pada konektor juga dapat menyebabkan kerugian daya pada saat mengirim data dari pengirim ke penerima. Standar redaman konektor adalah 0.5 dB.

5. **Power Budget dan Receiver Sensitivity**

Menurut Agrawal (2002:192) menyatakan bahwa “Tujuan dari *power budget* adalah untuk memastikan bahwa daya yang cukup untuk mencapai penerima agar mempertahankan kinerja yang handal selama sistem tetap hidup”. *power budget* menjamin agar penerima dapat menerima daya optik sinyal yang diperlukan untuk mendapatkan *Bit Error Rate* (BER) yang diinginkan.

Receiver sensitivity atau sensitif penerima menurut ITU-T adalah nilai minimum rata-rata daya terima dari titik R_n (penerima) mencapai 1×10^{-12} BER (*Bit Error Ratio*). Nilai rata-rata minimum adalah besar nilai daya terima dari penerima yang berada pada level minimum dari daya kerja terkecil. Standar sensitif penerima adalah - 27 dBm atau 0,002 mW, nilai ini adalah batas daya terima serat optik pada penerima.

6. **Kerangka Pikir**



Gambar 3. Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan Gambar 3 dapat dijelaskan kerangka pikir dari penelitian, penelitian ini dilakukan analisis untuk redaman serat optik. redaman serat optik yang diteliti adalah redaman kabel (X_1), redaman *splice* (X_2) dan redaman konektor (X_3), untuk parameter ini dilakukan pengukuran dan perhitungan secara teoritis, setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan maka dianalisis *performance* DWDM, *performance* DWDM tersebut dilihat dari segi daya terima DWDM pada sistem komunikasi serat optik

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui seberapa besar nilai redaman serat optik terhadap *performance* DWDM dari segi daya terima pada sistem komunikasi serat optik dengan menggunakan metode *link power budget*
2. Membandingkan hasil pengukuran yang dilakukan dengan hasil perhitungan secara teori.

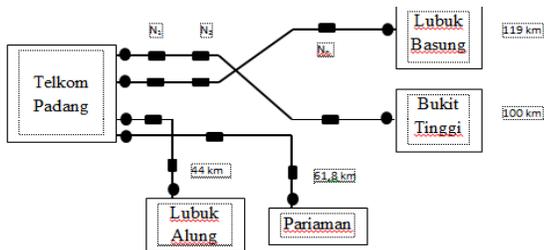
B. **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini tergolong dalam penelitian Kuantitatif. Menurut Zainal A. Hasibuan (2007:126), menyatakan bahwa “ Penelitian kuantitatif pada dasarnya merupakan suatu pengamatan yang melibatkan suatu ciri tertentu, berupa perhitungan, angka atau kuantitas. Penelitian kuantitatif ini didasarkan pada perhitungan persentase, rata-rata, chi kuadrat, dan juga perhitungan statistik lainnya”. Penelitian Kuantitatif menggunakan deskriptif yang berkaitan dengan pencatatan dan peringkasan data, dengan tujuan menggambarkan hal-hal penting pada sekelompok data, seperti berapa rata-ratanya, variasi data dan sebagainya.

Subjek penelitian ini adalah redaman kabel (α_r), redaman *splice* (α_s) dan redaman konektor (α_c) serta pengukuran daya serat optik (P_{rec}) menggunakan metode *link power budget*, subjek penelitian ini digunakan sebagai variabel penelitian. Penelitian ini dilakukan di PT. Telkom Padang, Jln. Hasanuddin No.2 Padang bidang SKSO, dengan jenis data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder.

Objek dalam penelitian ini adalah core serat optik sebanyak 9 core (1,3,4,9,10,12,20,23 dan 24)

pada *link* Padang – Lubuk Basung dengan tipe kabel serat optik G.655 SM (*non-zero dispersion-shifted single-mode*) memiliki koefisien redaman maksimal 0.35 dB/km untuk panjang gelombang 1550 nm dan koefisien redaman maksimal 0.4 dB/km untuk panjang gelombang 1625 nm. Konfigurasi link Padang – Lubuk Basung ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi Link Padang – Lubuk Basung

Instrument penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. OTDR tipe JDSU MTS 2000 untuk pengukuran redaman yang memiliki toleransi alat ukur sebesar 0.2 dB
2. Power Meter dan Light Source, power meter digunakan untuk mengukur daya (dBm) Penggunaan *Power Meter* harus berdampingan dengan sumber cahaya. Sumber cahaya (*light source*) digunakan untuk menembakkan cahaya dari titik awal dengan *power meter* pada titik akhirnya.

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Teknik Wawancara, mengadakan serangkaian tanya jawab secara langsung dengan pihak perusahaan yang berwenang yaitu pada Divisi SKSO PT. Telkom Padang untuk mengetahui lebih jelas informasi mengenai sistem komunikasi serat optik dan teknologi DWDM.
2. Teknik Studi Literatur, mengumpulkan data dengan membaca dan mempelajari teori-teori dan literatur-literatur yang berkaitan dengan sistem komunikasi serat optik dan DWDM
3. Teknik Studi Kasus Lapangan, pengambilan data yang dilakukan peneliti langsung dari lapangan tempat studi penelitian akan dilakukan. Teknik pengumpulan data ini berkaitan dengan pengukuran dan pengamatan pada redaman serat optik

Teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan nilai redaman serat optik untuk menunjukkan *performance* DWDM dari segi daya terima pada sistem komunikasi serat optik.

1. Perhitungan Redaman

Nilai redaman serat optik diperoleh redaman kabel serat optik, *splice*, konektor serat optik dan redaman total serat optik.

a. Redaman Kabel Serat Optik (α_f)

$$\alpha_f \text{ (dB)} = \text{Panjang kabel (km)} \times \text{Loss kabel (dB)}$$

b. Redaman Splice (α_s)

$$\alpha_s = \sum \text{splice} \times \text{loss sambungan (dB)}$$

c. Redaman Konektor (α_c)

$$\alpha_c \text{ (dB)} = \sum \text{konektor} \times \text{Loss konektor (dB)}$$

d. Redaman Total

Nilai redaman total merupakan jumlah dari redaman kabel, redaman *splice* dan redaman konektor. Persamaan yang digunakan berdasarkan ITU-T G.655

$$\sum \alpha = (\alpha_f + \alpha_c + \alpha_s)$$

e. Patahan atau Redaman/km

Nilai redaman per Km terhadap panjang maksimal serat optik yang digunakan. Persamaannya yaitu :

$$\alpha/\text{km} = \frac{\sum \alpha}{L}$$

2. Perhitungan Link Power Budget

Menghitung besarnya power budget untuk mengetahui besarnya daya yang diterima pada penerima (Rx), digunakan persamaan :

$$P_{\text{rec}} = P_{\text{tr}} - (\alpha_f + \alpha_s + \alpha_c + M_s)$$

dimana :

$$\begin{aligned} P_{\text{tr}} &= \text{Daya transmisi atau daya input (dBm)} \\ P_{\text{rec}} &= \text{Daya Receiver atau daya output (dBm)} \\ C_L &= \text{Channel Loss atau total Loss } (\sum \alpha) \text{ (dB)} \\ M_s &= \text{Margin Sistem (dB)} \end{aligned}$$

3. Analisis Regresi Linear Berganda

Sugiyono (2011:275) menyatakan “Analisis regresi ganda digunakan untuk meramalkan bagaimana keadaan (naik turunnya) variabel dependen (kriterium), bila dua atau lebih variabel independen sebagai faktor prediktor dimanipulasi (dinaik atau diturunkan nilainya)”. Menggunakan analisis regresi tiga prediktor dikarenakan penelitian ini memakai tiga variabel penelitian yaitu redaman yang terdiri dari redaman kabel, redaman *Splice* dan Redaman konektor.

Persamaan yang digunakan untuk analisis regresi dengan tiga prediktor adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

dimana :

Y = Subjek dalam variabel dependen yang

diprediksi

- a = Harga Y ketika X = 0 (harga konstan)
- b = Angka arah atau koefisien regresi, yang menunjukkan angka peningkatan atau penurunan variabel dependen yang didasarkan pada variabel independen.
- X = Subjek pada variabel independen yang mempunyai nilai tertentu

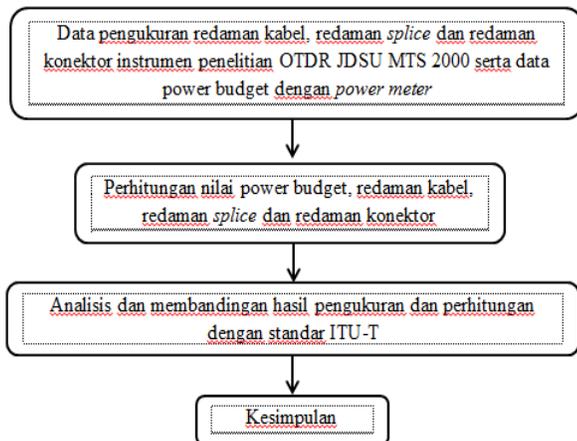
Mencari koefisien regresi a, b₁, b₂ dan b₃ digunakan persamaan simultan sebagai berikut :

$$\sum X_1Y = b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1X_2 + b_3 \sum X_1X_3$$

$$\sum X_2Y = b_1 \sum X_1X_2 + b_2 \sum X_2^2 + b_3 \sum X_2X_3$$

$$\sum X_3Y = b_1 \sum X_1X_3 + b_2 \sum X_2X_3 + b_3 \sum X_3^2$$

Prosedur penelitian yang dilakukan untuk memudahkan dalam memahami langkah-langkah penelitian maka digunakan bagan dalam analisis redaman serat optik terhadap *performance* DWDM pada komunikasi serat optik dengan parameter-parameter redaman berupa redaman kabel, redaman *splice* dan redaman konektor.



Gambar 5. Prosedur Penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Deskripsi Data

a. Pengukuran Redaman

Pengukuran redaman akan dilakukan dengan menggunakan alat ukur OTDR jenis JDSU MTS 2000 dengan panjang gelombang 1550 nm. Jenis kabel serat optik yang digunakan adalah G.655 *single mode*. Pengukuran redaman dilakukan pada *link* Padang-Lubuk Basung. Pengukuran dilakukan pada *core* yang kosong (*idle*) yaitu pada *core* 1, 3, 4, 9, 10, 12, 20, 23 dan 24.

Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali dengan waktu pengukuran yang dilakukan satu kali pengukuran perhari selama 5 hari. Tujuannya adalah agar dapat dilakukan

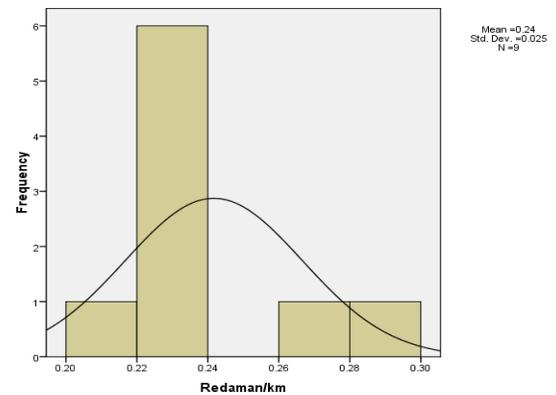
pengujian secara statistik, dan diketahui kesalahan yang ada pada sistem komunikasi serat optik yang menggunakan teknologi DWDM.

Berikut adalah hasil rata-rata dari 5 kali pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-Rata Data Hasil Pengukuran Redaman

No.	Link	Core	α_F (dB)	α_S (dB)	α_C (dB)	$\sum \alpha$ (dB)	Redaman (dB/km)
1	PDG-BKT	1	21.627	5.796	1	29.742	0.297
2		3	21.427	2.599	1	24.059	0.24
3		4	21.285	2.969	1	24.042	0.24
4	PDG-LBB	9	25.419	1.186	1	27.293	0.227
5		10	24.494	6.784	1	31.8	0.265
6		12	24.544	1.713	1	26.67	0.222
7	PDG-PMN	20	12.622	1.130	1	13.531	0.218
8	PDG-LBA	23	8.784	1.548	1	10.562	0.239
9		24	8.637	1.191	1	10.02	0.227

Bentuk kurva normal dari data pada Tabel 3 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Normal Rata-Rata Hasil Pengukuran Redaman

Kurva normal pada Gambar 6 menunjukkan bahwa data yang diperoleh cenderung normal dan tidak bermasalah terhadap redaman pada setiap *core*, karena nilai mean (0.241) lebih besar dari nilai median (nilai tengah) yaitu (0.239).

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan hasil rata-rata pengukuran redaman pada *link* Padang-Bukittinggi untuk *core* 1, 3 dan 4. Pada *core* 1 nilai redaman/km sebesar 0.297dB/km dengan redaman total 29.742 dB. *core*3 nilai redaman/km sebesar 0.24 dB/km dengan redaman total 24.059 dB. *core*4 nilai redaman/km sebesar 0.24 dB/km dengan redaman total 24.042 dB. Untuk *link* Padang-Lubuk Basung, Padang – Pariaman dan Padang – Lubuk Alung nilai redamannya dapat dilihat pada Tabel 3.

b. Data Pengukuran Daya

Daya pancar dan daya terima serat optik merupakan banyaknya panjang gelombang serat optik yang dikonversi menjadi daya (dBm) yang di transmit (Tx) ke penerima (Rx). Pengukuran daya dilakukan secara *end-to-end*, artinya *Light Source* dihubungkan pada konektor Pengirim (Telkom Padang), dan *Power Meter* dihubungkan pada konektor Penerima (Telkom Lubuk Basung).

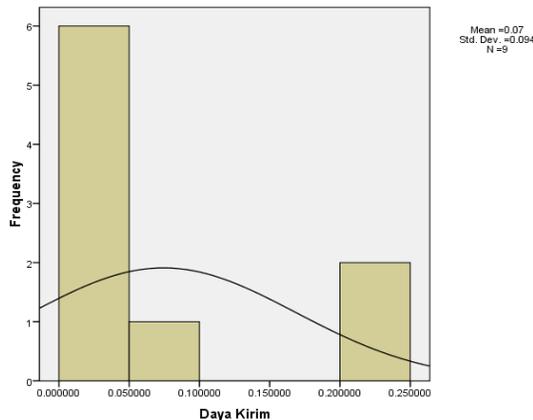
Pengukuran daya serat optik juga dimaksudkan untuk membandingkan nilai patahan atau redaman/km serat optik berdasarkan besarnya daya yang diterima oleh penerima.

Data pengukuran daya serat optik ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pengukuran Daya

No	Link	Core	Daya Input (dBm)	Daya Output (dBm)	Daya Output (mW)
1	PDG-BKT	1	9.33	-19.9	0.0102
2		3	9.33	-14.65	0.0342
3		4	9.33	-14.61	0.0345
4	PDG-LBB	9	9.33	-19.91	0.0102
5		10	9.33	-23.80	0.0041
6		12	9.33	-18.15	0.0153
7	PDG-PMN	20	4	-10.21	0.0952
8	PDG-LBA	23	4	-6.40	0.229
9		24	4	-6.25	0.237

Bentuk kurva normal dari data pada Tabel 4 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Normal Rata-rata Hasil Pengukuran Daya Terima

Kurva normal pada Gambar 7 menunjukkan bahwa data daya dalam miliwatt yang diperoleh cenderung normal dan tidak bermasalah terhadap daya terima DWDM, karena nilai mean (0.074) lebih besar dari nilai median (nilai tengah) yaitu 0.0342.

c. Perhitungan Secara Teoritis

Redaman yang akan dihitung adalah redaman berupa redaman kabel, redaman *splice*, dan redaman konektor. Masing-masing redaman tersebut telah memiliki standar, PT. Telkom yang merujuk pada rekomendasi ITU-T. Nilai redaman tersebut yaitu 0.22 dB untuk redaman kabel serat optik, 0.15 dB untuk redaman *splice* atau penyambungan, dan 0.5 dB untuk redaman konektor.

1) Redaman Kabel Serat Optik

Perhitungan untuk redaman kabel terangkum pada Tabel 5, menunjukkan hasil perhitungan redaman kabel berdasarkan standar ITU-T. Nilai redaman kabel menurut standar ITU-T adalah 0.22 dB/km.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Redaman Kabel Berdasarkan Standar ITU-T

No.	Link	Core	Panjang Kabel (km)	Redaman Kabel (dB/km) ITU-T	Redaman Kabel (dB)
1	PDG-BKT	1	100.035	0.22	22.007
2		3	100.066	0.22	22.015
3		4	100.066	0.22	22.015
4	PDG-LBB	9	119.998	0.22	26.4
5		10	119.998	0.22	26.4
6		12	119.998	0.22	26.4
7	PDG-PMN	20	61.867	0.22	13.61
8	PDG-LBA	23	44.047	0.22	9.69
9		24	44.039	0.22	9.688

2) Redaman Splice

Nilai redaman akibat penyambungan disepanjang kabel serat optik, perhitungan redaman penyambungan serat optik terangkum pada Tabel 6. Nilai redaman *splice* menurut standar ITU-T adalah 0.15 dB.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Redaman Splice Berdasarkan Standar ITU-T

No.	Link	Core	Jumlah Splice	Redaman Splice (dB) ITU-T	Redaman Splice (dB)
1	PDG-BKT	1	21	0.15	3.15
2		3	27	0.15	4.05
3		4	30	0.15	4.5
4	PDG-LBB	9	18	0.15	2.7
5		10	17	0.15	2.55
6		12	22	0.15	3.3
7	PDG-PMN	20	15	0.15	2.25
8	PDG-LBA	23	10	0.15	1.5
9		24	9	0.15	1.35

3) Redaman Konektor

Jumlah konektor yang terdapat pada setiap *corelink* Padang-Lubuk Basung adalah 2, konektor tersebut terdapat pada

transmitter dan receiver. Sehingga nilai perhitungan untuk redaman konektor konstan sebesar 1 dB pada setiap core.

4) Redaman Total dan Patahan (dB/Km)

Berdasarkan hasil perhitungan redaman kabel, redaman splice dan redaman konektor berdasarkan standar ITU-T, maka diperoleh data hasil perhitungan redaman pada Tabel 7.

Perbandingan antara nilai total redaman hasil perhitungan dengan hasil pengukuran menggunakan OTDR.

Tabel 8. Hasil perbandingan $\sum \alpha$ antara perhitungan dengan pengukuran

No.	Link	Core	Panjang Kabel (km)	$\sum \alpha$ hasil perhitungan (dB)	$\sum \alpha$ hasil pengukuran (dB)
1	PDG-BKT	1	100.035	26.157	29.742
2		3	100.066	27.065	24.059
3		4	100.066	27.515	24.042
4	PDG-LBB	9	119.998	30.1	27.293
5		10	119.998	29.95	31.8
6		12	119.998	30.7	26.67
7	PDG-PMN	20	61.867	16.86	13.531
8	PDG-LBA	23	44.047	12.19	10.562
9		24	44.047	12.038	10.03

Hasil perbandingan total redaman antara perhitungan dengan pengukuran terlihat pada Tabel 8. Nilai total redaman antara perhitungan dan pengukuran pada core 1 dengan link Padang - Bukittinggi memiliki selisih 3 dB, dimana nilai pengukuran lebih besar dari perhitungan, besarnya nilai pengukuran ini disebabkan pada core 1 terjadi loss bending yang cukup besar sehingga membuat nilai total redaman menjadi lebih besar dibandingkan hasil perhitungan. Begitu juga untuk core 10 pada link Padang – Lubuk Basung yang mengalami kondisi yang sama dengan core 1.

5) Perhitungan Redaman Dengan Power Meter

Nilai daya yang diperoleh dari data PT. Telkom, dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya nilai redaman/km dan terangkum pada Tabel 9. Perhitungan ini menggunakan persamaan :

$$\alpha (dB/Km) = \frac{(Pin - Pout)}{L}$$

Tabel 9. Perhitungan Redaman/km dengan Hasil Pengukuran Power Meter

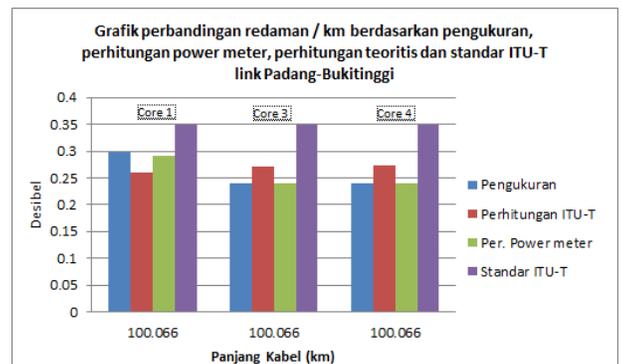
No.	Link	Core	Daya Input (dBm)	Daya Output (dBm)	Redaman/km (dB/km)
1	PDG-BKT	1	9.33	-19.90	0.292
2		3	9.33	-14.65	0.239
3		4	9.33	-14.61	0.239
4	PDG-LBB	9	9.33	-19.91	0.243
5		10	9.33	-23.80	0.276
6		12	9.33	-18.15	0.23
7	PDG-PMN	20	4	-10.21	0.23
8	PDG-LBA	23	4	-6.40	0.236
9		24	4	-6.25	0.232

Perbandingan nilai redaman/km dari hasil pengukuran, hasil perhitungan dengan power meter, hasil perhitungan teoritis dan standar ITU-T. Data redaman/km terangkum pada Tabel 10.

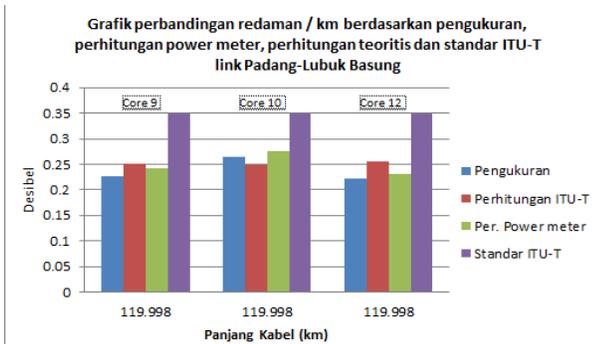
Tabel 10. Perbandingan Nilai Redaman/km Berdasarkan Perhitungan, Pengukuran dan Standar ITU-T

No.	Link	Core	Perhitungan dengan hasil pengukuran Power Meter (dB)	Perhitungan dengan Persamaan ITU-T (dB)	Pengukuran (dB)	Standar ITU-T (dB)
1	PDG-BKT	1	0.292	0.261	0.297	0.35
2		3	0.239	0.27	0.24	0.35
3		4	0.239	0.274	0.24	0.35
4	PDG-LBB	9	0.243	0.25	0.227	0.35
5		10	0.276	0.249	0.265	0.35
6		12	0.23	0.255	0.222	0.35
7	PDG-PMN	20	0.23	0.274	0.218	0.35
8	PDG-LBA	23	0.236	0.28	0.239	0.35
9		24	0.232	0.276	0.227	0.35

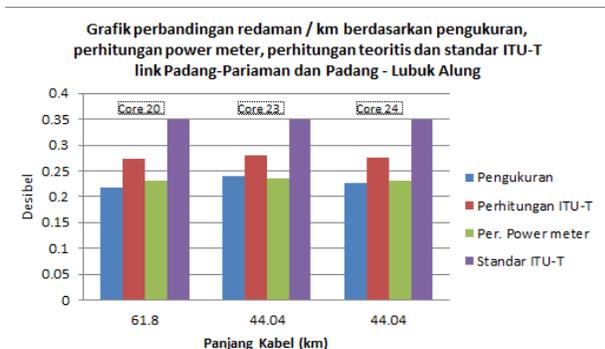
Berdasarkan Tabel 10 dapat dibuat dalam bentuk grafik, yaitu grafik perbandingan antara nilai redaman hasil pengukuran dengan menggunakan OTDR dan Power Meter, hasil perhitungan dengan standar ITU-T.



Gambar 8. Grafik Perbandingan link Padang-Bukittinggi



Gambar 9. Grafik Perbandingan link Padang-Lubuk Basung



Gambar 10. Grafik Perbandingan link Padang-Pariaman dan link Padang Lubuk Alung

Tabel 11 menunjukkan kondisi core pada link Padang – Lubuk Basung terhadap standar ITU-T. kondisicore ini berdasarkan perbandingan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran dan juga berdasarkan grafik perbandingan nilai redaman.

Tabel 11. Kondisi Kabel G.655 SM Masing-Masing Core Berdasarkan Patahan atau Redaman/km

No.	Link	Core	Perhitungan dengan hasil pengukuran Power Meter (dB)	Perhitungan dengan Persamaan ITU-T (dB)	Pengukuran (dB)	Status	Ket
1	PDG-BKT	1	0.292	0.261	0.297	Normal	<ITU-T
2		3	0.239	0.270	0.240	Normal	<ITU-T
3		4	0.239	0.274	0.240	Normal	<ITU-T
4	PDG-LBB	9	0.243	0.250	0.227	Normal	<ITU-T
5		10	0.276	0.249	0.265	Normal	<ITU-T
6		12	0.23	0.255	0.222	Normal	<ITU-T
7	PDG-PMN	20	0.23	0.274	0.218	Normal	<ITU-T
8	PDG-LBA	23	0.236	0.280	0.239	Normal	<ITU-T
9		24	0.232	0.276	0.227	Normal	<ITU-T

d. Analisis Link Power Budget

Menghitung nilai link power budget, ada beberapa parameter yang digunakan, yaitu P_{Rx} sebagai daya yang diterima (daya output dalam dBm), P_{Tx} sebagai daya yang dipancarkan (daya input dalam dBm), α adalah redaman pada kabel serat optik, α_c adalah redaman pada konektor di penerima dan pemancar.

Margin merupakan nilai daya yang digunakan untuk mengkompensasi daya pada sistem komunikasi serat optik. Nilai margin tersebut merupakan sebuah ketetapan dari PT. Telkom yaitu sebesar +3 dB. Perhitungan untuk link power budget terangkum pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Perhitungan P_{Rec}

No.	Link	Core	P_{tr} (dBm)	P_{Rec} (dBm)	Rec Sensitivity (dBm)
1	PDG-BKT	1	9.33	-19.827	-27
2		3	9.33	-20.735	-27
3		4	9.33	-21.185	-27
4	PDG-LBB	9	9.33	-23.77	-27
5		10	9.33	-23.62	-27
6		12	9.33	-24.37	-27
7	PDG-PMN	20	4	-15.86	-27
8	PDG-LBA	23	4	-11.19	-27
9		24	4	-11.038	-27

Hasil pernitungan link power budget yaitu daya terima dari perangkat penerima DWDM. Daya terima lebih besar dibandingkan sensitifitas penerimaan (-27 dBm atau 0.002 mW) berarti daya terima dalam kondisi normal. Nilai sensitifitas penerimaan adalah nilai minimum rata-rata penerimaan, apabila nilai lebih kecil dibandingkan sensitifitas penerimaan maka transmisi data dari pengirim ke penerima tidak sampai ketujuan dan sistem perlu dievaluasi. Sebagai contoh core 1 nilai daya terima nya adalah -19.827 dBm atau 0.0104 mW, nilai ini masih berada diatas 0.002 mW.

2. Pembahasan Hasil Penelitian

a. Analisis Redaman Serat Optik

Analisis redaman serat optik pada penelitian ini dilakukan di PT. Telkom Padang dengan link Padang – Lubuk Basung. Nilai redaman yang diperoleh adalah nilai hasil pengukuran menggunakan alat ukur redaman dan perhitungan secara teoritis, kemudian nilai tersebut dibandingkan dengan nilai redaman standar PT. Telkom yang merujuk pada standar ITU-T. Penelitian ini menggunakan alat ukur, yaitu Power Meter dan OTDR tipe JDSU MTS-2000.

Pengukuran dilakukan pada core yang kosong (idle) sebanyak 9 core yaitu core 1, 3, 4, 9, 10, 12, 20, 23 dan 24 dengan arah Original to End. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali, yaitu 1 hari 1 kali pengukuran dan pengukuran dilakukanselama 5 hari, hal ini dilakukan untuk analisis statistik. Nilai redaman juga diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan power meter, dari data hasil pengukuran ini didapatkan nilai daya pancar

dari *light source* konstan sebesar 9.33 dB untuk *link* Padang – Bukittinggi dan Padang – Lubuk Basung, daya 4 dB untuk *link* Padang – Pariaman dan Padang – Lubuk Alung. Untuk data pengukuran daya ini hanya ada satu kali pengukuran. Pada *core* 1 nilai *input* daya dari *light source* adalah 9.33 dB, dan daya yang diterima oleh *power meter* sebesar -19.90. Daya yang diterima oleh *power meter* didapatkan nilai minus (-), itu berarti level daya yang bekerja disepanjang kabel serat optik berkisar 0.1 mW.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui nilai redaman/km dan hasil pengukuran daya (Tabel 20) dan kondisi keadaan masing-masing *core* dapat dilihat pada Tabel 11. Nilai redaman/km untuk *core* 1, nilai perhitungan berdasarkan nilai daya pemancar dan penerima diperoleh nilai sebesar 0.292 dB/km, nilai pengukuran dengan OTDR sebesar 0.297 dB/km, sedangkan nilai perhitungan dengan persamaan ITU-T sebesar 0.261 dB/km. Hal ini dapat diartikan bahwa nilai redaman/km *core* 1 masih berada dibawah standar ITU-T 0.35 dB/km walaupun pada pengukuran ditemukan *bending loss*, jadi untuk *core* 1 dapat dikatakan berada dalam kondisi normal namun untuk peningkatan kualitas transmisi *core* 1 perlu dilakukan perawatan kabel diakibatkan adanya *bending loss*.

Core 10, walaupun nilai *core* 10 dari perhitungan dan pengukuran berada dibawah standar ITU-T, namun pada hasil pengukuran terdapat redaman yang besar pada kabelnya dan disebabkan oleh *bending loss* seperti keadaan pada *core* 1, *core* 10 dapat dikatakan berada dalam kondisi normal namun untuk peningkatan kualitas transmisi dapat dilakukan perawatan kabel akibat *bending loss*. *Core* 3, 4, 9, 12, 20, 23 dan 24 dari hasil pengukuran maupun perhitungan nilai redaman/km berada dibawah standar ITU-T maka masih berada pada kondisi normal dan tidak mempengaruhi daya terima DWDM.

b. Analisis *Link Power Budget*

Analisis *link power budget* dilakukan pada *link* Padang – Lubuk Basung, nilai daya dihitung dengan cara menjumlahkan parameter redaman (redaman kabel, redaman *splice*, redaman konektor) dengan nilai margin untuk mengkompensasi redaman yang terjadi sebesar 3 dB. Hasil perhitungan *link power budget* pada *core* 1 dapat dilihat pada Tabel 12. *Core* 1 dengan daya transmit sebesar 9.33 dBm dan diperoleh daya *output* yang diterima

receiver adalah - 19.827 dBm, atau jika dinyatakan dalam daya sebesar 0.0104 mW. Kemudian nilai perhitungan *link power budget* ini dibandingkan dengan *Rx sensitivity* pada penerima (-27 dBm = 0.002 mW), maka nilai secara perhitungan lebih kecil dibandingkan dengan *Rx sensitivity*, itu berarti sistem yang telah dibangun dapat bekerja secara normal jika digunakan untuk mentransmisikan data.

Berdasarkan hasil perhitungan *link power budget*, nilai hasil perhitungan dari *core* 1, 3, 4, 9, 10, 12, 20, 23 dan 24 masih berada di bawah nilai *Rx sensitivity*, ini artinya sistem transmisi pada *link* Padang - Lubuk Basung berada dalam kondisi normal.

D. SIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan :

- a. Besarnya nilai redaman/km *link* Padang – Lubuk Basung melalui hasil pengukuran rata-rata berada dibawah standar ITU-T 0.35 dB/km namun *core* 1 dan *core* 10 memiliki redaman/km cukup besar, walaupun nilai redaman/km *core* 1 dan *core* 10 masih berada dibawah standar ITU-T namun untuk peningkatan kualitas transmisi perlu dilakukan perawatan pada kabel yang mengalami *bending loss*. Kemudian untuk hasil perhitungan maupun pengukuran *link power budget* pada *core* 1, 3, 4, 9, 10, 12, 20, 23 dan 24, nilai *Rx* masih berada di bawah nilai *Rx sensitivity* (-27 dBm atau 0.002 mW), sehingga daya masih dapat diterima oleh *receiver* pada perangkat dan kondisinya dapat dikatakan berfungsi dengan normal.
- b. Perbandingan hasil pengukuran dan perhitungan dengan persamaan ITU-T pada redaman serat optik, *core* 1 selisih antara pengukuran dan perhitungan sebesar 3.585 dB, *core* 3 selisih 3.006 dB, *core* 4 sebesar 3.473 dB, *core* 9 sebesar 2.807 dB, *core* 10 sebesar 1.85 dB, *core* 12 sebesar 4.03 dB, *core* 20 sebesar 3.329 dB, *core* 23 sebesar 1.628 dB dan *core* 24 sebesar 2.018 dB. Perbedaan hasil pengukuran dan perhitungan dikarenakan pada hasil pengukuran nilai redaman setiap pengukurannya tidaklah konstan.

2. Saran

- a. Jika ditemukan gangguan pada lokasi atau panjang kabel tertentu, hendaknya segera dilakukan penanganan dengan menganalisa jenis gangguan yang terjadi. Jika nilai redaman terlalu besar dan lebih dari batas standar, maka perlu dievaluasi kembali dengan cara melakukan pengukuran nilai redaman menggunakan OTDR dan pengukuran daya penerimaan pada penerima (Rx), seperti *core 1* dan *core 10* pada link Padang – Lubuk Basung terdapat *loss* yang besar (*bending*), hal ini dapat mempengaruhi kinerja sistem dan hilangnya informasi yang dikirim sehingga data yang diperoleh dari analisa dan penanganan gangguan hendaknya dapat dijadikan acuan informasi serta studi kasus yang perlu dievaluasi oleh pihak PT.Telkom Padang
- b. Data-data pengukuran redaman dan daya terima DWDM PT. Telkom Padang hendaknya melakukan pengukuran serat optik secara berkala sehingga dapat dilakukan perbandingan dengan data dan juga dapat dijadikan sebagai bahan referensi data berkala bagi PT.Telkom dan referensi penelitian bagi Mahasiswa yang akan melakukan penelitian terkait redaman, daya dan teknologi DWDM.
- c. Data hasil pengukuran dan perhitungan dari penelitian yang telah dilakukan di PT. Telkom Padang dapat sebagai data pembanding untuk Mahasiswa yang akan melakukan penelitian terkait DWDM guna untuk kesempurnaan hasil penelitian DWDM kedepannya. Diharapkan data yang diperoleh dapat lebih sempurna sesuai dengan permasalahan yang diteliti.

Catatan:Artikel ini disusun berdasarkan skripsi penulis dengan Pembimbing I Drs.Hanesman, MM dan Pembimbing II Delsina Faiza, ST, MT

E. DAFTAR PUSTAKA

- _____. (2009). ITU-T Series G 655: *Characteristics of A Non-zero Dispersion-Shifted Single-Mode Optical Fibre and Cable*. International Telecommunication Union
- Agrawal, Govind P. (2002). *Fiber-Optic Communications Systems*.3rd Edition. New York :John Wiley & Sons, Inc
- Andreas Ardian F. (2007). “ *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*”. Jurnal. Techne Jurnal Ilmiah Elektroteknika
- Crisp, John & Elliot, Barry. (2008). *Serat Optik : Sebuah Pengantar*. Edisi Ketiga. Jakarta : Erlangga
- Kartalopoulos, Stamatios. (2001). *Intoduction to DWDM Technology*.California : Cisco Syste
- Keiser, Gerd.(2000). “*Optical Fiber Communications*”. Edisi Ketiga. Singapore: McGraw Hill.
- Powers, John. (1999). *An Introduction To Fiber Optic System*. Second Edition.California : Mc Graw Hill International Edition
- Ryan, Gerald P. (1997) .*DWDM : Setting A New Standar for Bandwidth*. Natick : Ciena’s Corporation.
- Senior, John M.(2009). “*Optical Fibers Communication :Principles and Practice*”. Edisi Ketiga.London:Prentice Hall.
- Sugiyono.(2011). “*Statistik Untuk Penelitian*”.Bandung : Alfabeta
- Zainal A. Hasibuan. (2007). “*Metode Penelitian pada Bidang Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*”. Depok : Universitas Indonesia