

Studi Kinerja Transmisi Serat Optik Jaringan Menteng-Bintaro Menggunakan Sistem DWDM

Study on Performance of Optical Fiber Transmission in Menteng-Bintaro Network Using DWDM System

Widya Rachmadyanti * dan Budihardjo Gozali**

*Services Engineer PT. Huawei Services , Indonesia *widyarachmadyanti@gmail.com,

**Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Sains Dan Teknologi Nasional, Jakarta

Abstrak---*Semakin meningkatnya kebutuhan manusia untuk berkomunikasi, terutama komunikasi seluler, membuat perusahaan telekomunikasi berlomba-lomba untuk menambah kapasitas jaringan yang telah ada . Kapasitas radio microwave saat ini belum mencukupi kebutuhan yang ada. Salah satu solusinya adalah dengan merubah jalur trafik dengan menggunakan ke serat optik . Serat optik mempunyai bandwidth yang lebar dan dapat menyalurkan informasi dengan kecepatan tinggi . Salah satu teknologi dari teknik transmisi menggunakan serat optik adalah DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Bandwidth yang disediakan oleh perangkat DWDM ini sebesar 10GHz . Kapasitas yang telah dipakai pada sistem ini sebesar 270 Gbs , dengan kemampuan kapasitas total hingga 40 x 10 Gbs . Dari hasil pengukuran dengan menggunakan OTDR (optical time-domain reflectometer) daya terima sistem tampak baik yaitu sebesar -8,424dBm masih diatas ambang sensitivitas yaitu sebesar -26 dBm. Hasil pengukuran rise time buget juga masih memenuhi syarat yaitu 51,93 ps batas normal sistem bekerja dengan baik adalah $t \leq 70$ ps. Hasil pengukuran OSNR dengan menggunakan spektrum analyzer didapatkan nilai OSNR berkisar dari 25.9 dB – 38.4 dB. Untuk kondisi yang dilihat dari sisi amplitudo masih kurang optimal karena optical power yang tidak rata .*

Kata kunci : DWDM , Serat optik , OTDR , Kapasitas , OSNR.

Abstract---*As the increase of human needs to communicate, especially cellular communication, it makes the telecommunication companies race to improve the common network capacity. The microwave radio capacity in the moment is not enough to fulfill the current needs. One of the solution is to move the traffic channel using the optical fiber. The optical fiber has a very wide bandwidth and it can provide the information with a high speed. One of the technology from transmission technic which use the optical fiber is DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) that use the light with different wavelength as the canals information, that so, after the multiplexing process is finished, all of those wavelengths can be transmitted through a fiber Optik. This provided bandwidth from DWDM is 10GHz. The Capacity have been used in the system of 270Gbs, the total of capacity is up to 40 x 10Gbs. From the measurement results using OTDR (optical time-domain reflectometer) gainpower at the receiver looks good receipt of registration- 8,424 still above the threshold of sensitivity that is as big as -26 dBm. Measurement results rise time buget also still qualify the 51,93 normal limit system work well is $t \leq 70$ ps. OSNR measurement results by using a spectrum analyzer value obtained OSNR ranged from 25.9 dB- 38.4 dB. To the conditions seen from the amplitude is still less than optimal due to uneven optical power.*

Keywords--- DWDM , Optical Fiber, OTDR, Capacity , OSNR

1. PENDAHULUAN

Kapasitas kebutuhan bandwidth semakin hari semakin bertambah, sebagian besar digunakan untuk keperluan data transfer, video steaming, koneksi mobile, dan perkembangan teknologi informasi dan sistem cloud computing. Pada radio microwave terdapat keterbatasan jarak, keterbatasan pada saat jam sibuk dan trafik data penuh, sering kali didapatkan *paket loss*. Serat optik sebagai media transmisi berkecepatan tinggi untuk meningkatkan layanan yang baik kepada pelanggan berusaha terus dikembangkan kualitasnya. Salah satu yang dikembangkan adalah kapasitas transmisinya, yang saat ini telah berkembang sampai dengan *Dense Wavelength Division*

Multiplexing (DWDM). DWDM mempunyai beberapa keuntungan yang didapatkan baik dari sisi operator maupun pengguna layanan, diantaranya kemudahan penambahan kapasitas yang terintegrasi dengan teknologi terbaru .

Penelitian kinerja sistem transmisi serat optik menggunakan DWDM dilakukan pada jaringan serat optik Menteng – Bintaro. Kinerja sistem transmisi yang diamati adalah power link budget, rise time budget, dan OSNR.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum proses analisis sistem komunikasi serat optik yang akan dijelaskan dapat dilihat pada

diagram alir gambar 1. Proses evaluasi dimulai dari memilih jaringan yang sudah terpasang. Link evaluasi dalam kasus ini adalah link Menteng - Bintaro. Setelah menentukan link evaluasi, lalu dilakukan perhitungan secara teori, dan pengukuran menggunakan OTDR Apabila dari keseluruhan perhitungan teori dan pengukuran OTDR dinyatakan layak dalam standarisasi, maka akan dapat ditarik kesimpulan dari hasil evaluasi ini.

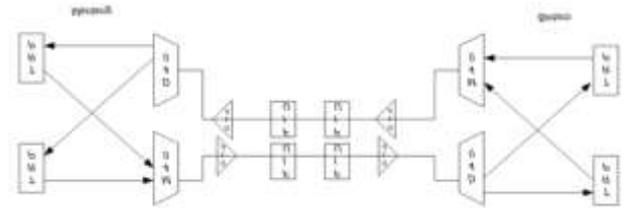


Gambar 1. Diagram Alir Analisis Kinerja DWDM

2.1 Topologi link DWDM Menteng – Bintaro

Secara umum, topology link serat optik dengan teknologi DWDM dari Menteng – Bintaro dapat dilihat dari gambar 2. Teknologi DWDM pada penelitian ini terdiri dari :

1. **Optical Transponder Unit**
Mengkonversi sinyal optikal ke sinyal client.
2. **Optical terminal Multiplexer (OTM)**
Memberi layanan add/drop dan O/E/O konversi untuk semua kanal optik
 - a) **Optical Add/Drop multiplexer (OADM)**
Fixed Optical add atau drop multiplexer (FOADM)
3. **Optical Line Amplifier (OLA)**
Mengganti kerugian loss power yang disebabkan oleh serat dan komponen optik pasif yang lain.
4. **Fiber Interface Unit (FIU)**
Menggabungkan sinyal optical dan monitoring.
5. **Fiber (Backbone)**
Untuk mengantar sinyal/ data digital dalam bentuk pulsa cahaya.
6. **Regenerator (REG)**
Memberikan O/E/O konversi untuk semua kanal-kanal optik dengan fungsi 3R(retiming,reshaping,regenerating) dan memerlukan biaya tinggi dan harus dialihkan kecuali sinyal optik menurun terlalu banyak untuk diterima di transponder.



Gambar 2. Aliran sinyal Menteng – Bintaro

2.2 Data Teknis

Data teknis yang digunakan dalam sistem transmisi jaringan serat optik Link Menteng – Bintaro dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Link Menteng – Bintaro

DATA PARAMETER LINK MENTENG - BINTARO	
1. Parameter Desain	
Laju Bit (B)	10 Gbps
Jarak Link(L _{sis})	35.5 km
BER (Bit Error Rate)	10 ⁻⁹
Format modulasi	NRZ
Margin sistem (M _s)	5 dB
2. Komponen SKSO	
Jenis serat optik	Single mode ITU.T 652
Redaman Serat (α _{serat})	0.23 dB/km
Panjang gelombang	1550 nm
Dispersi Kromatik(D)	4.3 ps/nm.km
3. Transmitter	
Jenis	OSN 6800
Panjang gelombang	1550 nm
Lebar spektral	0.1 nm
Daya pancar (P _{tx})	4 dBm
Rise Time (T _{tx})	35 ps
4. Receiver APD Detector	
Rise Time (T _{rx})	35 ps
Sensitivitas	-26 dBm
5. Konektor & Splice	
Jenis	FC Connector
Redaman konektor (α _c)	0.1 dB/konektor
Redaman Splice (α _s)	0.05 dB/splice
Jumlah Splice	3 splice
Jumlah Kabel	2 haspel

2.3 Perhitungan Power Link Budget

Pada perhitungan ini, sejumlah data diambil dari ketentuan dan data teknis yang ada. Power link budget merupakan perhitungan daya yang dilakukan pada suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran redaman serat optik, sumber optik dan sensitivitas detektor. Perhitungan daya penerima diformulasikan dengan persamaan :

$$\text{Loss Fiber : } (L_f) \quad \alpha_f = L \times L_f \quad (1)$$

$$\text{Loss Splice } (L_s) \quad \alpha_s = N_s \times L_s \quad (2)$$

$$\text{Loss Konektor } (L_c) \quad \alpha_c = N_c \times L_c \quad (3)$$

$$\text{Power Link Budget :} \quad P_r = P_t - \alpha_f - \alpha_s - \alpha_c - M_s \quad (4)$$

dimana:

P_t = Daya Transmit (dBm)
 P_r = Daya Penerima (dBm)
 α_c = Redaman konektor (dB)
 α_s = Redaman Splice (dB) , α_f = Redaman Fiber (dB)

2.4 Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum

Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui perlu tidaknya penggunaan penguat dalam perencanaan link transmisi ini . Perhitungan jarak maksimum dapat dihitung dengan formula,

$$L_{sistem}(km) = \frac{P_{tx} - P_{rx} - 2\alpha_c + \alpha_s - M_s}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}} \quad (5)$$

dimana M_s adalah margin sistem dan L_{kabel} adalah panjang kabel serat optik dari pabrik.

2.5 Loss Daya Total

Berikut rumus untuk menentukan loss daya total :

$$L_t = P_s - P_r \quad (6)$$

$$L_t = 2\alpha_c + n \alpha_s + \alpha_f + M_s \quad (7)$$

2.6 Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metoda untuk menentukan batasan dispersi pada saluran transmisi, tujuannya adalah untuk menganalisis kerja sistem secara keseluruhan dalam memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. *Rise time budget* sistem secara keseluruhan diberikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L_{sist}$$

$$t_{sist}^2 = t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2$$

$$t_{sist} = [t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2]^{1/2} \quad (8)$$

dimana :

t_{tx} = Rise time sumber optik(ps)

t_{rx} = Rise time detector optik(ps)

Nilai *Rise Time Budget* sistem untuk line coding berbeda dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$t_{sist} \leq \frac{0.7}{BR} \quad \text{untuk NRZ} \quad (9)$$

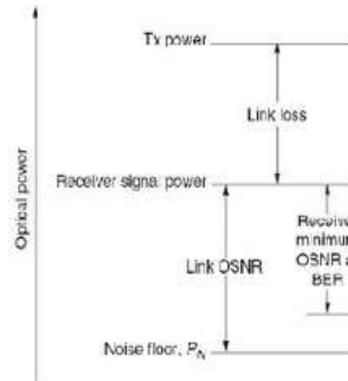
$$t_{sist} \leq \frac{0.35}{BR} \quad \text{untuk RZ} \quad (10)$$

Dimana B_R merupakan *bit rate* system.

2.7 OSNR (Optikal Signal to Noise Ratio)

OSNR didefinisikan sebagai perbandingan logaritma daya sinyal optik rata-rata terhadap daya derau optik rata-rata pada spectrum bandwidth tertentu yang diukur di input dari Optikal receiver. Hal tersebut bisa dirumuskan sebagai berikut:

$$OSNR = 10 \log \left(\frac{P_{sig}}{P_{noise}} \right) \quad (11)$$



Gambar 3. Diagram Daya

3. METODA

Pada penelitian ini, untuk memperoleh data dilakukan dengan perhitungan dan pengukuran.

3.1 Perhitungan

3.1.1 Jarak Transmisi Maksimum

Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui perlu tidaknya penggunaan penguat dalam perencanaan link transmisi ini. Dengan menggunakan formula (5), jarak maksimum jaringan serat optik dapat diperoleh :

$$L_{sistem}(km) = \frac{P_{tx} - P_{rx} - 2\alpha_c + \alpha_s - M_s}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

$$L_{sistem}(km) = \frac{4 - (-26) - 2(0.1) + 0.05 - 5}{0.23 + \frac{0.1}{35.5}} = 106,73 \approx 107 \text{ km}$$

Hasil perhitungan menandakan bahwa jika jarak pada link melebihi 107 km , maka dibutuhkan penguat. Pada penelitian kali ini tidak melebihi jarak maksimum , maka tidak dibutuhkan penguat .

3.1.2 Power Link Budget

Dengan menggunakan formula (1), (2), (3)&(4) , di dapatkan hasil sebagai berikut (data diambil dari ketentuan dan data teknis yang ada)

Loss Fiber : (L_f)

$$\alpha_f = L \times L_f = 35,5 \times 0,23 = 8,165 \text{ dB}$$

Loss Splice (L_s)

$$\alpha_s = N_s \times L_s = 3 \times 0,05 = 0,15 \text{ dB}$$

Loss Konektor (L_c)

$$\alpha_c = N_c \times L_c = 2 \times 0,1 = 0,2 \text{ dB}$$

$$P_r = P_t - \alpha_f - \alpha_s - \alpha_c = (4 \text{ dBm}) - 8,165 - 0,15 - 0,2 - 5$$

$$= -9.515\text{dBm}$$

3.1.3 Loss Daya Total

Berdasarkan dengan formula (9) dapat di peroleh nilai loss daya total.

$$\begin{aligned} L_t &= P_s - P_r \\ L_t &= \alpha_c + \alpha_s + \alpha_f + M_s \\ &= 0,2 + 0,15 + 8,165 + 5 \\ &= 13,515\text{dB} \end{aligned}$$

3.1.4 Perhitungan Rise Time Budget

Pada perhitungan ini, sejumlah data diambil dari ketentuan dan data teknis yang ada, dimana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Link Menteng - Bintaro

Parameter	Nilai
Jarak	35.5 km
Jenis Kabel	Single Mode
Tipe Kabel	G.655 C
Dispersi Kromatik(D)	4.3 ps/nm.km
Jumlah kabel	3 haspel
Jumlah Splice	3 splice
Lebar spektral	0.1 nm

Dengan menggunakan persamaan (9) , maka rise time sistem untuk STM -64 (10Gps) dengan pengkodean NRZ adalah :

$$\begin{aligned} tr &= \frac{0,7}{BR} = \frac{0,7}{10 \times 10^9} \\ &= 70 \text{ ps} \end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan rise time link Menteng – Bintaro dapat dicari dengan persamaan (8)

$$t_{sis} = \sqrt{t^2_{source} + t^2_{det} + t^2_f}$$

$$\begin{aligned} t_f &= D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (4,3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times 35,5 \\ &= 15,26 \text{ ps} \end{aligned}$$

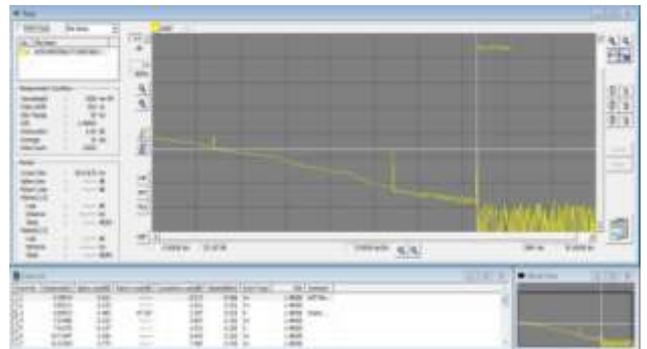
$$\begin{aligned} t_{sis} &= \sqrt{t^2_{source} + t^2_{det} + t^2_f} \\ &= \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (15,26)^2} \\ &= 51,79 \text{ ps} \end{aligned}$$

3.2 Pengukuran

3.2.1 Power Link Budget Berdasarkan OTDR

Hasil pengamatan melalui OTDR kemudian dipakai untuk melakukan perhitungan power link budget. Dengan menggunakan formula (4) dilakukan pengolahan hasil pengukuran untuk link Menteng - Bintaro menggunakan Panjang gelombang (λ) = 1550

nm . Gambar 4. dan Tabel 2. memperlihatkan hasil pengukuran OTDR.



Gambar 4. Hasil pengukuran OTDR Link Menteng – Bintaro

Tabel 3. Hasil Pengukuran Pembacaan OTDR

PORT	Hasil Pembacaan OTDR		Jarak (km)
	Parameter	Loss	
	Redaman konektor (α_c)	2.0 dB	35,570
	Redaman Splice (α_s)	0.324 dB	
	Redaman Serat (α_{serat})	11,60 dB	

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - \alpha_f - \alpha_s - \alpha_c \\ &= (4 \text{ dBm}) - 11,6\text{dB} - 0,324\text{dB} - 2,0\text{dB} \\ &= -9,924 \text{ dBm} \end{aligned}$$

3.2.2 Loss Daya Total

Berdasarkan nilai hasil pengukuran dengan OTDR dilihat dari Tabel 3., dapat di peroleh nilai loss daya total

$$\begin{aligned} L_t &= P_s - P_r \\ L_t &= \alpha_c + \alpha_s + \alpha_f \\ &= 2,0 + 0,324 + 11,60 \\ &= 13,924\text{dB} \end{aligned}$$

3.2.3 Rise Time Budget Berdasarkan Hasil Pengukuran menggunakan OTDR

Hasil pengamatan melalui OTDR kemudian dipakai untuk melakukan perhitungan rise time budget. Berikut dilakukan pengolahan hasil pengukurannya untuk link Menteng– Bintaro. Perhitungan rise time link Menteng – Bintaro dapat dicari dengan formula (8).

$$\begin{aligned} t_{sis} &= \sqrt{t^2_{source} + t^2_{det} + t^2_f} \\ t_f &= D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (4,3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times 36,570\text{km} \\ &= 15,73 \text{ ps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{sis} &= \sqrt{t^2_{source} + t^2_{det} + t^2_f} \\ &= \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (15,73)^2} \\ &= 51,93 \text{ ps} \end{aligned}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Power Link Budget Sistem

Dengan menghitung power link budget, maka dapat diketahui kelayakan sistem komunikasi serat optik. Hal ini juga diperlukan untuk menjamin tingkatan daya terima pada receiver apakah masih berada diatas minimum threshold sehingga sinyal informasi yang dikirim dapat diterima dengan baik oleh receiver. Di bawah ini adalah tabel daya terima perhitungan dan pengukuran berdasarkan OTDR untuk panjang gelombang 1550 nm :

Tabel 4. Nilai daya terima hasil perhitungan dan pengukuran

$\lambda=1550 \text{ nm}$		
Link	Perhitungan (dBm)	Pengukuran (dBm)
Menteng-Bintaro	- 9,515	- 9,924

Daya terima hasil pengukuran OTDR sedikit berbeda nilainya dengan nilai hasil perhitungan berdasarkan data spesifikasi pada tabel 4. Hal ini disebabkan karena pada daya terima hasil pengukuran memiliki nilai redaman yang besar baik dari redaman kabel maupun redaman sambungan. Akan tetapi nilai hasil *power link budget* berdasarkan pengukuran nilainya masih diatas ambang sensitivitas penerima sebesar -26 dBm, maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran nilainya masih memenuhi ketentuan.

4.2 Loss Daya Total

Di bawah ini adalah tabel daya terima perhitungan dan pengukuran berdasarkan OTDR

Tabel 5. Loss Daya Total hasil perhitungan dan pengukuran

$\lambda=1550 \text{ nm}$		
Link	Perhitungan (dB)	Pengukuran (dB)
Menteng-Bintaro	13,515 dB	13,924 dB

Redaman kabel hasil perhitungan nilainya berbeda dengan redaman kabel hasil pengukuran OTDR. Bila dilihat pada *link* Menteng – Bintaro dengan panjang gelombang ($\lambda=1550 \text{ nm}$) semua nilai redaman kabel hasil pengukuran OTDR nilainya sedikit lebih besar dibandingkan hasil perhitungan, hal ini disebabkan karena untuk perhitungan kabel diasumsikan baru (kondisi ideal), sedangkan pada saat pengukuran dilakukan terhadap kabel yang memang sudah digelar di lapangan, jadi sudah terpengaruh oleh berbagai kondisi lingkungan yang menyebabkan redamannya bertambah.

4.3 Nilai Rise Time Budget Sistem

Evaluasi terhadap parameter ini diperlukan karena dalam Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) terdapat dispersi yang harus diperhatikan agar informasi dalam jaringan serat optik tetap terjamin dan sistem dapat melewati *bit rate* yang ditransmisikan. Dengan perhitungan *rise time budget* dapat ditentukan batasan dispersi maksimum suatu jaringan transmisi dan dapat diketahui kemungkinan terjadinya degradasi (penurunan) sinyal digital sepanjang jaringan transmisi yang disebabkan oleh komponen yang digunakan. Sesuai dengan hasil perhitungan dapat diketahui nilai rise time sistem sebesar 70 ps . Nilai rise time ini sebagai pembanding dari nilai rise time link pada implementasi kali ini.

Tabel 6. Rise Time hasil perhitungan dan pengukuran

$\lambda=1550 \text{ nm}$		
Link	Perhitungan (ps)	Pengukuran (ps)
Menteng-Bintaro	51,79	51,93

Hasil *rise time budget* pengukuran OTDR di link ini apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan data spesifikasi , memiliki perbedaan selisih yang sangat kecil. Dari hasil perhitungan dan pengukuran OTDR didapat bahwa semua *link* memenuhi syarat $t_{sist} \leq 70 \text{ ps}$ artinya adalah dispersi yang ada pada sistem tersebut masih dalam batas normal yang berarti tidak mengganggu kinerja system.

4.4 Kecepatan Transmisi pada DWDM

Pada jalur Menteng – Bintaro tersedia untuk 80 kanal dan yang dioperasikan baru 27 kanal dengan 27 panjang gelombang seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Panjang Gelombang untuk masing2 27 kanal

λ	Nilai λ (nm)	No Ch	λ	Nilai λ (nm)	No Ch
λ_1	1529.55	2	λ_{15}	1546.92	46
λ_2	1531.11	6	λ_{16}	1547.71	48
λ_3	1531.89	8	λ_{17}	1548.49	50
λ_4	1532.67	10	λ_{18}	1549.31	52
λ_5	1533.46	12	λ_{19}	1550.11	54
λ_6	1534.24	14	λ_{20}	1552.51	60
λ_7	1535.03	16	λ_{21}	1553.32	62
λ_8	1535.81	18	λ_{22}	1554.98	66
λ_9	1536.61	20	λ_{23}	1555.76	68
λ_{10}	1538.98	26	λ_{24}	1556.55	70
λ_{11}	1539.77	28	λ_{25}	1558.17	74
λ_{12}	1540.55	30	λ_{26}	1559.0	76
λ_{13}	1541.34	32	λ_{27}	1560.58	80
λ_{14}	1542.92	36			

Dari total 80 kanal yang tersedia yang sudah in service sejumlah 27 kanal dimana tiap kanal membawa data sebesar 10Gbps. Dari hasil tersebut diketahui bahwa kecepatan transmisi pada jalur menteng – bintaro ini mencapai $27 \times 10\text{Gbps} = 270\text{Gbps}$, dengan *channel spacing* 0,8 .

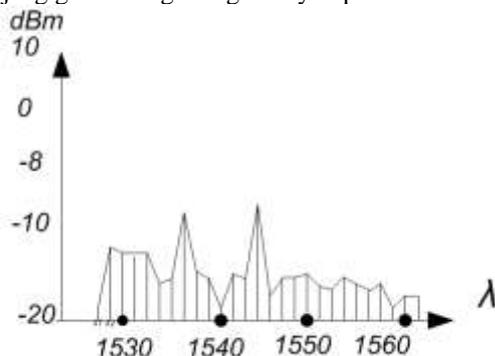
4.5 Analisis OSNR pada sistem DWDM

Hasil dari pengukuran OSNR dan daya optis setiap panjang gelombang yang digunakan dilakukan dengan software yang terdapat pada U2000, dan hasilnya diperlihatkan seperti Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengukuran OSNR dan Daya Optis

No	Standard $\lambda(\text{nm})$	Central $\lambda(\text{nm})$	Deviasi λ	Daya (dBm)	OSNR (dB)
2	1529.55	1529.55	0.0	-18.6	27.3
6	1531.12	1531.11	-0.01	-11.7	33.6
8	1531.9	1531.89	-0.01	-12.4	31.9
10	1532.68	1532.67	-0.01	-12.0	33.5
12	1533.47	1533.46	-0.01	-12.4	31.5
14	1534.25	1534.24	-0.01	-15.5	25.9
16	1535.04	1535.03	-0.01	-17.3	26.4
18	1535.82	1535.81	-0.01	-10.7	32.7
20	1536.61	1536.61	0.0	-15.2	29.7
26	1538.98	1538.98	0.0	-17.9	26.7
28	1539.77	1539.77	0.0	-18.0	28.2
30	1540.56	1540.55	-0.01	-11.9	38.4
32	1541.35	1541.34	-0.01	-12.2	34.2
36	1542.94	1542.92	-0.02	-9.1	33.5
46	1546.92	1546.92	0.0	-16.0	29.1
48	1547.72	1547.71	-0.01	-12.8	31.9
50	1548.51	1548.49	-0.02	-11.1	35.6
52	1549.32	1549.31	-0.01	-13.8	35.4
54	1550.12	1550.11	-0.01	-15.0	31.7
60	1552.52	1552.51	-0.01	-16.4	31.7
62	1553.33	1553.32	-0.01	-12.4	35.1
66	1554.94	1554.98	0.04	-13.5	35.0
68	1555.75	1555.76	0.01	-14.2	32.5
70	1556.55	1556.55	0.0	-15.9	29.1
74	1558.17	1558.17	0.0	-18.4	28.2
76	1558.98	1559.0	0.02	-14.3	31.1
80	1560.61	1560.58	-0.03	-14.1	32.1

Dari data tersebut dapat dibuat grafik hubungan panjang gelombang dengan daya optik.



Gambar 5. Grafik Spectrum Waveform

Data Tabel 5. di atas diambil dari keluaran multiplexer optik, sinyal optical keluaran multiplexer

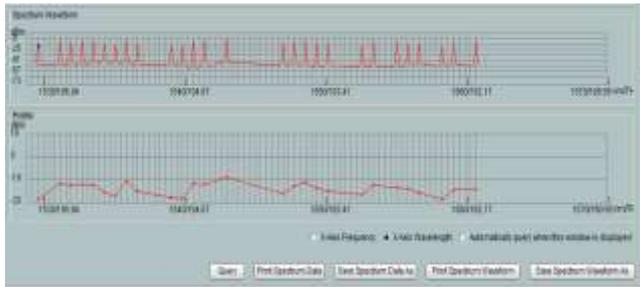
optik ini dilewatkan ke power amplifier optik yang besarnya gain dari power amplifier ini adalah 25 dB. Sehingga didapat sinyal optik per-lambda adalah sebesar 7 dBm dan harus flat (nilai 7 dBm ini adalah nilai optimal dari system DWDM ini).

Kondisi DWDM ini dilihat dari sisi amplitudo adalah kurang optimal hal ini dapat dilihat dari daya optis per lambda pada Tabel 8. dan grafik pada gambar 5. dimana daya optis Tx yang tidak rata . Untuk melakukan perbaikan dapat dilakukan dengan menambah attenuator jika daya signal terlalu besar atau mengurangi attenuator jika daya signal terlalu kecil. Dapat dilakukan dengan cara melakukan setting di equipment yang dinamakan variable attenuator . Dari Tabel 9. jika hasil attenuator (-) maka berarti attenuator harus dikurangi ,jika (+) maka attenuator harus ditambahkan. Gambar 6 memperlihatkan hasil daya optis per-lambda yang rata setelah di setting dengan variable attenuator.

Keuntungan lain dengan adjustment sinyal menjadi flat adalah meratakan noise per lambda sehingga akan didapatkan nilai OSNR yang jauh lebih baik. Batas minimal dari OSNR ini adalah 25 dB sedangkan nilai optimalnya adalah 28 dB.

Tabel 9. Hasil OSNR dengan Attenuator adjustment

No	Central λ (nm)/ f (THz)	Daya (dBm)	Att.adjust (dB)	Tx (dBm)
2	1529.55/196.0	-18.6	-0.60	-18
6	1531.11/195.8	-11.7	6.30	-18
8	1531.89/195.7	-12.4	5.60	-18
10	1532.67/195.6	-12.0	6.00	-18
12	1533.46/195.5	-12.4	5.60	-18
14	1534.24/195.4	-15.5	2.50	-18
16	1535.03/195.3	-17.3	0.70	-18
18	1535.81/195.2	-10.7	7.30	-18
20	1536.61/195.1	-15.2	2.80	-18
26	1538.98/194.8	-17.9	0.10	-18
28	1539.77/194.7	-18.0	0.00	-18
30	1540.55/194.6	-11.9	6.10	-18
32	1541.34/194.5	-12.2	5.80	-18
36	1542.92/194.3	-9.1	8.90	-18
46	1546.92/193.8	-16.0	2.00	-18
48	1547.71/193.7	-12.8	5.20	-18
50	1548.49/193.6	-11.1	6.90	-18
52	1549.31/193.5	-13.8	4.20	-18
54	1550.11/193.4	-15.0	3.00	-18
60	1552.51/193.1	-16.4	1.60	-18
62	1553.32/193.0	-12.4	5.60	-18
66	1554.98/192.8	-13.5	4.50	-18
68	1555.76/192.7	-14.2	3.80	-18
70	1556.55/192.6	-15.9	2.10	-18
74	1558.17/192.4	-18.4	-0.40	-18
76	1559.0/192.3	-14.3	3.70	-18
80	1560.58/192.1	-14.1	3.90	-18



Gambar 6. Spectrum Waveform setelah diperbaiki

Hasil deviasi panjang gelombang pada Tabel 10. menunjukkan adanya selisih nilai antara panjang gelombang yang sudah ditentukan dengan panjang gelombang pada sistem DWDM ini . Namun hasil deviasi masih di atas ambang batas normal yaitu 0.07 nm .

Tabel 10. Hasil OSNR dengan Deviasi Panjang Gelombang

No Ch	Standard $\lambda(\text{nm})/f$ (THz)	Central $\lambda(\text{nm})/f$ (THz)	Deviasi (nm)	OSNR (dB)
2	1529.55/196.0	1529.55/196.0	0.0	27.3
6	1531.12/195.8	1531.11/195.8	-0.01	33.6
8	1531.9/195.7	1531.89/195.7	-0.01	31.9
10	1532.68/195.6	1532.67/195.6	-0.01	33.5
12	1533.47/195.5	1533.46/195.5	-0.01	31.5
14	1534.25/195.4	1534.24/195.4	-0.01	25.9
16	1535.04/195.3	1535.03/195.3	-0.01	26.4
18	1535.82/195.2	1535.81/195.2	-0.01	32.7
20	1536.61/195.1	1536.61/195.1	0.0	29.7
26	1538.98/194.8	1538.98/194.8	0.0	26.7
28	1539.77/194.7	1539.77/194.7	0.0	28.2
30	1540.56/194.6	1540.55/194.6	-0.01	38.4
32	1541.35/194.5	1541.34/194.5	-0.01	34.2
36	1542.94/194.3	1542.92/194.3	-0.02	33.5
46	1546.92/193.8	1546.92/193.8	0.0	29.1
48	1547.72/193.7	1547.71/193.7	-0.01	31.9
50	1548.51/193.6	1548.49/193.6	-0.02	35.6
52	1549.32/193.5	1549.31/193.5	-0.01	35.4
54	1550.12/193.4	1550.11/193.4	-0.01	31.7
60	1552.52/193.1	1552.51/193.1	-0.01	31.7
62	1553.33/193.0	1553.32/193.0	-0.01	35.1
66	1554.94/192.8	1554.98/192.8	0.04	35.0
68	1555.75/192.7	1555.76/192.7	0.01	32.5
70	1556.55/192.6	1556.55/192.6	0.0	29.1
74	1558.17/192.4	1558.17/192.4	0.0	28.2
76	1558.98/192.3	1559.0/192.3	0.02	31.1
80	1560.61/192.1	1560.58/192.1	-0.03	32.1

Berdasarkan Tabel 10. didapatkan hasil OSNR berkisar dari 25.9 – 38.4dB, hasil tersebut dikatakan baik karena masih diatas batas minimal dari OSNR ini yaitu 25 dB. Nilai OSNR optimal pada sistem ini adalah sebesar 28 dB.

5. SIMPULAN

Hasil perhitungan power link budget link Menteng-Bintaro dengan $\lambda=1550$ nm daya terima hasil sebesar -9,515dBm sedangkan untuk pengukuran nilainya -9,924 dBm. Keduanya tidak terlalu berbeda dan masih di atas ambang sensitivitas penerima yaitu

sebesar -26 dBm, berarti dilihat dari sisi daya terima system sangat baik.

Dari hasil perhitungan maupun pengukuran rise time budget sebesar 51,93 ps & 51,79 ps telah memenuhi syarat $t_s \leq 70$ ps artinya adalah dispersi yang ada pada sistem tersebut masih dalam batas normal yang berarti tidak mengganggu kinerja sistem.

Setelah perhitungan jarak transmisi maksimum pada link menteng – bintaro, didapat bahwa tidak perlu adanya penguat , karena jarak link tersebut masih dibawah jarak maksimum yaitu 107 km .

Kapasitas total dari jalur menteng – bintaro ini mencapai 270Gbs , karena pada jalur ini mempunyai panjang gelombang yang berbeda sebanyak 27 lambda.

Dari hasil pengukuran OSNR dengan menggunakan spektrum analyzer didapatkan hasil OSNR berkisar dari 25.9 dB – 38.4 dB, hasil tersebut dikatakan baik karena masih diatas batas minimal dari OSNR ini yaitu 25 dB. Untuk kondisi yang dilihat dari sisi amplitudo masih kurang optimal karena daya optis per-lambda yang tidak rata. Namun hal ini dapat diperbaiki dengan mengatur nilai attenuator yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Awagral, G. 1997. *Fiber Optic Communication Systems*, 2nd ed, John Wiley & Sons, New York.
- Anonimus. 2001. *Introduction to DWDM Technology*. Cisco Press: San Jose.
- Ahmed, Riaz . 2008. *Performance Analysis of DWDM*. India
- Irawan Irfan . 2013. *Analisis Kinerja Jaringan Berbasis DWDM 1 Gbps dengan Menggunakan Multiplexer Photonic Service Switch*. Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Telekomunikasi, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.
- Kolimbris, Harold. 2003. *Fiber Optic Communication*. Prentice Hall.
- Praja Guntara, Fazar. 2013. *Analisis Perhitungan dan Pengukuran Transmisi Jaringan Serat Optik Telkomsel Region Jawa Tengah*. Jurnal Reka Elkomika, Jurusan Teknik Elektro ITENAS.
- Rao, Janardhana. 2006. *Optical Communication*. UBICC Press: India.
- Saydam, Gauzali. 1997. *Prinsip Dasar Teknologi Jaringan Telekomunikasi*. Angkasa: Bandung.
- Sri, Widodo. 1997. *Komunikasi Optik*. Andi Offset: Yogyakarta.
- Widodo, Thomas Sri. 2002. *Analisis Pengukuran Jaringan Akses Serat Optik Ring SDH Dengan Menggunakan OTDR*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro FT UGM, Yogyakarta.
- Wicaksono, Galih. 2010. *Pengukuran Kabel Serat Optik Dengan Metode OTDR*. Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang.