

PERANCANGAN JARINGAN AKSES *FIBER TO THE HOME* (FTTH) DENGAN TEKNOLOGI 10 GIGABIT CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (XG-PON) DI PERUMAHAN *PRIVATE HOUSING CLUSTER* PLEMBURAN YOGYAKARTA

1st Defta Kinara Alamsyah
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

deftaalamsyah@telkomuniversity.ac.id

2nd Nachwan Mufti A
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

nachwanma@telkomuniversity.ac.id

3rd M. Irfan Maulana
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Perumahan *Private Housing Cluster* Plemburan Yogyakarta merupakan rumah yang sedang dalam tahap pembangunan, belum tersedia jaringan FTTH, Penelitian ini menghitung kelayakan jaringan dan kinerja desain jaringan FTTH untuk diterapkan dalam pembangunan perumahan *Private Housing Cluster* Plemburan Yogyakarta. Perhitungan redaman *Link Power Budget downstream* secara manual menghasilkan nilai *downstream* terdekat dengan nilai 23,2443 dB dan Prx sebesar -23,2443 dBm. *Downstream* terjauh dengan nilai 23,2751 dB dan Prx sebesar -23,2751 dBm. Perhitungan redaman *Link Power Budget upstream* secara manual menghasilkan nilai *upstream* terdekat dengan nilai 23,649 dB dan Prx sebesar -24,649 dBm. *Upstream* terjauh dengan nilai 23,693 dB dan Prx sebesar -24,693 dBm. Nilai RTB, diperoleh nilai waktu batasan sebesar 0,07 ns untuk pengkodean NRZ, 0,035 ns untuk pengkodean RZ untuk *link downstream*, sedangkan untuk *link upstream* nilai waktu batasan 0,28 ns untuk pengkodean NRZ, dan 0,14 ns untuk pengkodean RZ. *Link downstream* terjauh 0,06803691 ns, *link upstream* terjauh 0,062775 ns. Hasil RTB menghasilkan nilai yang memenuhi standar dari waktu batasan masing-masing pengkodean. Dari keseluruhan hasil perhitungan telah memenuhi standarisasi ITU-T G.987.2 dengan ketentuan hasil LPB dengan batas redaman total 28 dB, Prx dengan batas daya terima minimum sebesar -28 untuk *downstream* dB dan -27,5 untuk *upstream*, SNR ≥ 22 , nilai *Q-Factor* ≥ 6 dan nilai BER $\leq 10^{-9}$.

Kata kunci— FTTH, XG-PON, LPB, RTB, BER.

Abstract— *Private Housing Cluster* Plemburan Yogyakarta is a house that is currently under construction, FTTH network is not yet available. This study calculates the feasibility of the network and the performance of the FTTH network design to be applied in the construction of *Private Housing Cluster* Plemburan Yogyakarta housing. The calculation of the downstream *Link Power Budget* attenuation manually produces the nearest downstream value of 23,2443 dB and Prx of -23,2443 dBm. The farthest downstream with a value of 23,2751 dB and Prx of -23,2751 dBm. The calculation of the upstream *Link Power Budget* attenuation manually produces the closest upstream value of 23,649 dB and Prx of -24,649 dBm. The farthest upstream is

23,693 dB and Prx is -24,693 dBm. For the RTB value, the time limit value is 0.07 ns for NRZ encoding, 0.035 ns for RZ encoding for downstream links, while for upstream links the time limit value is 0.28 ns for NRZ encoding, and 0.14 ns for RZ encoding. The farthest downstream link is 0.06803691 ns, the farthest upstream link is 0.062775 ns. RTB results produce values that meet the standards of the time constraint of each encoding. The overall calculation results have met the ITU-T G.987.2 standard with the provisions of the LPB results with a total attenuation limit of 28 dB, Prx with a minimum receiving power limit of -28 dB for downstream and -27.5 for upstream, SNR 22, *Q* value -Factor 6 and BER value $\leq 10^{-9}$.

Keywords— FTTH, XG-PON, LPB, RTB, BER.

I. PENDAHULUAN

Maraknya penggunaan jaringan telekomunikasi dan kebutuhan layanan telekomunikasi yang saat ini semakin penting dalam menjalankan kehidupan sehari-hari. Berbagai layanan aplikasi kini membutuhkan *bandwidth* yang besar untuk dapat mengaksesnya. Kebutuhan akan pelayanan publik terkait telekomunikasi terus meningkat, sehingga diperlukan suatu struktur komunikasi yang mampu memenuhi kebutuhan masyarakat khususnya terkait pelayanan telekomunikasi [1]. Lokasi perancangan merupakan lokasi padat penduduk dan dimana saat ini masyarakat tidak hanya membutuhkan layanan komunikasi berupa suara, tetapi juga data dan video. Dalam tugas akhir ini, penulis melakukan perancangan jaringan FTTH menggunakan teknologi XG-PON dengan membuat jalur kabel serta penentuan perangkat dengan mempertimbangkan parameter *Link Power Budget* (LPB), *Rise Time Budget* (RTB), *Bit Error Rate* (BER), *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Q-Factor* serta melakukan simulasi performansi di *application* perangkat lunak.

II. KAJIAN TEORI

Fiber to the Home (FTTH)

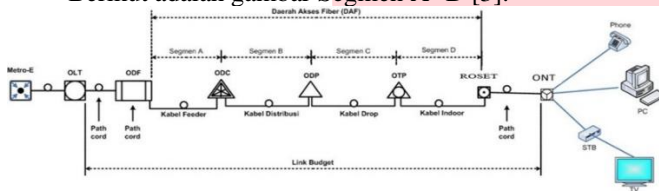
Fiber to the Home (FTTH) adalah untuk mentransmisikan sinyal optik dari penyedia pusat di distribusikan untuk pengguna melalui serat optik sebagai media pengiriman. Hal ini juga didorong adanya keinginan untuk mendapatkan layanan yang dikenal dengan istilah *Triple Play Services*.

Dasar dasar XG-PON

XG-PON merupakan teknologi akses yang diklasifikasikan sebagai akses *broadband* berdasarkan serat optik, dan XG-PON menjadi salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T G.987. Keuntungan dari XG-PON ialah *bandwidth* yang diberikan kepada pelanggan untuk *downstream* 10 Gbps dan *upstream* 2,5 Gbps [2].

2.3 Komponen XG-PON

Berikut adalah gambar Segmen A- D [3].



Gambar 1. Segmen A sampai D.

Komponen dari XG-PON:

1. Segmen A

a. *Optical Line Terminal (OLT)*

OLT terletak kantor pusat (STO) sebagai penyedia antarmuka sistem PON dengan penyedia layanan *triple play* dan berperan sebagai pengubah sinyal elektrik menjadi sinyal *optic* [3]. Berikut tabel spesifikasi OLT [4].

Tabel 1 Spesifikasi OLT ITU-T G.987.

Parameter	Keterangan
<i>Downstream Speed</i>	9,95328 Gbit/s
<i>Panjang Gelombang</i>	1575-1580 nm
<i>Sensitivitas Receiver</i>	- 28 dBm
<i>Linecode</i>	NRZ (<i>non return to zero</i>)
<i>Power Transmitter</i>	2 dBm – 6 dBm
<i>Range Dispersion</i>	0-400 ps/nm (DD20)
	0-800 ps/nm (DD40)
<i>Minimal Extinction Ratio</i>	8,2 dB

b. *Optical Distribution Frame (ODF)*

ODF merupakan rak yang memiliki peran utama sebagai sarana pegangan bagi kabel dan elemen pasif serta adanya *fiber organizer* yang berfungsi sebagai *protect* komponen di

dalamnya. Selain itu, ODF sebagai titik terminasi kabel *fiber optic indoor* dengan kabel *fiber optic outdoor* [5].

c. *Kabel Fiber Optic (Fedeer)*

Kabel *Fiber Optic* berguna mentransmisikan informasi berupa sinyal *optic* dari hasil konversi perangkat opto-elektrik (OLT). Pada umumnya kabel *fiber optik* yang digunakan berupa Single Mode G.652D, ditinjau dari jenis instalasinya, kabel *fiber optic* tanam langsung, kabel *fiber optic duct* dan kabel *fiber optic aerial* [5].

d. *Splitter*

Splitter berfungsi untuk membagi informasi sinyal *optic*, macam macam *splitter*, yaitu untuk 1 input seperti 1:2, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, dan 1:64. Selain itu, ada yang memiliki 2 input seperti 2:16 dan 2:32. *Splitter* 1:4 memiliki redaman 7,25 dB dan *splitter* 1:8 memiliki redaman 10,5 dB [5].

e. *Optical Distribution Cabinet (ODC)*

ODC merupakan perangkat pasif yang biasanya dipasang di luar dan juga dapat dipasang di dalam ruangan. ODC harus dilengkapi dengan space untuk *splicing*, space untuk *splitter*, kabel manajemen, serta *parking lot*. Kapasitas ODC disesuaikan dengan kebutuhan dilapangan dengan standar kapasitas 96 port, 144 port, 288 port, dan 576 port [5].

2. Segmen B

a. *Optical Distribution Point (ODP)*

ODP merupakan perangkat pasif yang biasanya di instal didalam ruangan maupun luar ruangan. Jenis ODP: ODP closure (bawah tanah dan tiang), ODP wall (tiang) dan ODP padesta (permukaan tanah), kapasitas 8,12,16,24,48 port [5].

b. *Kabel Distribusi*

Kabel *fiber optic* distribusi berguna untuk melanjutkan sinyal informasi berupa sinyal *optic* dari ODC ke ODP, pada umumnya menggunakan kabel *fiber optic Single Mode G.652D*. Kapasitas kabel distribusi berkisar 6-48 core [5].

c. *Kabel Drop*

Kabel drop berfungsi melanjutkan sinyal *optic* dari ODP ke Homepass, biasanya menggunakan kabel drop kapasitas 1,2,4 core [5].

3. Segmen C

a. *Kabel Indoor*

Kabel *indoor* berguna untuk melanjutkan sinyal informasi yang berupa sinyal optik, biasanya menggunakan kapasitas 1-2 core [5].

b. *Roset*

Roset dipasang didalam ruangan atau rumah pelanggan, sebagai titik terminasi akhir kabel *fiber optic* dengan kapasitas roset 1-2 port [5].

c. *Optical Network Termination (ONT)*

ONT adalah perangkat aktif yang dipasang didalam rumah pelanggan [5]. Spesifikasi ONT ITU-T G.987.2 sebagai berikut [4].

Tabel 2. Spesifikasi ONT ITU-T G.987.2.

Parameter	Keterangan
<i>Upstream Speed</i>	2,48832 Gbit/s
<i>Panjang Gelombang</i>	1260-1280 nm
<i>Linecode</i>	NRZ (<i>non return to zero</i>)
<i>Sensitivitas Receiver</i>	-27,5 dBm – (-7 dBm)
<i>Power Transmitter</i>	2 dBm – 7 dBm

4. Aksesoris Lainnya

Pigtail

Pigtail merupakan aksesoris yang digunakan di ujung *fiber optic* untuk menghubungkan perangkat aktif maupun pasif [5].

Patch-cord

Aksesoris yang berguna untuk menghubungkan perangkat pasif dengan perangkat pasif maupun perangkat aktif dengan perangkat aktif [5].

Konektor

Untuk menghubungkan core *optic* dengan cara mekanikal, macam konektor:

Subscriber Connector (SC): berguna untuk kabel *single mode* dan harga murah dan dapat diatur manual serta akurasi baik.

Straight Tip (ST): digunakan untuk *single-mode* maupun *multimode*.

Fiber Connector (FC): berguna untuk *single mode* dengan akurasi sangat tinggi.

Redaman konektor SC sebesar 2,5 dB [5].

Adapter digunakan untuk dipasangkan di ODF, ODC, OTP dan roset, berguna untuk menyambungkan core *optic* yang menggunakan konektor [5].

Klam C & S, Klam C berguna untuk menambat kabel drop di tiang dan Klam S untuk menambat di dinding [5].

Tiang Besi dan Beton, sebagai penyangga kabel udara *feeder*, distribusi, drop dan berguna sebagai tempat ODP dengan tinggi 7 dan 9 meter sesuai dengan kondisi lapangan [5].

2.4 Google Earth

Google Earth adalah aplikasi yang dirancang oleh Keyhole, Inc. Program ini memetakan bumi dengan melapisi gambar yang dikumpulkan dari pemetaan satelit, foto udara [6].

2.5 OptiSystem

OptiSystem adalah perangkat lunak berguna untuk mensimulasikan jaringan serat optik dari pusat hingga pengguna akhir, serta mendukung dimensi jaringan seperti LPB, BER dan *Q-factor* [7].

2.6 Parameter Kelayakan Rancangan

Link Power Budget (LPB)

Link Power Budget dihitung dengan syarat daya yang kami desain melebihi ambang batas kebutuhan daya. *Link Power Budget* dapat menggunakan rumus berikut [8].

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

$$P_{rx} \equiv P_{tx} - \alpha_{tot} - SM \quad (2)$$

Perhitungan margin daya adalah:

$$M = (P_t - P_r) - \alpha_{tot} - SM \quad (3)$$

Keterangan:

P_t = Daya keluaran sumber optik (dBm)

P_r = Sensitivitas daya maksimum detektor (dBm)

SM = *Safety margin*, berkisar 2-3 dB

α_{tot} = Redaman total sistem (dB)

L = Panjang serat optik (Km)

α_c = Redaman Konektor (dB/buah)

α_s = Redaman sambungan (dB/sambungan)

α_{serat} = Redaman serat optik (dB/ Km)

N_s = Jumlah sambungan

N_c = Jumlah konektor

S_p = Redaman *Splitter* (dB)

2. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan daya sinyal terhadap daya gangguan, pada titik yang sama dengan nilai minimum 22 dB [8]. Semakin besar nilai S/N, maka sistem dapat bekerja dengan baik. S/N dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SNR = 10 \log \frac{(Pr \cdot R \cdot M)^2}{2 \cdot q \cdot Pr \cdot R \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot Be + \frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot Be}{R_L}} \quad (6)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya yang diterima *receiver* (Prx dalam bentuk Watt)

R = *Responsivity* (A/W)

M = *Avalanche Photodiode Gain*

q = *Electron Charge* ($1,69 \times 10^{-19}$ C)

F(M) = *Noise Figure*

(Be) = *Receiver Electrical Bandwidth*

(K_B) = Konstanta Boltzman's ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = Suhu Ruangan

RL = Resistensi (Ω)

3. Q Factor

Q factor adalah faktor kualitas yang menentukan baik dan buruknya suatu sistem, dengan nilai minimum sebesar 6 [8]. *Q factor* dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \tag{7}$$

Keterangan:

SNR = Nilai *Signal to Noise Ratio*

4. Bit Error Rate (BER)

BER adalah tingkat kesalahan bit yang terjadi saat mentransmisikan sinyal digital. Pada jaringan komunikasi optik nilai BER harus $\leq 10^{-9}$ [8]. BER dapat dirumuskan sebagai berikut:

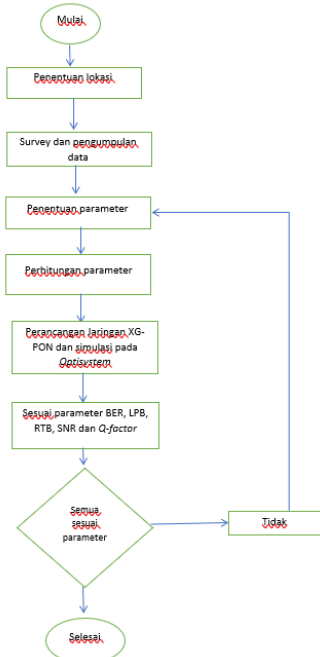
$$BER = P e(Q) = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{Q^2}{2}} \tag{8}$$

Dimana:

Q = *Quantum noise*, $\pi = 3.14$

2.7 Diagram Alir Perancangan

Pada gambar 2 menggambarkan alur perancangan arsitektur jaringan FTTH menggunakan teknologi XG-PON untuk memberikan layanan *tripleplay* kepada pelanggan. Desain jaringan memerlukan data yang akurat, perhitungan yang akurat, dan kepatuhan terhadap ITU-T untuk memungkinkan pelanggan menggunakan jaringan yang dirancang.



Gambar 2. Diagram perancangan FTTH.

2. 8 Perencanaan Jaringan

OLT untuk jaringan akses XG-PON pada perumahan *Private housing cluster* Plemburan Yogyakarta terletak di PT. Telkom Indonesia Kentungan, Sleman, Yogyakarta di koordinat lintang 7°44'25.32"S dan Bujur 110°23'31.01"E. ODC yang digunakan adalah ODC baru yang terletak di depan perumahan *Private housing cluster* Plemburan Yogyakarta, jarak OLT ke ODC adalah 2,65 km, jarak ODC ke ODP 0,125 km menggunakan jalur aerial *cable*. Selain itu, jalur aerial *cable* ditambahkan dari ODP ke beberapa ONT di perumahan *Private housing cluster* Plemburan Yogyakarta. Pada ODC menggunakan splitter 1:4 dan pada ODP menggunakan splitter 1:8.



Gambar 4. Jalur *Feeder* OLT ke ODC

2.9 Kebutuhan Perangkat

Dalam perancangan FTTH XG-PON penentuan jumlah perangkat berdasarkan tata letak dan jarak. Kebutuhan perangkat dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan Perangkat

Perangkat	Jumlah	Unit	Letak
OLT	1	Buah	Di dalam
<i>Rack</i>	1	Buah	Di dalam
ONT	18	Buah	Di dalam
FAT (ODP)	3	Buah	Di dalam
FDT (ODC)	1	Buah	Di dalam
PS 1:4	1	Buah	Di dalam
PS 1:8	3	Buah	Di dalam
Konektor	252	Buah	Di dalam/di luar
Kabel <i>feeder</i> (Serat G.652 D)	2,65	Km	Di luar
Kabel distribusi (Serat G.652 D)	0,125	Km	Di luar
Kabel drop (Serat G.652 D)	0,255	Km	Di dalam/ di luar

III. METODE

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap jaringan yang akan di implementasikan dengan software perangkat lunak versi 7.0 dan dengan perhitungan secara manual. Berikut parameter input yang digunakan:

Tabel 4. Parameter Input.

No	Parameter		Spesifikasi	
1	Transmitter	Jenis	LASER	
		Panjang Gelombang	Upstream	1270 nm
			Downstream	1577 nm
		Input Power	Upstream	2 dBm
			Downstream	3 dBm
Modulasi	NRZ (non return to zero)			
2	Bandwidth	Bite Rate Downstream	10 Gbps	
		Bite Rate Upstream	2.5 Gbps	
3	Receiver	Responsivity	1 A/W	
		Sensitivity	-28 dBm	
		Gain	10	
		Modulasi	APD	
4	Optical Fiber	Jenis	SMF	
		Panjang kabel Feeder	2,65 Km	

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kelayakan Jaringan

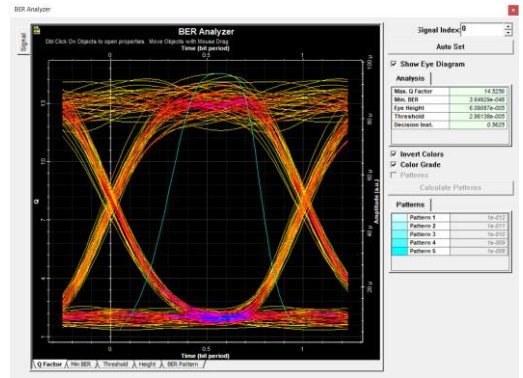
Pada pengujian ini, diuji menggunakan parameter input yang memenuhi ITU-T G.987.2

Perhitungan Manual

Berikut adalah hasil pengujian kelayakan jaringan FTTH menggunakan perhitungan manual.

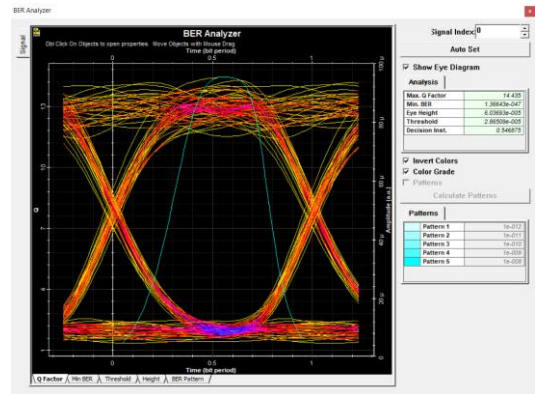
3.1.2 Hasil Simulasi

Pada pengujian ini, diuji menggunakan simulasi pada perangkat lunak.



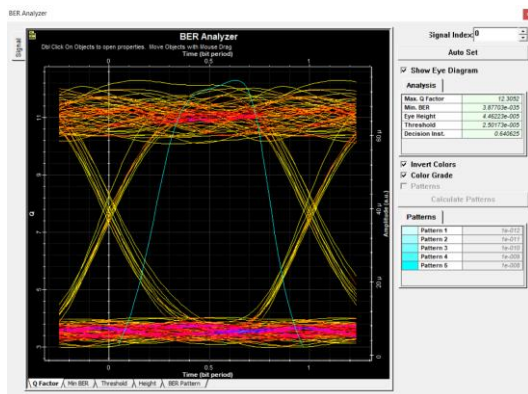
Gambar 9. Hasil simulasi Downstream terdekat

Pada Gambar 9, didapatkan daya pancar untuk downstream terjauh sebesar 23,244 dBm, Nilai Q-factor sebesar 14,5256 dan nilai BER 3,64929 x 10⁻⁴⁸.



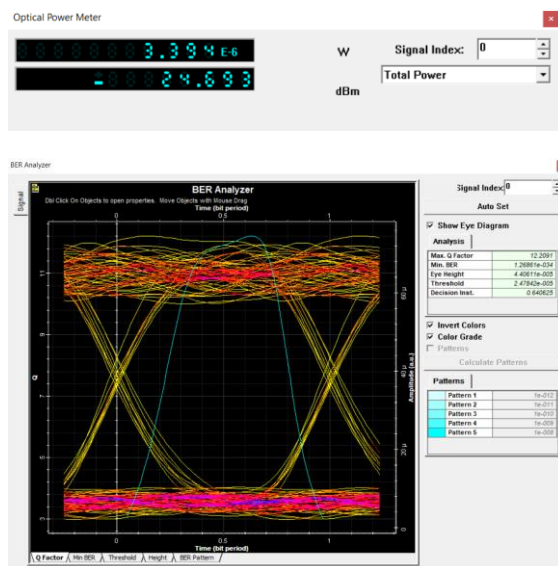
Gambar 10. Hasil simulasi Downstream terjauh.

Pada Gambar 10, didapatkan daya pancar untuk downstream terjauh sebesar 23,275 dBm, Nilai Q-factor sebesar 14,435 dan nilai BER 1,36643 x 10⁻⁴⁷.



Gambar 11. Hasil simulasi *upstream* terdekat.

Pada Gambar 11, didapatkan daya pancar untuk *upstream* terdekat sebesar 24,649 dBm, Nilai *Q-factor* sebesar 12,3052 dan nilai BER $1,26861 \times 10^{-34}$.

Gambar 12. Hasil simulasi *upstream* terdekat.

Pada Gambar 12, didapatkan daya pancar untuk *upstream* terjauh sebesar 24,693 dBm, Nilai *Q-factor* sebesar 12,2091 dan nilai BER $1,26861 \times 10^{-34}$.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah, hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan untuk Perumahan *Private Housing Cluster* Plemburan di Yogyakarta, dapat disimpulkan bahwa:

1. Perhitungan redaman *Link Power Budget downstream* secara manual menghasilkan nilai sebagai berikut:
 - a. *Downstream* terdekat dengan nilai 23,2443 dB dan Prx sebesar -23,2443 dBm.
 - b. *Downstream* terjauh dengan nilai 23,2751 dB dan Prx sebesar -23,2751 dBm.

Berdasarkan hasil kalkulasi tersebut nilai redaman *Link Power Budget downstream* masih memenuhi standar ITU-T G.987.2 dengan nilai -28 dBm.

2. Perhitungan redaman *Link Power Budget upstream* secara manual menghasilkan nilai sebagai berikut:
 - a. *Upstream* terdekat dengan nilai 23,649 dB dan Prx sebesar -24,649 dBm.
 - b. *Upstream* terjauh dengan nilai 23,693 dB dan Prx sebesar -24,693 dBm.

Berdasarkan hasil kalkulasi tersebut nilai redaman *Link Power Budget Upstream* masih

memenuhi standar ITU-T G.987.2 dengan nilai -27,5 dBm.

3. Hasil perhitungan *Rise Time Budget* secara manual sebagai berikut:
 - a. *Downstream* terjauh didapatkan nilai sebesar 0,06803691 ns. Dari hasil perhitungan tersebut nilai *downstream* terjauh masih memenuhi ketentuan *bit rate* sinyal NRZ yang mana nilainya masih dibawah 0,07 ns, tetapi nilai tersebut tidak memenuhi *bit rate* sinyal RZ yang mana nilainya diatas 0,035 ns.
 - b. *Upstream* terjauh didapatkan nilai sebesar 0,062775 ns. Dari hasil perhitungan tersebut nilai *upstream* terjauh masih memenuhi ketentuan *bit rate* sinyal NRZ yang mana nilainya masih dibawah 0,28 ns, dan nilai tersebut memenuhi *bit rate* sinyal RZ yang mana nilainya dibawah 0,14 ns.
4. Hasil simulai perancangan jaringan menggunakan *OptiSystem* didapatkan nilai BER sebagai berikut:

- b. *Downstream* terdekat sebesar $3,64929 \times 10^{-48}$ dan *Downstream* terjauh sebesar $1,36643 \times 10^{-47}$
- c. *Upstream* terdekat sebesar $3,87703 \times 10^{-35}$ dan *Upstream* terjauh sebesar $1,26861 \times 10^{-34}$.

Dimana nilai BER masih memenuhi nilai sebesar $\leq 10^{-9}$.

REFERENSI

- [1] Direktorat Jenderal Aplikasi Informatika Kementerian Komunikasi dan Informatika RI, *Penggunaan Internet di Indonesia*, <https://aptika.kominfo.go.id/2019/08/penggunaan-internet-di-indonesia/>, [diakses pada 19 November 2021,15:30:15 WIB]
- [2] Bougart, Fabrice, *Optical Access Transmission: XG-PON system aspects*, presented at FTTH Conference 2010 ITU-T Standardization: from G-PON to 10G XG-PON, Lisbon, France, 2010.
- [3] Laboratorium Sistem Komunikasi Serat Optik, *Modul Drafter 2016*, Universitas Telkom, 2016.
- [4] ITU-T Recommendation G.987.2, *10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms*, Amd.1, Agustus 2017.
- [5] Hantoro, Gunadi Dwi, Karyada, *Fiber Optik: Teknologi, Material, Instalasi, dan Implementasi*, Bandung: Informatika Bandung, 2015.
- [6] Dewi, Arita, *Perancangan Aplikasi Google Earth Sebagai Media Pembelajaran Geografis menggunakan Metode Image Enhancement*, Simposium Nasional RAPI XIII- 2014 FT UMS, 2014.

- [7] OptiWave, *Opti System: Optical Communication System and Amplifier Design Software*, 2009.
- [8] Khoirul, Amri, *Perancangan Jaringan Fiber to the Home (FTTH) dengan Teknologi Gigabit Passive*

