

**PERANCANGAN JARINGAN *FIBER TO THE HOME* (FTTH) MENGGUNAKAN
TEKNOLOGI *COARSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING* (CWDM)
UNTUK PERUMAHAN PESONA CIWA STRA VILLAGE BANDUNG**

***DESIGN OF FIBER TO THE HOME (FTTH) NETWORK USING COARSE
WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (CWDM) FOR PESONA CIWA STRA
VILLAGE RESIDENCE BANDUNG***

Fajri Tanjung^[1], Akhmad Hambali, Ir., MT. ^[2], R. Bambang Cahyo Widodo, Ir., MT. ^[3]

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹tanjung.fajri@gmail.com, ²ahambali@telkomuniversity.ac.id, ³bambang.c4hy0@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan akan kapasitas dan bandwidth yang semakin tinggi pada jaringan akses PT Telkom dapat kita temui di daerah perkotaan atau metropolitan. CWDM merupakan teknologi yang dapat menjadi solusi akan kebutuhan tersebut. Teknologi CWDM sesuai untuk wilayah metro (<80km) karena biaya yang lebih rendah untuk meningkatkan kapasitas hingga 18 saluran^[1].

Perancangan jaringan FTTH dengan teknologi CWDM ini dilakukan dengan membuat jalur awal lalu penentuan perangkat, spesifikasi, tata letak dan volume yang digunakan serta mensimulasikannya dengan perangkat lunak. Kemudian untuk kelayakan sistem di analisa menggunakan parameter *link power budget* dan *rise time budget*, sedangkan untuk performansi sistem di analisa dengan parameter SNR (Sinyal to Noise Ratio) dan BER (Bit Error Rate) serta, analisa perbandingan dan optimalisasi teknologi CWDM terhadap teknologi *existing*.

Hasil analisa perhitungan dengan jarak terjauh dan redaman panjang gelombang per kilometer terbesar didapatkan hasil perhitungan *link power budget* dengan Prx sebesar -27.0456 dBm untuk *downstream* dan Prx sebesar -27.7615 dBm untuk *upstream*. Sedangkan hasil analisa simulasi didapatkan nilai Prx sebesar -24.475 dBm untuk *downstream* dan -25.297 dBm untuk *upstream*. Hasil *power link budget* masih berada diatas level sensitivity penerima yaitu -28 dBm. Hasil perhitungan *Rise Time Budget* untuk pada jaringan optik terjauh menghasilkan total waktu maksimum sebesar 0.1815 ns untuk *downstream* dan 0.1852 ns untuk *upstream*, waktu tersebut masih berada dibawah nilai waktu pengkodean NRZ sebesar 0.28 ns. Hasil perhitungan performansi jaringan diperoleh nilai SNR terkecil sebesar 27.033 dB dan BER terbesar senilai 1.36×10^{-29} untuk *downstream* serta SNR terkecil sebesar 28.6518 dB dan BER terbesar senilai 1.52×10^{-42} untuk *upstream*. Sistem perancangan memiliki performansi yang sangat baik karena SNR masih diatas standar yang dimiliki PT. Telkom yaitu 21.5 dB, serta BER yang lebih kecil dari 10^{-9} .

Kata Kunci : FTTH, CWDM, *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, SNR, BER

Abstract

The need for capacity and higher bandwidth in the access network PT Telkom can we encountered in urban or metropolitan areas. CWDM is a technology that can be the solution will those needs. CWDM technology is suitable for metro area (<80km) due to lower costs to increase capacity up to 18 channels^[1].

FTTH network design with CWDM technology is done by making the initial path and the determination of the device, specifications, layout and volume used and simulating with the software. Then to feasibility analysis system using the parameter *link power budget* and *rise time budget*, while for performance analysis system with parameter SNR (Signal to Noise Ratio) and BER (Bit Error Rate) as well as, comparative analysis and optimization of CWDM technology to existing technology.

Results of analysis and calculation with the furthest distance attenuation per kilometer wavelength obtained most *link power budget* calculation results with Prx -27.0456 dBm for the *downstream* and Prx -27.7615 dBm for the *upstream*. While the analysis of simulation results obtained Prx value -24.475 dBm for the *downstream* and -25.297 dBm for the *upstream*. *link power budget* results remain above the level of receiver sensitivity is -28 dBm. *rise time budget* calculation results for the optical network furthest produce a total maximum period 0.1815 ns for the *downstream* and 0.1852 ns for the *upstream*, when they are still below the value of NRZ encoding time 0.28 ns. Network performance calculation results obtained value of smallest SNR 27.033 dB and largest BER worth of 1.36×10^{-29} for the *downstream* and smallest SNR 28.6518 dB and largest BER worth 1.52×10^{-42} for the *upstream*. The system design has excellent performance because SNR is still above the standard that is owned by PT. Telkom is 21.5 dB, as well as smaller BER of 10^{-9} .

Keywords: FTTH, CWDM, *Link Power Budget*, *Rise Time Budget*, SNR, BER

1. Pendahuluan

Saat ini jaringan akses mengalami perkembangan yang cukup cepat. Hal ini dapat dilihat dari proses migrasi kabel tembaga ke serat optik yang sedang digarap oleh PT.Telkom karena kebutuhan akan kapasitas dan bandwidth yang semakin tinggi. Fenomena ini dapat dengan jelas kita temui di daerah perkotaan atau metropolitan. CWDM merupakan teknologi yang dapat menjadi solusi akan kebutuhan tersebut. Prinsip kerja dasar dari CWDM yaitu mentransmisikan kombinasi sejumlah panjang gelombang yang berbeda dalam satu fiber. Teknologi CWDM cocok untuk wilayah metro (<80km) karena biaya yang lebih rendah untuk meningkatkan kapasitas hingga 18 saluran^[1].

Penelitian mengenai uji performansi CWDM sebelumnya dilakukan perancangan FTTH menggunakan teknologi CWDM dari ODC hingga ONT pelanggan kos-kosan daerah sukabirus. Hasil penelitian menunjukkan kelayakan sistem untuk nilai *link power budget* yang masih diatas nilai standard NRZ^[5]. Perbedaan penelitian tugas akhir ini dengan penelitian sebelumnya terdapat pada titik mulai perancangan yang diambil dari STO bukan dari ODC dengan tambahan analisa perbandingan teknologi CWDM terhadap teknologi *existing*.

Dalam tugas akhir ini, dilakukan perancangan dan simulasi menggunakan perangkat lunak untuk jaringan akses FTTH menggunakan teknologi CWDM dengan membuat jalur awal lalu penentuan perangkat, spesifikasi, tata letak dan volume yang digunakan. Kemudian untuk kelayakan sistem di analisa menggunakan parameter *link power budget* dan *rise time budget*, sedangkan untuk performansi sistem di analisa dengan parameter SNR dan BER serta, analisa perbandingan teknologi CWDM terhadap teknologi *existing*.

2. Landasan Teori

2.1 Serat Optik

Fiber optik adalah sebuah media transmisi fisik yang terbuat dari kaca dilapisi isolator sebagai pelindung berguna untuk menyalurkan informasi berupa gelombang cahaya. Serat optik mempunyai bentuk yang halus dan memiliki ketebalan hingga 1 mm untuk dua puluh helai serat. Selain ringan, kapasitas kanal dari serat ini sangat besar. Struktur serat optik ada 3 yaitu *core*, *cladding* dan *coating*.

2.2 Fiber to The Home

FTTH merupakan suatu format penghantar informasi berupa gelombang cahaya dari pusat penyedia (*provider*) ke kawasan pengguna dengan menggunakan serat optik sebagai medium penghantar. Perkembangan teknologi ini tidak lepas dari kemajuan perkembangan teknologi serat optik yang dapat menggantikan penggunaan kabel tembaga dengan kelengkapannya dalam menyediakan layanan *triple play* (suara, data, dan video).

Berikut komponen dari FTTH utama:

1. Optical Line Terminal (OLT)

OLT menyediakan *interface* antara sistem *Optical Distribution Network* (ODN) dengan penyedia layanan (*service provider*) data, video, dan jaringan telepon. OLT mengubah sinyal elektrik menjadi optik dan sebaliknya, dan berfungsi sebagai alat multiplex

2. Optical Distribution Cabinet (ODC)/ Rumah Kabel dan Optical Distribution Point (ODP)

ODC dan ODP adalah suatu perangkat pasif yang diinstalasi diluar STO bisa di lapangan (*Outdoor*) dan juga bisa didalam ruangan/ di MDF Gedung HRB (*Indoor*), yang mempunyai fungsi sebagai splitter.

3. Optical Network Terminal/Unit (ONT/ONU)

ONU menyediakan *interface* antara jaringan optik dengan pelanggan.

2.3 CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

Coarse Wavelength Division Multiplexing adalah suatu bentuk *pe-multiplex-an* panjang gelombang yang mempunyai jarak yang lebih lebar antar panjang gelombangnya dibandingkan dengan *Densse Wavelength Division Multiplexing* 18 panjang gelombang dapat dikirimkan menggunakan CWDM. CWDM dapat digunakan pada serat ragam jamak dan juga serat ragam tunggal. Meskipun jarak tempuh lebih pendek dibandingkan DWDM, harga pemakaian CWDM lebih murah daripada DWDM.

2.4 Parameter Kelayakan Perancangan

2.4.1 Link Power Budget

Link power budget dihitung sebagai syarat agar *link* yang kita rancang dayanya melebihi batas ambang dari daya yang dibutuhkan. Untuk menghitung *link power budget* dapat dihitung dengan rumus :

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{kabel} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + S_p \quad (1)^{[5]}$$

Bentuk persamaan untuk perhitungan margin daya adalah :

$$M = (P_t - P_r) - \alpha_{tot} - SM \quad (2)^{[5]}$$

Keterangan :

Pt	= Daya keluaran sumber optik (dBm)	α_s	= Redaman sambungan (dB/sambungan)
Pr	= Sensitivitas daya maksimum detektor (dBm)	α_{serat}	= Redaman serat optik (dB/ Km)
SM	= Safety margin, berkisar 6-8 dB	Ns	= Jumlah sambungan
α_{tot}	= Redaman Total sistem (dB)	Nc	= Jumlah konektor
L	= Panjang serat optik (Km)	Sp	= Redaman <i>Splitter</i> (dB)
α_c	= Redaman Konektor (dB/buah)		

2.4.2 Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. Umumnya degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 persen dari satu periode bit NRZ (*Non-return-to-zero*) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (*return-to-zero*). Untuk menghitung *Rise Time budget* dapat dihitung dengan rumus:

$$t_{total} = (t_{tx}^2 + t_{material}^2 + t_{modus}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \tag{3}^{[5]}$$

$$t_{material} = \Delta\sigma \times L \times Dm \tag{4}^{[5]}$$

Keterangan:

t_{tx}	= <i>Rise time transmitter</i> (ns)	$\Delta\sigma$	= Lebar Spektral (nm)
t_{rx}	= <i>Rise time receiver</i> (ns)	L	= Panjang serat optik (Km)
t_{modus}	= bernilai nol (untuk serat optik <i>single mode</i>)	Dm	= Dispersi Material (ps/nm.Km)

2.5 Parameter Performansi Perancangan

2.5.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal terhadap daya noise pada satu titik yang sama.

$$SNR = \frac{\text{Daya Sinyal}}{\text{Daya Noise}} \tag{5}^{[5]}$$

1. Daya Sinyal (*Signal power*)

Daya sinyal merupakan kuat daya sinyal yang diterima pada *receiver*. Besar daya sinyal di penerima ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$Signal\ Power = 2(Pr \frac{\eta}{h\nu})^2 \tag{6}^{[5]}$$

Keterangan:

Pr	= Daya Sinyal yang diterima detector (W)
$(\eta q)/(h\nu)$	= R = Responsivitas (A/W)
η	= efisiensi quantum (%)
h	= konstanta plank = 6.625×10^{-34} J.s
h ν	= energi photon (kWh)
q	= muatan electron (C) = $1,6 \times 10^{-19}$ J/ eV

2. Derau (*noise*)

Derau adalah sinyal-sinyal yang tidak diinginkan yang selalu ada dalam suatu sistem transmisi. *Level noise* yang cukup besar akan terasa mengganggu pada sisi penerima. Sumbangan daya *noise* di detector cahaya (*receiver*) pada sistem komunikasi serat optik ada 3 macam yaitu: *thermal noise*, *noise dark current* dan *shot noise*.

3. Arus gelap (*dark current*)

Arus gelap yaitu arus balik (*reverse current*) kecil yang mengalir melalui persikap balik (*reverse bias diode*).

$$Noise\ dark\ current\ (A) = 2\ q\ i_{DB} \tag{7}^{[5]}$$

Keterangan :

q	= muatan elektron (C) = $1,6 \times 10^{-19}$ J/ eV
i_D	= arus gelap (A)
B	= bandwidth detektor cahaya (Hz)

4. Derau termal (*Thermal Noise*)

Derau termal adalah arus yang berasal dari struktur gerak acak elektron bebas pada komponen-komponen elektronik.

$$Thermal\ Noise\ (A) = \frac{4\ k\ B\ T_{eff}}{R_1} \tag{8}^{[5]}$$

Keterangan :

k	= konstanta Boltzman (J/K) = $1,38 \times 10^{-23}$ J/ OK
B	= <i>bandwidth</i> detector cahaya (Hz)
Teff	= <i>effective noise temperatur</i> (oK)
R_1	= <i>equivalent resistance</i> (Ω)

5. Derau tembakan/tumbukan (*Shot Noise*)

Derau tembakan terjadi karena adanya ketidaklinearan pada sistem.

$$\text{Shot Noise} = 2q (2P_{pr} / h\nu) BM^2F(M) \tag{9}^{[5]}$$

Keterangan :

- Pr = Daya sinyal yang diterima di detektor (W) (ηq)/(hv)
- R = Responsivitas (A/W)
- M = Tambahan daya sinyal pada detektor cahaya (apabila yang digunakan adalah APD)
- F(M) = *noise figure*, menunjukkan kebaikan penguat dalam memproses sinyal. Pada sistem komunikasi serat optik
- F(M) = Mx dimana x adalah exces faktor dari gain (0< X<1)

2.5.2 Bit Error Rate (BER)

BER merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital. Dimana BER dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$(S/N) = 20 \text{ Log } 2Q \tag{10}^{[5]}$$

Sehingga diperoleh nilai pendekatan:

$$\text{BER} = P_e(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \tag{11}^{[5]}$$

Dimana, *Q* = *Quantum noise* dan *Pe* = *Probability Error*

3. Perancangan

Pada bagian ini memaparkan langkah - langkah perancangan dari jaringan FTTH, sebagai panduan dalam proses penelitian agar sesuai dengan rencana. Berikut adalah model proses perancangan yang akan dilakukan:



Gambar 1 Diagram Alir Perancangan

4. Analisis dan Simulasi

4.1 Analisa Perhitungan Kelayakan

4.1.1 Link Power Budget

Jarak terjauh OLT-ONT diperoleh 2012 meter dengan jarak OLT-ODC 1100 meter, ODC-ODP 837 meter dan ODP-ONT 75 meter.

Downstream (1271)

$$\alpha_{tot} = L.\alpha_{serat} + N.\alpha_c + N.\alpha_s + Sp$$

$$\alpha_{tot} = ((1.1 \times 0.47) + (0.837 \times 0.47) + (0.075 \times 0.47)) + (5 \times 0,2) + (3 \times 0.1) + (7,3 + 10,5)$$

$$\alpha_{tot} = 20.0456 \text{ dB}$$

Daya terima

$$Pr = Pt - \alpha_{tot} - SM$$

$$Pr = -1 - 20.0456 - 6$$

$$Pr = -27.0456 \text{ dBm}$$

Margin daya

$$M = (Pt - Pr(\text{Sensitivitas})) - \alpha_{total} - SM$$

$$M = (-1 - (-28)) - 20.0456 - 6$$

$$M = 0.9544 \text{ dB}$$

Upstream (1451)

$$\alpha_{tot} = L.\alpha_{serat} + N.\alpha_c + N.\alpha_s + Sp$$

$$\alpha_{tot} = ((1.1 \times 0.326) + (0.837 \times 0.326) + (0.075 \times 0.40)) + (5 \times 0,2) + (3 \times 0.1) + (7,3 + 10,5)$$

$$\alpha_{tot} = 19.7615 \text{ dB}$$

Daya terima

$$Pr = Pt - \alpha_{tot} - SM$$

$$Pr = -2 - 19.7647 - 6$$

$$Pr = -27.7615 \text{ dBm}$$

Margin daya

$$M = (Pt - Pr(\text{Sensitivitas})) - \alpha_{total} - SM$$

$$M = (2 - (-28)) - 19.7615 - 6$$

$$M = 0.2385 \text{ dB}$$

Untuk perhitungan *link power budget* panjang gelombang selanjutnya dilakukan perhitungan seperti langkah – langkah di atas sehingga diperoleh nilai redaman total dan daya terima seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 1 Daya Terima *Downstream*

Panjang Gelombang	Total	Pr	M
1271	20.0456	-27.0456	0.9544
1291	19.9895	-26.9895	1.0105
1311	19.9494	-26.9494	1.0506
1331	19.9261	-26.9261	1.0739
1351	19.9029	-26.9029	1.0971
1371	19.8777	-26.8777	1.1223
1391	19.8506	-26.8506	1.1494
1411	19.8215	-26.8215	1.1785
1431	19.7905	-26.7905	1.2095

Tabel 2 Daya Terima *Upstream*

Panjang Gelombang	Total	Pr	M
1451	19.7615	-27.7615	0.2385
1471	19.7343	-27.7343	0.2657
1491	19.7111	-27.7111	0.2889
1511	19.6917	-27.6917	0.3083
1531	19.6782	-27.6782	0.3218
1551	19.6665	-27.6665	0.3335
1571	19.6588	-27.6588	0.3412
1591	19.6627	-27.6627	0.3373
1611	19.6782	-27.6782	0.3218

4.1.2 Rise Time Budget

Perhitungan *rise time budget* dengan jarak terjauh yaitu OLT-ONT 2012 meter dengan jarak OLT-ODC 1100 meter, ODC-ODP 837 meter dan ODP-ONT 75 meter.

Format NRZ

$$tr = \frac{0.7}{Br} = \frac{0.7}{2.5 \times 10^9} = 0,28ns$$

Format RZ

$$tr = \frac{0.35}{Br} = \frac{0.35}{2.5 \times 10^9} = 0,14ns$$

Downstream (1271 nm, bit rate 2.5 Gbps)

Menentukan t :

$$t_{material} = \Delta\sigma \times L \times Dm$$

$$= 1 \text{ nm} \times 2.012 \text{ Km} \times -0.00385 \text{ ns/nm.Km}$$

$$= -0.0077 \text{ ns}$$

$$t_{modus} = 0, \text{ karena singlemode}$$

Sehingga besar t_{total} untuk serat optik *single mode* adalah:

$$t_{total} = (t_{tx}^2 + t_{material}^2 + t_{modus}^2 + t_{rx}^2)^{1/2}$$

$$= [(0.1)^2 + (-0.0077)^2 + (0)^2 + (0.15)^2]^{1/2}$$

$$= 0.1804 \text{ ns}$$

Upstream (1451 nm, bit rate 1.25 Gbps)

Menentukan t :

$$t_{material} = \Delta\sigma \times L \times Dm$$

$$= 1 \text{ nm} \times 2.012 \text{ Km} \times 0.01149 \text{ ns/nm.Km}$$

$$= 0.0231 \text{ ns}$$

$$t_{modus} = 0, \text{ karena singlemode}$$

Sehingga besar t_{total} untuk serat optik *singlemode* adalah:

$$t_{total} = (t_{tx}^2 + t_{material}^2 + t_{modus}^2 + t_{rx}^2)^{1/2}$$

$$= [(0.1)^2 + (0.0231)^2 + (0)^2 + (0.15)^2]^{1/2}$$

$$= 0.1818 \text{ ns}$$

Untuk perhitungan *rise time budget* panjang gelombang selanjutnya dilakukan perhitungan seperti langkah – langkah di atas sehingga diperoleh nilai *rise time* total seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 3 Rise Time Total *Downstream*

Panjang Gelombang	T material	Ttx	Trx	Ttot
1271	-0.0077	0.1	0.15	0.1804
1291	-0.0037	0.1	0.15	0.1803
1311	0.0032	0.1	0.15	0.1803
1331	0.0067	0.1	0.15	0.1804
1351	0.0101	0.1	0.15	0.1806
1371	0.0133	0.1	0.15	0.1808
1391	0.0160	0.1	0.15	0.181
1411	0.0184	0.1	0.15	0.1812
1431	0.0207	0.1	0.15	0.1815

Tabel 4 Rise Time Total *Upstream*

Panjang Gelombang	T material	Ttx	Trx	Ttot
1451	0.0231	0.1	0.15	0.1818
1471	0.0255	0.1	0.15	0.1821
1491	0.0279	0.1	0.15	0.1824
1511	0.0303	0.1	0.15	0.1828
1531	0.0327	0.1	0.15	0.1832
1551	0.0351	0.1	0.15	0.1837
1571	0.0375	0.1	0.15	0.1842
1591	0.04	0.1	0.15	0.1847
1611	0.0424	0.1	0.15	0.1852

Hasil perhitungan menunjukkan nilai *rise time* total *downstream* setiap panjang gelombang masih lebih kecil dari nilai maksimum *rise time* bitrate NRZ 0.28 ns tetapi lebih besar dari nilai maksimum *rise time* bitrate RZ 0.14 ns. Hal ini menunjukkan sistem hanya memenuhi *rise time budget* sinyal NRZ. Sedangkan hasil perhitungan nilai *rise time* total *upstream* setiap panjang gelombang masih lebih kecil dari nilai maksimum *rise time* dari *bitrate* NRZ 0.56 ns dan *rise time* bitrate RZ 0.28. Hal ini menunjukkan sistem memenuhi *rise time budget* sinyal NRZ dan sinyal RZ.

4.2 Analisa Performansi SNR dan BER

- Downstream 1271 nm

Daya sinyal yang diterima (Pr)

$$u_{tot} = 20.0456 \text{ dB (perhitungan pada link power budget)}$$

Sehingga di dapat Pr atau daya sinyal yang diterima, yaitu :

$$\begin{aligned} Pr &= Pt - u_{tot} \\ &= -1 \text{ dBm} - 20.0456 \text{ dB} \\ &= -21.0456 \text{ dBm} \\ &= 7.8602 \times 10^{-6} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Perhitungan arus foto primer dibangkitkan (ip)

$$\begin{aligned} ip &= R \times Pr \\ &= 0.85 \times 7.8602 \times 10^{-6} \text{ Watt} \\ &= 6.6812 \times 10^{-6} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan Signal

$$\begin{aligned} \text{Signal} &= (ip^2) \cdot M^2 \\ &= (6.6812 \times 10^{-6})^2 \cdot 1^2 \\ &= 4.4639 \times 10^{-11} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan noise

$$\begin{aligned} \text{Noise} &= 2q (i_b + ip) BM^2F(M) + \frac{4kTfB}{M} \\ &= 2 (1.625 \times 10^{-19}) (100 \times 10^{-9} + 6.6812 \times 10^{-6}) (2.5 \times 10^9)^2 + \\ &\quad \frac{4(1.38 \times 10^{-23})(300)(2.5 \times 10^9)}{499} \\ &= 8.8391 \times 10^{-14} \text{ A} \end{aligned}$$

Maka perhitungan S/N :

$$\begin{aligned} \frac{S}{N} &= \frac{4.4639 \times 10^{-11}}{8.8391 \times 10^{-14}} \\ &= 27.033 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Q sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S/N &= 20 \log 2Q \\ Q &= 11.2362 \end{aligned}$$

Maka untuk perhitungan nilai pendekatan BER

$$\begin{aligned} BER &= P_e(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_Q^{\infty} \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{t} dt \\ &= P_e(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 11.2362} \\ &= P_e(Q) = 1.36 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

- Upstream 1451 nm

Daya sinyal yang diterima (Pr)

$$u_{tot} = 19.7615 \text{ dB (perhitungan pada link power budget)}$$

Sehingga di dapat Pr atau daya sinyal yang diterima, yaitu :

$$\begin{aligned} Pr &= Pt - u_{tot} \\ &= -2 \text{ dBm} - 19.7615 \text{ dB} \\ &= -21.7615 \text{ dBm} \\ &= 6.6658 \times 10^{-6} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Perhitungan arus foto primer dibangkitkan (ip)

$$\begin{aligned} ip &= R \times Pr \\ &= 0.085 \times 6.6658 \times 10^{-6} \text{ Watt} \\ &= 5.6659 \times 10^{-6} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan Signal

$$\begin{aligned} \text{Signal} &= (ip^2) \cdot M^2 \\ &= (5.6659 \times 10^{-6})^2 \cdot 1^2 \\ &= 3.2103 \times 10^{-11} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan noise dapat dilihat di

$$\begin{aligned} \text{Noise} &= 2q (i_b + ip) BM^2F(M) + \frac{4kTfB}{M} \\ &= 2 (1.625 \times 10^{-19}) (100 \times 10^{-9} + 5.6659 \times 10^{-6}) (1.25 \times 10^9)^2 + \\ &\quad \frac{4(1.38 \times 10^{-23})(300)(1.25 \times 10^9)}{499} \\ &= 4.3789 \times 10^{-14} \text{ A} \end{aligned}$$

Maka perhitungan S/N :

$$\begin{aligned} \frac{S}{N} &= \frac{3.2103 \times 10^{-11}}{4.3789 \times 10^{-14}} \\ &= 28.6518 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Q sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S/N &= 20 \log 2Q \\ Q &= 13.5381 \end{aligned}$$

Maka untuk perhitungan nilai pendekatan BER

$$\begin{aligned} BER &= P_e(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_Q^{\infty} \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{t} dt \\ &= P_e(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 13.5381} \\ &= P_e(Q) = 6.68 \times 10^{-42} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan performansi panjang gelombang selanjutnya dilakukan perhitungan seperti langkah – langkah di atas sehingga diperoleh nilai SNR dan BER seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 5 Nilai Parameter Performansi Downstream

Tabel 6 Nilai Parameter Performansi Upstream

Panjang Gelombang	SNR (dB)	Q	BER
1271	27.033	11.2362	1.36E-29
1291	27.142	11.378	2.71E-30
1311	27.2197	11.4804	8.34E-31
1331	27.2648	11.5401	4.17E-31
1351	27.3098	11.6001	2.07E-31
1371	27.3586	11.6654	9.64E-32
1391	27.4111	11.7362	4.19E-32
1411	27.4674	11.8124	1.69E-32
1431	27.5274	11.8943	6.38E-33

1531	28.814	13.7934	1.40E-43
1551	28.8366	13.8293	8.52E-44
1591	28.8442	13.8414	7.21E-44
1611	28.814	13.7934	1.40E-43

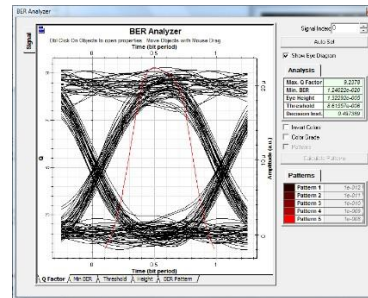
Dari hasil perhitungan didapat S/N setiap panjang gelombang memenuhi standar PT. Telkom yaitu 21.5 dB untuk S/N dan di atas 10^{-9} untuk BER. Semakin tinggi S/N dan semakin kecil BER, maka semakin baik kualitasnya.

4.3 Analisa Simulasi

Jarak terjauh OLT-ONT diperoleh 2012 meter dengan jarak OLT-ODC 1100 meter, ODC-ODP 837 meter dan ODP-ONT 75 meter. Hasil simulasi daya terima dan BER untuk panjang gelombang 1271 mode *downstream* dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 2 Hasil Simulasi Daya Terima 1271 nm



Gambar 3 Hasil Simulasi BER Analyzer 1271 nm

Untuk mode *downstream* panjang gelombang selanjutnya serta untuk mode *upstream* dilakukan seperti di atas sehingga diperoleh semua nilai untuk masing – masing panjang gelombang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 7 Hasil Simulasi *Downstream*

Panjang Gelombang (nm)	Daya Terima (dBm)	BER
1271	-24.275	1.2402 x 10 ⁻²⁰
1291	-24.184	1.1817 x 10 ⁻²¹
1311	-24.102	1.3051 x 10 ⁻²⁸
1331	-24.150	1.5826 x 10 ⁻²⁷
1351	-24.229	1.3468 x 10 ⁻²⁶
1371	-24.211	2.1171 x 10 ⁻²⁶
1391	-24.192	1.1188 x 10 ⁻²⁵
1411	-24.113	2.5618 x 10 ⁻²⁸
1431	-24.138	3.4371 x 10 ⁻¹⁸

Tabel 8 Hasil Simulasi *Upstream*

Panjang Gelombang (nm)	Daya Terima (dBm)	BER
1451	-25.078	2.1491 x 10 ⁻²¹
1471	-25.297	9.0663 x 10 ⁻¹⁸
1491	-24.965	1.7606 x 10 ⁻²²
1511	-25.199	8.0055 x 10 ⁻²⁰
1531	-24.951	5.0544 x 10 ⁻²³
1551	-25.021	5.2371 x 10 ⁻²⁰
1571	-25.081	8.4314 x 10 ⁻¹⁹
1591	-25.095	2.3925 x 10 ⁻¹⁹
1611	-25.261	6.737 x 10 ⁻²¹

5. Kesimpulan

- 1) Berdasarkan perhitungan kelayakan sistem untuk *link power budget* didapatkan redaman total terbesar adalah 20.0456 dB dengan nilai Prx terkecil sebesar -27.0456 dBm untuk *downstream* dan redaman total terbesar adalah 19.7615 dB dengan nilai Prx terkecil sebesar -27.7615 dBm untuk *upstream*. Hal ini masih berada diatas standar yang ditetapkan oleh PT. Telkom sebesar -28 dBm.
- 2) Berdasarkan perhitungan kelayakan sistem untuk *rise time budget*, pengkodean NRZ dapat dilakukan karena $t_{system} < 70\%$ periode bit, yaitu 0.1815 ns < 0.28 ns untuk *downstream* dan 0.1852 ns < 0.56 ns *upstream*. Sedangkan pengkodean RZ hanya bisa dilakukan untuk *upstream* karena $t_{system} > 35\%$ periode bit, yaitu 0.1852 ns < 0.28 ns. Sedangkan ketika *downstream* 0.1815 ns > 0.14 ns.
- 3) Analisa SNR (*Signal to Noise Ratio*) terkecil dan BER (*Bit Error Rate*) terbesar pada perhitungan didapatkan nilai yaitu sebesar 27.033 dB dan 1.36 x 10⁻²⁹ untuk *downstream*, serta 28.6518 dB dan 1.52 x 10⁻⁴². Hal ini masih berada diatas standar yang ditetapkan oleh PT.Telkom untuk SNR 21,5 dB dan BER 10⁻⁹.
- 4) Hasil BER (*Bit Error Rate*) dari perhitungan dan simulasi berbeda, hal ini terjadi karena perbedaan nilai daya yang terima pada perhitungan dan simulasi.
- 5) Dari perancangan FTTH dengan teknologi CWDM hanya membutuhkan feeder optik sebanyak 3 core dan menggunakan *multiplexer/demultiplexer* sedangkan FTTH dengan teknologi GPON membutuhkan feeder optik sebanyak 24 core tanpa *multiplexer/demultiplexer*.

Daftar Pustaka :

[1] Chomycz, Bob. 2009. "Planning Fiber Optic Networks". United States
 [2] Diktat Kuliah SKSO Lanjut. 2010. Bandung: Institut Teknologi Telkom
 [3] Febrianto, Andreas Ardian. 2009. "Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)". Yogyakarta: Universitas Kristen Satya Wacana
 [4] Fikri, Haikal. 2014. "Analisa Performansi Teknologi CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) pada Jaringan ODC (Optical Distribution Cabinet) STO-Cijaura Menggunakan Opti System". Bandung : Universitas Telkom

- [5] Guskarini, Arlita. 2014. "*Analisis Implementasi Perangkat untuk Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) Studi Kasus di Rumah Kos Sukabirus*". Bandung: Universitas Telkom
- [6] Keiser, Gerd. 1991. "*Optical Fiber Communications*". Singapore: McGraw-Hill
- [7] Madison, James. "*Analisis Sistem Format Modulasi NRZ-DPSK Pada Sistem Lightwave Berkecepatan Tinggi*" [Jurnal]. Bandung: Institut Teknologi Telkom
- [8] Modul 1- Implementasi FTTx, PT. Telkom Indonesia
- [9] Pfeiffer, Thomas.2008.*Enhancing PON Capabilities using the wavelength domain*. Geneva: ITU/IEEE workshop on Next Generation Acces
- [10] PT.Telekomunikasi Indonesia Tbk, Direktorat Network dan Solution. 2010. "*Pedoman Pemasangan Jaringan Akses Fiber Optik*". PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Bandung