

Perancangan Jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) Link STO Arengka ke Perumahan Villa Melati Permai II

Widyantoro Tejo Mukti*, Ery Safrianti**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: widytejo@gmail.com

ABSTRACT

Villa Melati Permai I has equipped by FTTH (Fiber to the Home) network facility, later on the villa melati Permai I has been extended into villa melati permai II, in this villa melati permai II has not been equipped by FTTH facility. This paper, proposes to design villa melati permai II FTTH network according to parameter standard of Villa Melati Permai I equipment. The analysis parameters containing Link Power Budget, Rise Time Budget and BER for permormance system that simulated by OptySystem. From the calculations of link power budget, the total attenuation result is 21,35 dB for downstream and 22,13 dB for upstream. The loss of receiver result is -19,85 dBm for downstream and -20,63 dBm for upstream. For system performance parameters are generated from the simulation BER OptiSystem, BER values obtained $1,64 \times 10^{-84}$ for upstream and for downstream at 0. Overall the result of large optical power on optical transmission in Villa Melati Permai II housing proves the network is much smaller of attenuation than the standard total that is below -28 dBm based on IEEE at 802.8 and the result of analysis BER values meet the minimum standard of BER is 10^{-9} .

Keywords : FTTH, power link budget, Rise Time Budget, BER, eye pattern

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini berkembang pesat sehingga mengakibatkan pertumbuhan layanan jasa telekomunikasi tinggi. Kebutuhan layanan saat ini tidak hanya berupa suara, melainkan data dan video. Untuk memenuhi kebutuhan layanan tersebut teknologi jaringan akses tembaga dinilai belum mampu menampung kapasitas *bandwidth* yang besar dan kecepatan tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan konsumen tersebut dibutuhkan teknologi yang menawarkan ketersediaan *bandwidth* yang besar dan kecepatan data yang tinggi.

Kabel *fiber* merupakan media yang dapat digunakan untuk menyediakan *bandwidth* yang besar dan tidak terpengaruh oleh interferensi gelombang elektromagnetik.

Jika dibandingkan dengan kabel tembaga, kabel serat optik dapat mengangkut data lebih besar. Salah satu contoh jaringan akses *fiber* adalah *Fiber To The Home* (FTTH). FTTH merupakan infrastruktur dimana penyaluran informasi data dari pusat penyedia ke kawasan pengguna menggunakan serat optik sebagai medium penghantarnya. Teknologi yang digunakan oleh PT. Telkom Akses dalam meng-cover jaringan *fiber to the home* adalah GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). GPON merupakan teknologi akses yang dikategorikan sebagai *broadband* akses berbasis kabel serat optik. Teknologi GPON ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknologi-teknologi serat optik lain diantaranya GPON sudah didukung aplikasi *triple play*, menghemat penggunaan serat optik, memiliki proteksi yang handal, dan

juga memiliki *bitrate* 2.5 Gbps untuk *downstream* dan 1.25 Gbps untuk *upstream*.

Melihat perkembangan dan permintaan akan kebutuhan layanan internet, video dan suara yang akan terus meningkat, maka penulis berkeinginan untuk melakukan kajian mengenai perancangan jaringan FTTH dengan menggunakan teknologi GPON. Hasil perancangan akan di analisis dengan menggunakan parameter uji berupa *Link Power budget*, *Rise Time Budget*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan BER (*Bit Error Rate*). Pengujian selanjutnya akan dilakukan dengan simulasi. Simulasi perancangan akan dibuat pada *Software Optisystem* dengan menghasilkan nilai BER dan *Power Link Budget* yang kemudian akan di bandingkan dengan hasil perhitungan.

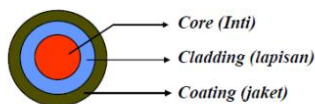
II. LANDASAN TEORI

Serat Optik

Serat 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*.



Struktur Dasar Serat Optik



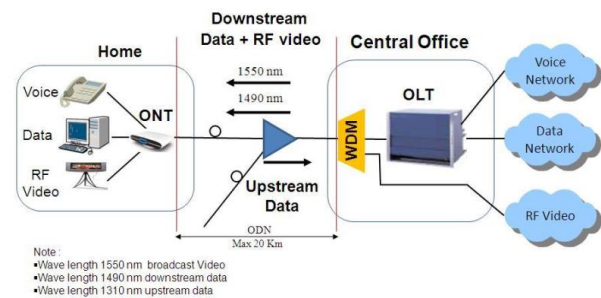
Struktur Dasar Serat Optik

Gambar 1 Struktur serat optik

Teknologi GPON

Secara sederhana konfigurasi GPON terdiri dari 3 bagian utama yaitu OLT, ODN dan ONT. GPON sendiri dapat digunakan konfigurasi *point to point* atau *point to multipoint* tergantung pada implementasi di

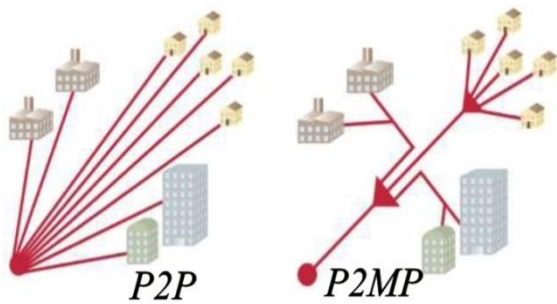
lapangan. layanan *triple play* yang dimiliki GPON berupa *voice data dan video* di *multiplexing* pada perangkat *Optical Line Terminal* (OLT), yang kemudian akan ditransmisikan melalui media serat optik. perbedaan panjang gelombang yang ditransmisikan pada FO mampu membawa beberapa layanan *broadband (triple play service)* dengan sekaligus menggunakan teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM), sehingga dengan adanya teknologi WDM informasi berupa data audio maupun video dapat ditransmisikan dalam jumlah yang banyak dengan sangat cepat tanpa harus merubah sinyal cahaya ke sinyal elektrik.



Gambar 2 Teknologi GPON

Fiber to the Home (FTTH)

FTTH adalah jaringan yang terdiri dari perangkat aktif baik OLT (*Optical Line Termination*) dan ONT (*Optical Network Termination*) yang dihubungkan dengan media *fiber optic* dan perangkat pendukung lainnya atau yang bisa disebut ODN (*Optical Distribution Network*) seperti ODC, ODP, *Splitter*, ODF. FTTH merupakan arsitektur jaringan optik yang memberikan layanan data dari *provider* ke *user equipment*. Topologi yang biasa digunakan pada jaringan FTTH yaitu *point-to-multipoint* (P2MP) dan *point-to-point* (P2P). Dimana pada topologi *point-to-multipoint* sering dikombinasikan dengan teknologi jaringan optik pasif (PON), dan untuk topologi *point-to-point* biasanya menggunakan *Ethernet* transmisi yang aplikasinya biasanya untuk jaringan kampus.



Gambar 3 Topology FTTH

Parametar Kelayakan Perancangan

Dalam melakukan perhitungan kinerja transmisi serat optik, parameter yang dilakukan untuk mendapatkan sistem yang layak sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat diimplementasikan dilapangan.

a. Link Loss Budget

Link loss budget digunakan untuk mengetahui batasan redaman total saluran yang diizinkan karena terjadinya rugi-rugi di setiap elemen (rugi-rugi serat, konektor dan sambungan.) sepanjang link saluran komunikasi optik.

$$\alpha_{total} = L \cdot \alpha_f + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + N_{sp} \cdot \alpha_{sp} \quad (1)$$

dimana:

- α_{tot} = redaman total saluran (dB)
- L = panjang serat optik (km)
- α_f = redaman serat optik (dB)
- N_c = jumlah konektor
- α_c = redaman konektor (dB/konektor)
- N_s = jumlah sambungan
- α_s = redaman sambungan (dB/sambungan)
- N_{sp} = jumlah splitter
- α_{sp} = redaman Splitter (dB)

b. Power Link Budget

Perhitungan power link budget bertujuan untuk menghitung anggaran daya yang diperlukan pada receiver sehingga level daya terima tidak kurang dari sensitivitas minimum.

$$P_{rx} = P_{tx} - \text{Link loss Budget} \quad (2)$$

Dimana:

- P_{rx} = Sensitivitas receiver (dBm)
- P_{tx} = Daya keluaran transmitter (dBm)
- α_{tot} = Link loss budget (dB)

c. Power Margin

Power Margin adalah daya yang masih tersisa dari power transmit setelah dikurangi dari link loss budget selama proses pentransmisi, power margin disyaratkan harus memiliki nilai lebih dari 0 (nol).

$$M = (P_{tx} - P_{rx}) - \text{link lost budget} - SM \quad (3)$$

Dimana:

- P_{tx} = Daya keluaran transmitter (dBm)
- P_{rx} = Sensitivitas receiver (dBm)
- α_{total} = Link loss budget (dB/ km)
- SM = Safety margin, 3 dB

d. Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu link serat optik. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisa apakah unjuk kerja jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan.

$$t_{sys} = (t_{tx}^2 + t_{chromatic}^2 + t_{modal}^2 t_{rx}^2)^{1/2} \quad (4)$$

Dimana:

- t_{tx} = Rise time transmitter (ns)
- t_{rx} = Rise time receiver (ns)
- $t_{chromatic}$ = (Rt) chromatic dispersion (ns)
- t_{modal} = tidak bernilai atau nol karena menggunakan optik single mode

Untuk $t_{chromatic}$ dicari dengan persamaan

$$D_t = D(\lambda) \cdot S \cdot L \quad (5)$$

Dimana:

- D_t = Total chromatic dispersion (ps)
- $D(\lambda)$ = Chromatic dispersion coefficient (ps/nm.km)
- S = Lebar spectral laser (nm)
- L = Panjang jarak (km)

Untuk $D(\lambda)$ dapat dicari dengan persamaan 2.5

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \quad (6)$$

Dimana:

S_0 = dispersion slope parameters (ps/nm.km)

λ = panjang gelombang (nm)

λ_0 = zero dispersion wavelength (nm)

$D(\lambda)$ merupakan representasi dari turunan delay atau kelengkungan kurva delay pada panjang gelombang, baik *downstream* maupun *upstream*. Sedangkan Dt merupakan representasi penyebaran waktu maupun pulsa akibat terjadinya *chromatic dispersion* pada kabel serat optik. pada persamaan 5 dan 6, parameter didapat dari spesifikasi dari kabel serat optik.

Setelah perhitungan *rise time* total diperoleh, maka dibandingkan dengan *bit rates* dengan format NRZ seperti dipersamaan 7.

Dimana,

$$t_{sys} < t_r \quad (7)$$

$$t_r = \frac{0,7}{Br} \quad (8)$$

Dimana:

t_{sys} = rise timetotal

Br = bit rate system

Setelah perhitungan *rise time* total diperoleh, maka dibandingkan dengan *bit rates* dengan format NRZ seperti dipersamaan .

Parametar Performansi Sistem

1. Signal to Noise Ratio (SNR)

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

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{\text{Signal Power}}{\text{Shot Noise Power} + \text{Amplifier Noise Power}} \quad (9)$$

a. Daya Sinyal (*Signal Power*)

Daya sinyal merupakan kuat daya pada sinyal yang diterima oleh *receiver*.

$$\text{Signal Power} = 2 \left(2P_{opt} \frac{\eta q}{h\nu} \right)^2 M^2 \quad (10)$$

Dimana:

P_{opt} = Daya sinyal yang diterima (Watt)

$\frac{\eta q}{h\nu} = R$ = Responsivitas

M = Loss margin system pada *detector* cahaya (apabila yang digunakan adalah APD)

b. Derau (*noise*)

Noise merupakan sinyal-sinyal yang tidak diinginkan dalam system transmisi. Level noise yang cukup besar akan terasa mengganggu pada sisi *receiver*.

c. Arus Gelap (*Dark Current*)

Arus gelap yaitu arus gelap kecil yang mengalir melalui *reverse bias dioda*. Arus gelap ini terjadi pada setiap diode yang memiliki arus bocor balik.

$$i_{ND}^2(\text{noise dark current}) = 2qi_D B \quad (11)$$

Dimana:

q = Muatan elektron $1,6 \times 10^{-19} C$

i_D = Arus gelap (A)

B = Bandwidth detektor cahaya

d. Derau Termal (*Thermal Noise*)

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

$$\text{Thermal Noise} = \frac{4kT_{eff} B}{R_{eq}} \quad (12)$$

Dimana:

k = Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ joule/K)

T_{eff} = Temperatur noise efektif (K)

R_{eq} = Resistensi ekivalen (Ω)

e. Derau Tembakan (*Shot Noise*)

Derau tembakan terjadi karena adanya ketidak linieran pada sistem.

$$\text{Shot Noise} = 2q \left(2P_{opt} \frac{\eta q}{h\nu} \right) B M^2 F(M) \quad (13)$$

Dimana:

P_{opt} = Daya sinyal yang diterima di detector (Watt)

M = Tambahan daya sinyal pada detektor cahaya (apabila yang digunakan adalah APD)

F(M) = *Noise figure*, Menunjukkan penguat dalam memproses sinyal.

2. Bit Error Rate (BER)

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

$$(S/N)_{pk/rms} = 20 \text{ Log } 2Q \quad (14)$$

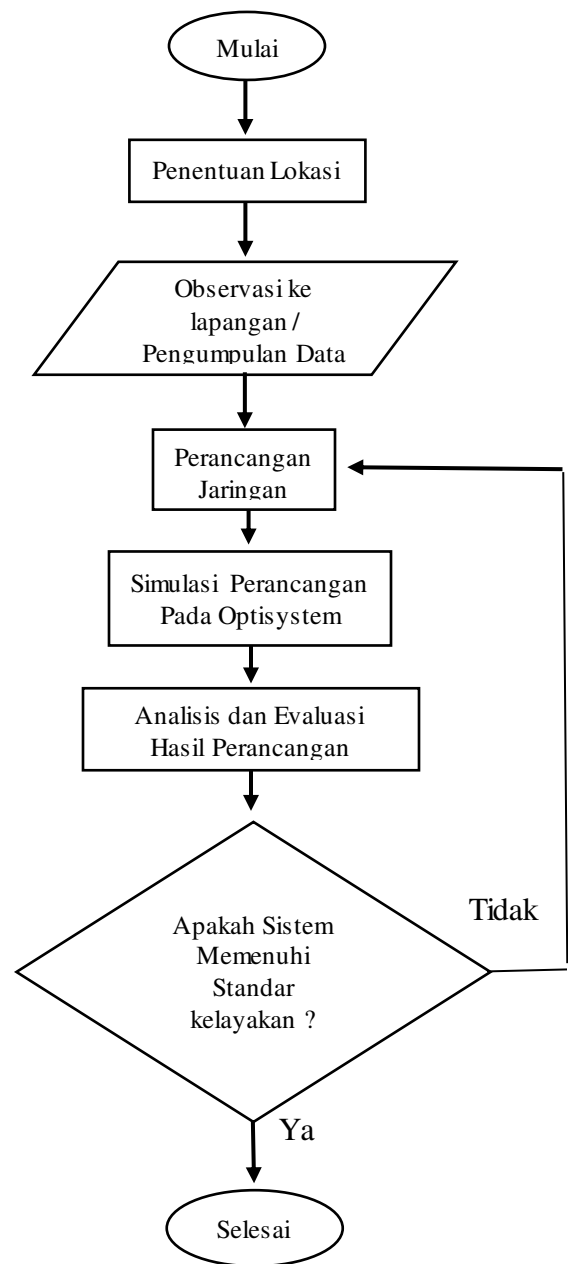
Sehingga diperoleh nilai pendekatan:

$$BER = Pe(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q} \quad (15)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Perancangan

Langkah awal dalam melakukan perancangan jaringan FTTH adalah menentukan lokasi perancangan dengan mengumpulkan data beserta observasi kelapangan untuk mengetahui jumlah *homepass* yang tersedia, perangkat *eksisting* yang ada beserta perangkat yang akan digunakan. Perancangan jaringan FTTH diawali dengan mendesain rancangan pada wilayah perumahan Villa Melati Permai II dengan menggunakan *Google Earth*. Analisis dan evaluasi dilakukan apabila hasil rancangan telah diperoleh. Apabila hasil analisis dari perancangan tidak memenuhi standar dari parameter yang telah ditentukan, maka perancangan harus dilakukan kembali hingga standar kelayakan dari parameter telah dapat terpenuhi. Apabila hasil evaluasi telah memenuhi standar kelayakan yang telah ditentukan maka perancangan sudah selesai seperti pada diagram alir yang terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN ANALISA

Analisis Perhitungan

Untuk perhitungan kelayakan penelitian pada penelitian ini mengambil *link receiver* terjauh yaitu 7,04 km dari STO Arengka, karena jika *link* terjauh sudah layak (memenuhi standarisasi) *link*nya, maka *link* yang lebih dekat juga sudah memenuhi standarisasi. Untuk mempermudah perhitungan maka dibuat parameter spesifikasi kelayakan perancangan.

Tabel 1 Spesifikasi Parameter perancangan

Spesifikasi	Nilai
Link Terjauh	7,04 km
<i>Sensitivity receiver</i>	-27 dBm
Lebar spektral	1 nm
Panjang Downlink	1490 nm
Gelombang Uplink	1310 nm
Panjang 1490	0.21dB/km
Gelombang 1310	0.32 dB/km
Redaman 1 x 4	7.25 dB
splitter 1 x 8	10.38 dB
Redaman APC	0.15 dB
konektor UPC	0.15 dB
<i>Rise time</i> Transmitter	150 ps
Receiver	200 ps

Perhitungan link loss budget

Untuk perhitungan *link loss budget* dapat dilihat dari spesifikasi parameter perancangan pada tabel 4.1 dengan menghitung menggunakan persamaan 1 maka didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Downstream} &= (7,04 \times 0,21) + (7 \times 0,15) + (12 \times 0,1) + (17,63) \\ &= 21,35 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Upstream} &= (7,04 \times 0,32) + (7 \times 0,15) + (12 \times 0,1) + (17,63) \\ &= 22,13 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perbedaan hasil antara *downstream* dan *upstream* pada perhitungan *link loss budget* karena serat optik memiliki redaman yang berbeda beda pada panjang gelombang tertentu. Nilai Standart dari PT.Telkom untuk redaman saluran murni maksimal 28 dB dan minimal 18 dB. Hasil yang tersebut menunjukkan bahwa *link loss budget* layak karena tidak melebihi standart yang ditetapkan.

Perhitungan Power Link Budget

Untuk perhitungan *power link budget* menggunakan 3 skenario dimana data *power transmit* OLT dapat dilihat pada tabel 4.1 akan dihitung dengan persamaan 2 dengan hasil pada *link loss budget*. maka didapatkan hasil :

$$\begin{aligned} &= 5 - 21,35 = - 16,35 \text{ dBm} \\ \text{Downstream} &= 3,75 - 21,35 = - 17,6 \text{ dBm} \\ &= 1,5 - 21,35 = - 19,85 \text{ dBm} \\ &= 5 - 22,13 = - 17,13 \text{ dBm} \\ \text{Upstream} &= 3,75 - 22,13 = - 18,38 \text{ dBm} \\ &= 1,5 - 22,13 = - 20,63 \text{ dBm} \end{aligned}$$

3 skenario yang digunakan pada *power link budget* berdampak pada hasil yang diterima ONT, karena daya yang dikirim OLT memiliki rang 1,5- 5 dBm sehingga hasil perhitungan *power link budget* dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 2 hasil *power link budget*

OLT	Daya diterima ONT (dBm)		Sensitivity (ONT) dBm		layak/ tidak
	Dw	Up	Min	Max	
+5	-16,35	-17,13	-8	-27	Layak
+3.5	-17,6	-18,38	-8	-27	Layak
+1.5	19,85	-20,63	-8	-27	Layak

Pada tabel 4.3 nilai kelayakan *sensitivity* ONT yang ditetapkan PT.Telkom dari -8 dBm sampai dengan -27 dBm, pada perhitungan *power link budget* diatas memenuhi persyaratan kelayakan karena nilai masih dalam batas toleransi.

Perhitungan Power Margin

Untuk perhitungan *power margin* menggunakan 3 skenario dimana *power transmit* OLT dapat dilihat pada tabel 4.1 akan dihitung dengan persamaan 3 dengan hasil pada *link loss budget*. maka didapatkan hasil :

$$\begin{aligned} \text{(Downstream)} &5 - (-27) - 21,35 - 3 = 7,65 \text{ dB} \\ &3,5 - (-27) - 21,35 - 3 = 6,15 \text{ dB} \\ &1,5 - (-27) - 21,35 - 3 = 4,15 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(Upstream)} &5 - (-27) - 22,13 - 3 = 6,87 \text{ dB} \\ &3,5 - (-27) - 22,13 - 3 = 5,37 \text{ dB} \\ &1,5 - (-27) - 22,13 - 3 = 3,37 \text{ dB} \end{aligned}$$

Tabel 3 hasil *power margin*

OLT	Margin Daya (dB)		Standar Margin	layak/tidak
	Dw	Up		
+5	7,65	6,87		Layak
+3.5	6,15	5,37	>0	Layak
+1.5	4.15	3,37		Layak

Hasil perhitungan *power margin* dapat dilihat pada tabel 4.4 dimana perhitungan kelayakan diatas memenuhi persyaratan *power margin* karena nilai *power margin* lebih dari 0 dB

Perhitungan Bitrate NRZ

Spesifikasi *link* parameter untuk perhitungan *rise time total* diambil dari spesifikasi perangkat *transmitter* (OLT), *receiver* (ONT) GPON, data *sheet* serat optik yang digunakan dan data perancangan OSP FTTH. parameter perhitungan *rise time budget* dapat dilihat pada tabel 4.1 spesifikasi perancangan. Nilai kelayakan pada *rise time budget* dihitung terlebih dahulu agar *bit rate* NRZ didapatkan, dengan persamaan 8 maka:

$$t_r dw = \frac{0,7}{2,488} = 0,2813 \text{ ns}$$

Untuk nilai *upstream* dengan cara yang sama maka didapatkan

$$t_r up = \frac{0,7}{1,244} = 0,562 \text{ ns}$$

Tabel 4 kelayakan NRZ GPON

Kelayakan <i>rise time budget</i>	
<i>Downstream</i>	<i>Upstream</i>
0,2813 ns	0,562 ns

Pada tabel 4.2 merupakan hasil perhitungan kelayakan berdasarkan NRZ pada GPON dimana nilai ini nantinya menjadi patokan untuk kelayakan *rise time budget*.

Perhitungan Rise time budget

Setelah dihitung nilai kelayakan *rise time* maka Perhitungan *rise time budget* dapat dilakukan dengan parameter *pendukung rise time budget* pada tabel 4.1 dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6.

Koefisien dispersi *downstream* $\lambda = 1490 \text{ nm}$ adalah:

$$D(\lambda) = 12,9041 \frac{ps}{nm}.km$$

Dengan cara yang sama didapatkan, Koefisien dispersi *upstream* $\lambda = 1310 \text{ nm}$

$$D(\lambda) = -1,3087 \frac{ps}{nm}.km$$

Setelah didapatkan nilai koefisien dispersi *downstream* dan *upstream* selanjutnya dapat dihitung nilai dispersi kromatik

$$D_t = D(\lambda).S.L$$

sehingga untuk dispersi kromatik *downstream* adalah :

$$= 12.9041.1.7,04 = 0.0908 \text{ ns}$$

sehingga untuk dispersi kromatik *upstream* adalah :

$$= -1,3087.1.7,04 = -0,0092 \text{ ns}$$

rise time total downstream dapat dihitung dengan persamaan 4 maka, maka untuk *rise time total downstream* adalah :

$$t_{sys} = (0,15^2 + 0,0908^2 + 0^2 + 0,2^2)^{1/2}$$

$$t_{sys} = 0,2641 \text{ ns}$$

Maka *rise time total* untuk *upstream* adalah :

$$t_{sys} = (0,15^2 + -0,0092^2 + 0^2 + 0,2^2)^{1/2}$$

$$t_{sys} = 0,2501 \text{ ns}$$

Tabel 5 hasil *Rise time budget*

Hasil perhitungan	Kelayakan rise time budget	Layak/tidak
0,2649 ns	0,2813 ns	Dw Layak
0,2501 ns	0,562 ns	Up Layak

Pada tabel 4.4 merupakan hasil perhitungan *rise time total* dimana hasil *rise time budget* harus dibawah dari nilai standart yang ditetapkan dari nilai NRZ, hasil kelayakan

pada tabel 4.4. menunjukkan *rise time budget* layak.

Analisis Performansi SNR dan BER

Pada perhitungan *link power budget* dengan daya transmit 1,5 dBm di dapatkan nilai sebesar -20,63 dBm pada *upstream* dan -19,85 untuk *downstream*. Pada hasil tersebut akan digunakan dalam menghitung daya sinyal pada SNR sebagai berikut:

Downstream

$$\begin{aligned} P_{opt} = P_r &= 10^{(-19,85/10)} \\ &= 10,35 \times 10^{-3} \text{ mWatt} \\ &= 10,35 \times 10^{-6} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Upstream

$$\begin{aligned} P_{opt} = P_r &= 10^{(-20,63/10)} \\ &= 8,65 \times 10^{-3} \text{ mWatt} \\ &= 8,65 \times 10^{-6} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka dapat di tentukan *signal power* dengan menggunakan persamaan 10 sebagai berikut:

Downstream

$$\begin{aligned} &= 2 \left(P_{opt} \frac{\eta q}{h\nu} \right)^2 \\ &= 2(10,35 \times 10^{-6} \text{ W} \times 0,85 \text{ A/W})^2 \\ &= 1,547 \times 10^{-10} \text{ A} \end{aligned}$$

Upstream

$$\begin{aligned} &= 2(8,65 \times 10^{-6} \text{ W} \times 0,85 \text{ A/W})^2 \\ &= 1,081 \times 10^{-10} \text{ A} \end{aligned}$$

Pada SNR terdapat Daya Derau (*Noise Power*) yang digunakan sebagai perbandingan dari daya sinyal. Pada perhitungan *Dark Current* dapat menggunakan persamaan 11.

Downstream

$$\begin{aligned} &= 2q i_D B \\ &= 2 (1,6 \times 10^{-19}) (2 \times 10^{-9}) (2,4 \times 10^9) \\ &= 1,536 \times 10^{-18} \text{ A} \end{aligned}$$

Upstream

$$\begin{aligned} &= 2q i_D B \\ &= 2 (1,6 \times 10^{-19}) (2 \times 10^{-9}) (1,25 \times 10^9) \\ &= 8 \times 10^{-19} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan *daya noise* selanjutnya adalah *Shot noise current*, dimana *noise* tersebut terjadi karena adanya ketidak linearan pada sistem sehingga akan digunakan persamaan 13 sebagai berikut:

Downstream

$$\begin{aligned} &= 2q \left(2P_{opt} \frac{\eta q}{h\nu} \right) B \\ &= 2 (1,6 \times 10^{-19}) (2 \times 10,35 \times 10^{-6} \times 0,85) (2,4 \times 10^9) \\ &= 1,351 \times 10^{-14} \text{ A} \end{aligned}$$

Upstream

$$\begin{aligned} &= 2q \left(2P_{opt} \frac{\eta q}{h\nu} \right) B \\ &= 2 (1,6 \times 10^{-19}) (2 \times 8,65 \times 10^{-6} \times 0,85) (1,25 \times 10^9) \\ &= 5,882 \times 10^{-15} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan pada *daya noise* yang ketiga adalah *Derau Thermal*, Dimana pada *daya derau thermal* menggunakan persamaan 12 sebagai berikut:

$$\frac{4kT_{eff} B}{R_{eq}}$$

Downstream

$$\begin{aligned} &= \frac{4 (1,38 \times 10^{-23}) (290) (2,4 \times 10^9)}{50} \\ &= 7,6838 \times 10^{-13} \text{ A} \end{aligned}$$

Upstream

$$\begin{aligned} &= \frac{4 (1,38 \times 10^{-23}) (290) (1,25 \times 10^9)}{50} \\ &= 4,002 \times 10^{-13} \text{ A} \end{aligned}$$

Selanjutnya Total *noise* akan di peroleh dari hasil penjumlahan ketiga sumber *noise* dengan menggunakan persamaan berikut:

Downstream

$$\begin{aligned} &= (1,536 \times 10^{-18}) + 1,351 \times 10^{-14} + \\ &7,6838 \times 10^{-13} = (7,818 \times 10^{-13}) \end{aligned}$$

Upstream

$$\begin{aligned} &= (8 \times 10^{-19}) + 5,882 \times 10^{-15} + \\ &4,002 \times 10^{-13} = (4,060 \times 10^{-13}) \end{aligned}$$

Dengan demikian maka *Signal to Noise Ratio* untuk *Upstream* dan *Downstream* dapat ditentukan dengan persamaan 9 berikut:

Downstream

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{pk}^{rms} &= \frac{Signal\ Power}{Noise\ Power} \\ &= \frac{1,547 \times 10^{-10}\ A}{7,818 \times 10^{-13}\ A} \\ &= 197,876 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SNR_{dB} &= 10\ Log\ 197,876 \\ &= 22,96\ dB \end{aligned}$$

Upstream

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{pk}^{rms} &= \frac{Signal\ Power}{Noise\ Power} \\ &= \frac{1,081 \times 10^{-10}\ A}{4,060 \times 10^{-13}\ A} \\ &= 266,256 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SNR_{dB} &= 10\ Log\ 266,256 \\ &= 24,25\ dB \end{aligned}$$

Hasil yang di dapat dari perhitungan SNR pada *Upstream* dan *Downstream* dapat dikatakan bagus karena nilai melebihi standar SNR untuk sistem komunikasi serat optik yaitu 21,5 dB seperti pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 6 Hasil *Signal to Noise Ratio*

OLT	SNR (dB)		Standar SNR	layak/ tidak
	Dw	Up		
+5	29,87	31,17	>21,5	Layak
+3.5	26,92	28,21		Layak
+1.5	22,96	24,25		Layak

Perhitungan selanjutnya yang dilakukan untuk menghitung jumlah kesalahan *bit* dalam proses transmisi atau yang biasa di sebut *Bit Error Rate* dapat digunakan perhitungan BER dilakukan dengan menentukan nilai Q (*quantum noise*) yang terdapat pada persamaan 14. Maka pada perhitungan *downstream* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 22,96 &= 20\ Log\ 2Q \\ Log\ 2Q &= 1,148 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2Q &= 10^{1,148} \\ Q &= \frac{14,060}{2} \\ &= 7,03 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan nilai pendekatan BER pada *downstream* adalah:

$$\begin{aligned} BER = Pe(Q) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q} \\ BER = Pe(Q) &= \frac{1}{\sqrt{(2)(3,14)}} \cdot \frac{e^{-\frac{7,03^2}{2}}}{7,03} \\ &= 1,053 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan *Bit error rate* pada *Upstream* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 24,25 &= 20\ Log\ 2Q \\ Log\ 2Q &= 1,2125 \\ 2Q &= 10^{1,2125} \\ Q &= \frac{16,311}{2} \\ &= 8,155 \end{aligned}$$

Maka nilai BER untuk *Upstream* adalah:

$$\begin{aligned} BER = Pe(Q) &= \frac{1}{\sqrt{(2)(3,14)}} \cdot \frac{e^{-\frac{8,155^2}{2}}}{8,155} \\ &= 1,771 \times 10^{-16} \end{aligned}$$

Hasil yang di dapatkan dalam perhitungan BER pada *upstream* dan *downstream* dinyatakan layak dalam perhitungan BER, karena nilai yang di dihasilkan dari kedua *link* lebih kecil dari nilai standar BER untuk komunikasi serat optik yaitu 1×10^{-9} seperti pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 7 Hasil *Bit Error Rate*

OLT	BER (dB)		layak/ tidak
	<i>Downstream</i>	<i>Upstream</i>	
+5	$5,84 \times 10^{-55}$	$1,91 \times 10^{-73}$	Layak
+3.5	$7,07 \times 10^{-29}$	$3,80 \times 10^{-38}$	Layak
+1.5	$1,053 \times 10^{-12}$	$1,771 \times 10^{-16}$	Layak

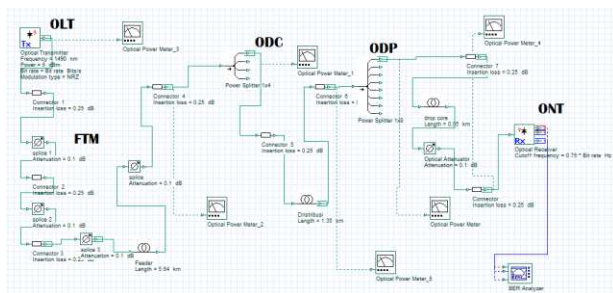
Pada tabel 4.6 daya pancar 5 dBm menghasilkan lebih sedikit terjadinya kesalahan *bit* dibandingkan dengan daya pancar 1,5 dan 3,5 dBm dalam proses transmisi.

Analisis Simulasi

Pada rancangan simulasi *link* optik dengan *Optisystem*, perancangan jaringan FTTH di lakukan pada *Downstream* dan *Upstream* dengan menguji kelayakan *link power budget* dan performansi *bit error rate*.

Konfigurasi Downstream

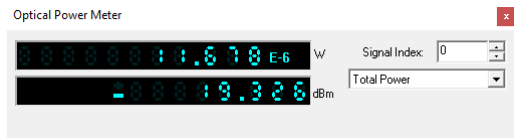
Pada simulasi *link* optik *Downstream* menggunakan panjang gelombang 1490 nm dengan *bitrates* 2,4 Gbps. Pada serat optik yang digunakan diberi redaman 0,21 dB. Jumlah konektor yang dipakai adalah 8 buah dengan masing-masing redaman sebesar 0,15 dB dan terdapat 5 sambungan dengan atenuasi 0,1 dB/sambungan. Gambar simulasi *link downstream* dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 5 Simulasi *Downstream*

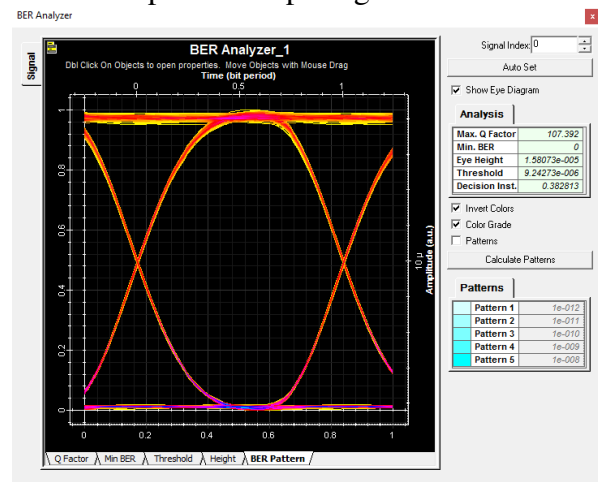
Daya yang dikirim menggunakan 3 skenario sebagai perbandingan dalam hasil rancangan. Pada perancangan simulasi pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Optical power meter* dan *BER analyzer*. Pengukuran dengan *optical power meter* bertujuan untuk mengukur besarnya *link power budget* atau sensitivitas yang diterima oleh *Receiver*. Sedangkan pada pengukuran *BER analyzer* dilakukan untuk mengetahui nilai BER dan karakteristik dari sinyal digital yang ditampilkan pada *eye pattern*.

Hasil pengukuran pada daya pancar sebesar 1,5 dBm dengan menggunakan *optical power meter* pada simulasi dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 6 Pengukuran OPM pada daya 1,5 dBm untuk *downstream*

Dari gambar 4.1 daya yang di dihasilkan dari daya pancar 1,5 dBm menghasilkan redaman sebesar -19,326 dBm. Pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan *BER Analyzer* untuk mengetahui nilai *bit error* dalam simulasi dapat dilihat pada gambar 4.2

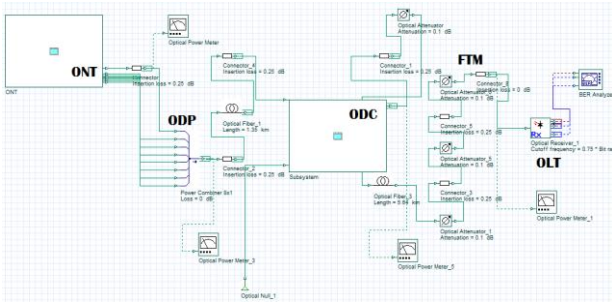


Gambar 7 Tampilan *eye pattern downstream* untuk daya transmit 1,5 dBm

Berdasarkan dari hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 4.2 nilai BER yang dihasilkan dari daya pancar 1,5 dBm menghasilkan nilai sebesar 0 dengan menunjukkan tidak adanya *bit* yang *error* dalam proses transmisi. Performansi yang baik juga di tunjukkan oleh *eye pattern*, yang menunjukkan perbedaan yang jelas dari *bit* 1 dan *bit* 0.

Konfigurasi Upstream

Pengukuran dilakukan pada rancangan simulasi *upstream* dengan menggunakan panjang gelombang 1310 dengan *bitrate* 1,25 Gbps. Dengan cara yang sama pengukuran dilakukan dalam 3 skenario pengukuran. pada daya pancar 1,5 dBm pengukuran *link power budget* pada simulasi dapat dilihat pada gambar 4.3.

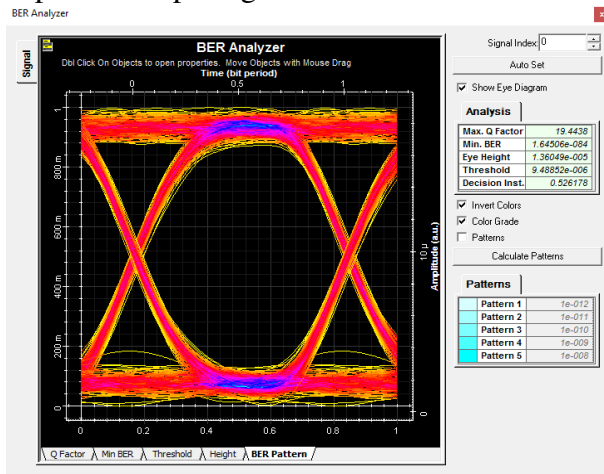


Gambar 8 Simulasi *Upstream*



Gambar 9 Pengukuran OPM pada daya 1,5 dBm untuk *upstream*

Pada gambar 4.6 daya yang di terima oleh OLT dari ONT dengan daya pancar 1,5 menghasilkan redaman sebesar -20,201 dBm. Pengukuran menggunakan BER Analyzer pada *upstream* dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 10 Tampilan *eye pattern upstream* untuk daya transmit 1,5 dBm

Berdasarkan dari hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 4.4 nilai BER yang dihasilkan dari daya pancar 1,5 dBm menghasilkan nilai sebesar $1,64506 \times 10^{-84}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada *upstream*, OLT mengirikan informasi sebesar 10^{84} bit dengan kesalahan 1,64506 bit dalam satuan waktu proses transmisi ke penerima. Hasil yang di dapatkan dari BER Analyzer pada

upstream dan *downstream* dinyatakan layak, karena nilai yang di dihasilkan dari kedua *link* lebih kecil dari nilai standar BER untuk komunikasi serat optik yaitu 1×10^{-9} . Perbandingan yang ditunjukkan pada BER analyzer dengan menggunakan 3 skenario ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 8 Hasil simulasi BER analyzer

OLT	BER (dB)		layak/ tidak
	<i>Downstream</i>	<i>Upstream</i>	
+5	0	0	Layak
+3.5	0	$1,51 \times 10^{-205}$	Layak
+1.5	0	$1,64 \times 10^{-84}$	Layak

Analisis Hasil Perancangan

Hasil perancangan dilakukan dengan menguji hasil perhitungan *link power budget* dan *bit error rate* dengan hasil simulasi yang di dapat dari pengukuran pada *optical power meter* dan BER analyzer. Perbandingan *link power budget* hasil perhitungan dengan hasil simulasi menggunakan dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 9 Hasil perbandingan daya terima

Power Transmitter	Perhitungan (dBm)		Simulasi (dBm)	
	Up	Dw	Up	Dw
(+5)	-17,13	-16,35	-16,70	-18,82
(+3,5)	-18,63	-17,85	-18,20	-17,32
(+1,5)	-20,63	-19,85	-20,20	-19,32

Hasil perbandingan Pr antara perhitungan dan simulasi menunjukkan nilai yang berbeda, namun masih berada pada batas minimal kelayakan perancangan jaringan. Perbedaan Pr yang diperoleh dari simulasi diakibatkan redaman yang dihasilkan oleh perangkat dalam simulasi lebih kecil dari redaman yang di pakai dalam perhitungan. Karena setiap perangkat pada spesifikasinya memiliki *range* atenuasi yang berbeda dalam penggunaannya.

Perbandingan dari hasil perhitungan dengan hasil simulasi dilakukan pada hasil yang diperoleh BER seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut:

Tabel 10 Hasil perbandingan BER

Power	Perhitungan (dBm)		Simulasi (dBm)	
	Up	Dw	Up	Dw
(+5)	$1,91 \times 10^{-73}$	$5,84 \times 10^{-55}$	0	0
(+3,5)	$3,80 \times 10^{-38}$	$7,07 \times 10^{-29}$	$1,51 \times 10^{-205}$	0
(+1,5)	$1,771 \times 10^{-16}$	$1,053 \times 10^{-12}$	$1,64 \times 10^{-84}$	0

Pada tabel 4.9 perbandingan nilai BER yang diperoleh dari hasil pengukuran simulasi dengan hasil perhitungan BER terlihat sangat jelas, pada hasil simulasi BER untuk *downstream*, *eye pattern* menghasilkan sinyal yang sempurna yang mengakibatkan BER *analyzer* tidak mengidentifikasi kesalahan pada *bit* sehingga nilai BER menjadi 0. Pada hasil simulasi *upstream* kesalahan *bit* terjadi pada daya pancar 3,5 dan 1,5 dBm. Pada perhitungan manual kesalahan *bit* terjadi dalam proses transmisi *upstream* dan *downstream* namun pada hasil performansi keduanya untuk perhitungan manual dan simulasi masih berada pada batas performansi yang baik dengan batas standar BER pada *link* optik adalah 10^{-9} .

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Perhitungan *link power budget* dengan menggunakan 3 skenario dengan daya pancar yang berbeda yaitu 1,5 dBm, 3,5 dBm, dan 5 dBm menghasilkan nilai Pr pada *range downstream* sebesar $-16,31$ dBm sampai $-19,85$ dBm dan untuk *upstream* sebesar $-17,05$ dBm sampai $-20,63$ dBm. Perhitungan *power link budget* berada dikategori baik karena hasil tersebut tidak melebihi standar yang di tetapkan oleh PT. Telkom yaitu -27 dBm.
2. Perhitungan *rise time budget* dengan menggunakan pengkodean NRZ, untuk *upstream* didapat *rise time* total sebesar $0,25017$ ns dan untuk *downstream* didapat nilai sebesar $0,265994$ ns sehingga hasil rancangan pada perhitungan RTB dengan jarak terjauh dikatakan layak karena nilai waktu yang di dapatkan masih dibawah waktu total

bit rates GPON yaitu $0,2813$ ns dan $0,5626$ ns.

3. Perhitungan SNR dan BER untuk jarak terjauh dengan menggunakan 3 skenario pada perancangan ini menghasilkan kualitas jaringan yang baik yang ditunjukkan oleh kedua parameter *upstream* dan *downstream* dimana pada *upstream* menghasilkan nilai SNR $24,25$ sampai $31,33$ dB dengan nilai BER $4,55 \times 10^{-76}$ sampai $1,771 \times 10^{-16}$ sedangkan pada *downstream* menghasilkan nilai SNR $22,96$ dB sampai $29,95$ dB dengan BER $5,53 \times 10^{-56}$ sampai $1,053 \times 10^{-12}$ dengan standar sistem SNR minimal untuk komunikasi optik sebesar $21,5$ dB dan maksimal BER adalah 10^{-9} .
4. Berdasarkan hasil simulasi *Optisystem* pada pengukuran Pr, perancangan dikategorikan layak karena hasil yang di peroleh tidak melebihi standar yang ditetapkan PT. Telkom yaitu -27 dBm. Pada *upstream* menghasilkan nilai Pr $-16,623$ sampai $-20,201$ dBm sedangkan pada *downstream* nilai Pr berada pada $-15,775$ dBm sampai $-19,326$ dBm. P
5. Berdasarkan simulasi pada *Optisystem* performansi BER menghasilkan *bit error* yang sangat kecil yaitu pada *upstream* menghasilkan nilai 0 sampai $1,64 \times 10^{-84}$ dan untuk *downstream* menghasilkan nilai 0. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil tersebut bagus. Performansi yang bagus juga ditunjukkan pada *eye pattern* yang menunjukkan perbedaan yang jelas dari *bit 1* dan *bit 0*.

Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan perancangan menggunakan teknologi di atas GPON, yaitu XGPON yang menambahkan perangkat *multiplexer* dalam melakukan efisiensi *core* dan kecepatan hingga 40 Gbps ataupun pada CWDM yang memiliki lebih banyak panjang gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

Crisp, J., & Elliot, B. 2008. *Introduction to Fiber Optics* (Erlangga, Trans.)
England: Elsevier Ltd. The Boulevard,
Langford Lane Kidlington. (Original
work published 2005).

FTTH Council. (2007). *FTTH Infrastructure
Component and Deployment Methods.
Europe at the Speed of Light*

FTTH Council. (2014). *FTTH Handbook.
Deployment and Operation Committee*

Ismail,F.,S.P.Panjaitan.2014.*Studi
Perancangan Jaringan Akses Fiber To
The Home dengan Menggunakan
Teknologi GPON di Perumahan CBD
Polonia Medan.Universitas Sumatra
Utara*

M,Fachri.,M.Zulfin.2014. *Analisis kinerja
jaringan FTTH (fiber to the Home) di
jalan lotus perumahan cemara asri
medan*

Huawei Technologies.(2015). *The
Requirements and Evolution to Next
Generation Optical Access Network*

PT Telekomunikasi IndonesiaTbk.2014.Modul
1.Konfigurasi FTTH.

PT Telekomunikasi IndonesiaTbk.2015.Modul
1.Spesifikasi Teknis OSP FTTH.