

PERANCANGAN JARINGAN FIBER TO THE HOME DENGAN TEKNOLOGI 10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK DI PERUMAHAN ANGKASA INDAH PERMAI BANDA ACEH

Haris Fadillah
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro, Telkom
University
Bandung, Indonesia
harisfadillah@gmail.com

Nachwan Mufti Ardiansyah
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro, Telkom
University
Bandung, Indonesia
nachwanma@telkomuniversity.ac.id

Brian Pamukti
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro, Telkom
University
Bandung, Indonesia
brianpam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Perumahan Angkasa Indah Permai Banda Aceh merupakan rumah yang sedang dalam tahap pembangunan, sudah tersedia jaringan FTTH hanya saja menggunakan teknologi G-PON, Dalam penelitian ini teknologi yang digunakan adalah XG-PON dengan menghitung kelayakan jaringan dan kinerja desain jaringan FTTH untuk diterapkan dalam pembangunan perumahan Angkasa Indah Permai Banda Aceh. Perhitungan manual Link Power Budget, yaitu total redaman untuk Downstream terdekat adalah sebesar 23.223 dB dan Downstream terjauh adalah sebesar 23.307 dB. Nilai redaman yang didapatkan untuk Upstream terdekat sebesar 24.403 dB dan Upstream terjauh sebesar 24.549 dB. Hasil perhitungan tersebut memenuhi standar sensitivitas yang ditetapkan oleh ITU-T G987.2 yaitu sebesar -28 dBm. Berdasarkan total redaman, daya yang di terima pada Downstream terdekat sebesar -26.223 dBm dan untuk Downstream terjauh sebesar -26.307 dBm. Sedangkan daya yang di terima pada Upstream terdekat sebesar -27.403 dBm dan untuk Upstream terjauh sebesar -27.549 dBm. Nilai Rise Time Budget, didapatkan nilai waktu batasan adalah 0,07 ns untuk pengkodean NRZ pada link downstream, sedangkan untuk link upstream nilai waktu batasan 0,28 ns untuk pengkodean NRZ. Hasil perhitungan adalah 0.05034 ns untuk link downstream dan 0.0501371 ns untuk link upstream. Hasil dari perhitungan Rise Time Budget didapatkan nilai yang baik karena lebih kecil dari batas waktu pengkodean.

Kata kunci— FTTH, XG-PON, Link Power Budget, Rise Time Budget, BER, Q-factor.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan pengguna internet untuk akses broadband saat ini semakin meningkat. Akses broadband yang ada seperti Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) dengan transmisi jarak pendek, akses dengan bandwidth terbatas, tingkat keamanan yang tidak tinggi, dan Quality of Service (QoS) yang tidak terjamin membuat teknologi tersebut semakin tidak mampu memenuhi kebutuhan pelanggan. Kebutuhan akan pelayanan publik berbasis digital terus meningkat sehingga diperlukan suatu struktur komunikasi yang mampu melayani semua pelayanan [1]. Kebutuhan layanan saat ini tidak hanya suara, tetapi juga data dan video. Kabel tembaga pun tidak memenuhi untuk kebutuhan akses data yang besar,

hal ini mendorong perusahaan telekomunikasi untuk melakukan berbagai upaya agar meningkatkan kualitas layanan telekomunikasi bagi pelanggan. Beberapa teknologi telah diciptakan untuk memenuhi kebutuhan bandwidth yang tinggi dan salah satu solusi yang direalisasikan adalah jaringan optik Gigabit-capable Passive Optical Network (G-PON) berbasis Fiber to the Home (FTTH).

FTTH adalah pengimplementasian dari teknologi transmisi fiber optik yang merupakan salah satu topologi jaringan *Fiber to the X* (FTTx). Selain itu, teknologi ini mampu mentransmisikan data dengan laju bit yang cepat serta stabil hingga sampai ke pelanggan. Salah satu penerapan FTTH adalah dengan adanya teknologi *10 Gigabit-capable Passive Optical Network* (XG-PON) yang dapat memenuhi kebutuhan layanan *triple play*. XG-PON adalah salah satu teknologi sistem komunikasi serat optik yang merupakan bentuk evolusi dari perkembangan G-PON. Perancangan FTTH menggunakan teknologi XG-PON ini dinilai lebih baik jika dibandingkan dengan teknologi terdahulunya, yaitu G-PON karena memiliki *data rate* yang lebih cepat dari segi *upstream* maupun *downstream*. Mengacu di penelitian-penelitian terkait yang menggunakan G-PON, maka teknologi XG-PON bisa dijadikan solusi untuk layanan telekomunikasi yang lebih baik.

II. KAJIAN TEORI

A. Fiber Optik

Fiber optik adalah media transmisi yang terbuat dari serat kaca dan plastik yang menggunakan pemantulan cahaya dalam mentransmisikan data. Struktur fiber optik terdiri dari beberapa susunan yaitu cladding, core, dan buffer coating. Core atau inti merupakan serat kaca tipis yang berperan sebagai tempat berpropagasinya cahaya, sehingga pengiriman cahaya dapat dilakukan. Cladding merupakan lapisan luar yang melindungi inti dan memantulkan kembali cahaya yang terpancar ke dalam inti. Sedangkan buffer coating adalah selubung plastik yang bertujuan untuk melindungi serat dari kerusakan yang diakibatkan lengkungan kabel dan gangguan luar misalnya kelembaban.

B. Arsitektur Jaringan Lokal Akses Fiber

Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) atau Optical Distribution Network (ODN) adalah sekumpulan jaringan akses yang menggunakan antarmuka jaringan secara bersamaan dan diimplementasikan menggunakan serat optik. Jarlokaf merupakan suatu solusi strategis bagi jaringan pelanggan namun sangat sensitif terhadap jenis teknologi. Jarlokaf setidaknya memiliki 2 buah perangkat opto elektrik, yaitu satu perangkat opto elektrik di sisi sentral dan satu perangkat opto elektrik di sisi pelanggan. Lokasi perangkat opto elektrik di sisi pelanggan selanjutnya disebut Titik Konversi Optik (TKO). Secara praktis TKO berarti batas terakhir kabel optik ke arah pelanggan yang berfungsi sebagai lokasi konversi sinyal optik ke sinyal elektrik.

C. Fiber to the Home (FTTH)

Titik konversi sinyal optik terletak didalam rumah pelanggan. Terminal pelanggan dihubungkan dengan titik konversi sinyal optik melalui kabel tembaga indoor hingga beberapa puluh meter. FTTH dapat dianalogikan sebagai pengganti Terminal Blok (TB). Jaringan lokal akses fiber yang banyak digunakan pada daerah bisnis adalah Fiber to the Building (FTTB) dan Fiber to the Curb (FTTC). Sedangkan pada daerah perumahan yang banyak digunakan adalah Fiber to the Home (FTTH).

D. 10 Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON)

10 Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON) adalah suatu teknologi akses yang dikategorikan sebagai broadband access berbasis fiber optik. XG-PON merupakan salah satu dari 13 teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T G.987x. Keunggulannya adalah bandwidth yang ditawarkan bisa mencapai 10 Gbps downstream dan upstream 2.5 Gbps sampai pelanggan tanpa adanya kehilangan bandwidth [6].

E. Prinsip Dasar (XG-PON)

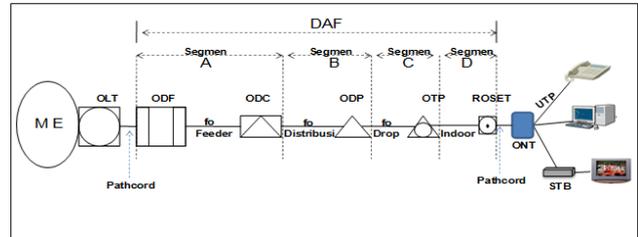
XG-PON (10 Gigabit-capable Passive Optical Network) adalah teknologi akses yang diklasifikasikan sebagai akses broadband berdasarkan serat optik, dan merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T G.987. Keuntungannya adalah bandwidth yang diberikan kepada pelanggan bisa sampai 10 Gbps downstream dan sampai 2,5 Gbps upstream tanpa kehilangan bandwidth.

Tabel 2.1 Kapabilitas Transmisi XG-PON [10]

No	Item	Spesifikasi
1	Kecepatan Data	Upstream: 2.48832 Gbps
		Downstream: 9.5328 Gbps
2	Power Budget	29 dB ke 31 dB
3	Serat Optik	Standarisasi ITU-T G.652
4	Panjang Gelombang	Downstream 1575-1580 nm
		Upstream 1260-1280 nm
5	Jarak Serat Optik	20 km

F. Topologi Arsitektur FTTH pada XG-PON

Komponen yang akan digunakan pada XG-PON ini hampir sama dengan komponen yang digunakan pada teknologi G-PON, hanya saja ada beberapa komponen yang harus diganti agar dapat mendukung teknologi XG-PON akan tetapi masih dengan fungsi yang sama, seperti contohnya pada OLT dan ONT.



Gambar 2.1 Topologi Arsitektur jaringan FTTH

1. Optical Line Terminal (OLT)

OLT adalah jenis perangkat aktif yang merupakan sub sistem dari *Optical Access Network* yang berdasarkan teknologi *Passive Optical Network*, berfungsi sebagai *interface* sentral dengan jaringan yang dihubungkan ke satu atau lebih jaringan distribusi optic [5]. Perangkat ini memiliki 2 fitur utama:

- Melakukan konversi antara sinyal listrik yang digunakan oleh penyedia layanan dan sinyal optik yang digunakan oleh jaringan optik pasif.
- {Single-mode Multiplexing} terkoordinasi untuk perangkat lain di ujung jaringan, biasanya disebut sebagai ONT (*Optical Network Terminal*) atau ONU (*Optical Network Unit*).

2. Optical Network Terminal (ONT)

ONT merupakan perangkat pada sisi pelanggan yang menyediakan *interface*, baik data, telepon, maupun video. ONT mengubah sinyal optik yang ditransmisikan dari OLT dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik yang diperlukan [5]. ONT berfungsi sebagai berikut:

- Mengkonversi sinyal optik menjadi sinyal elektrik.
- Sebagai alat *Demultiplexing*.

3. 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].

4. Kabel Feeder

Kabel Fiber Optic berguna mentransmisikan informasi berupa sinyal *optic* dari hasil konversi perangkat opto-elektrik (OLT) [3]. 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. Optical Distribution Cabinet (ODC)

Optical Distribution Cabinet adalah perangkat pasif yang di instalasi diluar STO, pemasangan ODC biasa dilakukan dilapangan *Outdoor*. ODC mempunyai fungsi sebagai titik terminasi ujung kabel feeder dan kabel distribusi, Sebagai titik distribusi kabel feeder menjadi beberapa kabel distribusi, lokasi *splitter* dan sebagai titik koneksi.

6. Optical Distribution Point (ODP)

Optical Distribution Point (ODP) merupakan *output* dari ODC yang terhubung ke masing-masing *Optical Network Termination* ONT/ONU. Perangkat ODP dapat berisi *splitter room*, konektor adaptor, *optical pigtail*, dan dilengkapi ruang manajemen fiber dengan kapasitas tertentu. ODP melakukan fungsi sebagai Sebagai titik terminasi ujung kabel Distribusi dan pangkal kabel Drop, kabel distribusi dibagi menjadi beberapa saluran (kabel drop), lokasi *splitter* dan titik koneksi [3].

7. Kabel Distribusi

Kabel fiber optik 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 12-96 core [3].

8. Optical Termination Premise

OTP juga merupakan perangkat pasif yang dipasang dirumah pelanggan, yang mempunya fungsi sebagai titik terminasi atau titik tambat akhir dari kabel *drop core*, tempat sambungan *core optic*/peralihan dari kabel *outdoor* dengan *indoor* [3].

9. Kabel Drop Core

Kabel *drop core* berfungsi meneruskan sinyal *optic* dari ODP ke *subscriber*, tipe kabel drop yang biasa digunakan adalah *G.657* hal ini dimaksudkan untuk menanggulangi lokasi dimana instalasinya banyak belokan-belokan, sehingga harus menggunakan tipe *core optic* yang tidak sensitive terhadap tekukan, kapasitas kabel drop pada umumnya 1, 2 dan 4 core [3].

10. Roset

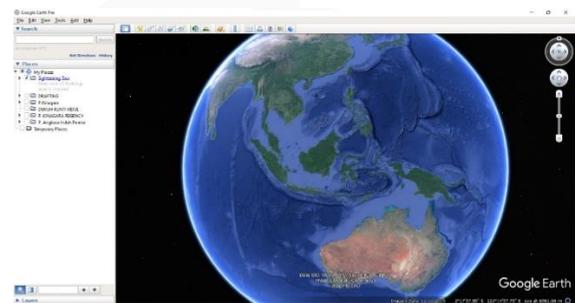
Roset merupakan perangkat pasif yang diletakkan didalam rumah pelanggan, yang menjadi titik terminasi akhir dari kabel *indoor fiber*, kapasitas roset biasanya 1 atau 2 port.

11. Kabel Indoor

Kabel indoor juga mempunyai fungsi sama dengan kabel-kabel fiber optic lainnya yang dibahas diatas yaitu meneruskanrus informasi yang berupa gelombang cahaya, kabel *indoor* menggunakan tipe *G657 A/B*. Banyaknya *core* yang digunakan biasanya 1 atau 2 *core* [3].

G. Google Earth

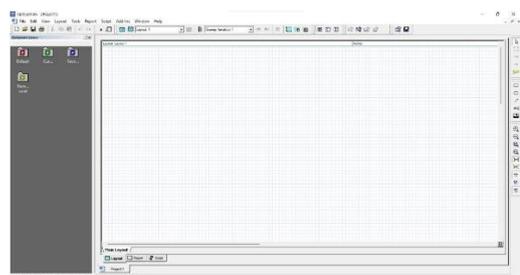
Google Earth merupakan sebuah program globe virtual yang sebenarnya disebut Earth Viewer dan dibuat oleh Inc Keyhole. Program ini memetakan bumi dari superimposisi gambar yang dikumpulkan dari pemetaan satelit, fotografi udara dan globe GIS 3D [7] . Google Earth menyediakan foto permukaan bumi tingkat atas, termasuk semua kondisi morfologis dan kontur aktual permukaan bumi, yaitu resolusi gambar yang cukup baik serta deskripsi garis lintang dan garis bujur dari semua wilayah di bumi.



Gambar 2.2 Ilustrasi software Google Earth

H. Google Earth

Google Earth merupakan sebuah program globe virtual yang sebenarnya disebut Earth Viewer dan dibuat oleh Inc Keyhole. Program ini memetakan bumi dari superimposisi gambar yang dikumpulkan dari pemetaan satelit, fotografi udara dan globe GIS 3D [7] . Google Earth menyediakan foto permukaan bumi tingkat atas, termasuk semua kondisi morfologis dan kontur aktual permukaan bumi, yaitu resolusi gambar yang cukup baik serta deskripsi garis lintang dan garis bujur dari semua wilayah di bumi.



Gambar 2.3 Ilustrasi software OptiSystem

I. Kelayakan perancangan

Dalam merancang suatu system telekomunikasi, perlu dilakukan analisis jaringan dengan menggunakan beberapa parameter untuk mengetahui kinerja system yang dirancang. Adapun parameter yang digunakan adalah LPB, SNR, Q-factor, BER dan RTB.

1. Link Power Budget

Link Power Budget adalah perhitungan daya yang dilakukan pada suatu system transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran (rugi-rugi), sumber optik dan sensitivitas detector. Daya optik yang di terima bergantung pada jumlah cahaya yang di kopel kedalam serat optik & redaman yang terjadi selama cahaya berada di serat, konektor dan splice. Link Power Budget dihitung sebagai syarat agar link yang kita rancang dayanya melebihi batas ambang dari daya yang di butuhkan.

Redaman total adalah:

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{kabel} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + Sp$$

Perhitungan Daya terima adalah:

$$P_{rx} \equiv P_{tx} - \alpha_{tot} - SM$$

Perhitungan margin daya adalah:

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

Keterangan:

- P_t = Daya keluaran sumber optik (dBm)
- P_r = Sensitivitas detector (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)
- Ns = Jumlah sambungan
- Nc = Jumlah konektor
- Sp = Redaman Splitter (dB)

2. Link Power Budget

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan daya sinyal terhadap daya gangguan, pada titik yang sama dengan nilai minimum 22 dB [11]. Semakin besar nilai S/N, maka sistem dapat bekerja dengan baik. S/N dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SNR = 10 \log \frac{((p_{in}) RM)^2}{2qP_{in}RM^2F(M)B + \frac{4k_BTB_e}{R_L}}$$

Keterangan:

- P_{in} = Daya yang diterima receiver
- R = Responsitivity (A/W)

- M = Avalanche Photodiode Gain
- Q = Electron Charge ($1,69 \times 10^{-19}$ C)
- F(M) = Noise Figure
- (Be) = Receiver Electrical Bandwidth
- (KB) = 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 [11]. Q factor dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{10 \frac{SNR}{20}}{2}$$

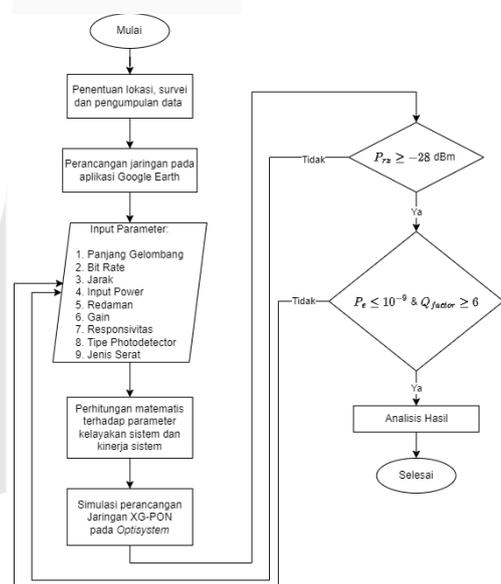
Keterangan:

SNR = Nilai Signal to Noise Ratio

III. METODE

A. Diagram Perancangan

Definisikan singkatan dan akronim saat pertama kali digunakan dalam teks, bahkan setelah didefinisikan dalam abstrak. Singkatan seperti IEEE, SI, MKS, CGS, sc, dc, dan rms tidak harus didefinisikan. Jangan gunakan singkatan dalam judul atau kepala kecuali jika tidak dapat dihindari.



Gambar 3.1 Diagram Alir Simulasi

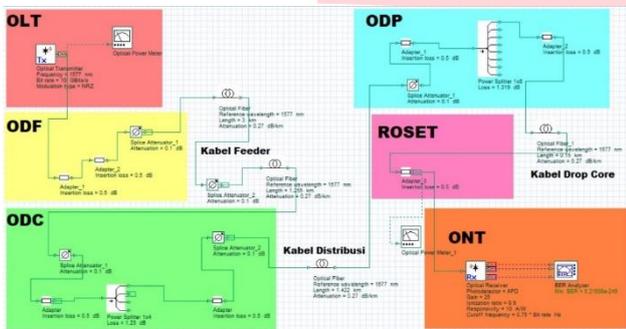
FTTH dirancang untuk memenuhi kebutuhan bandwidth perumahan Angkasa Indah Permai di kota Banda Aceh yang belum dibangun teknologi XG-PON. Ini sangat penting karena akan memandu suatu perancangan saat memilih jenis perangkat yang akan digunakan. Bandwidth yang diberikan kepada pelanggan termasuk layanan seperti IP telephone, internet dan IPTV.

B. Perancangan Jaringan

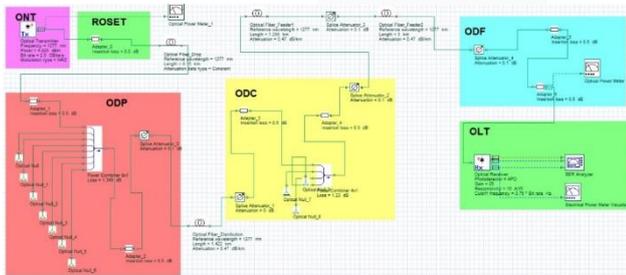
Perancangan jaringan diawali dengan penentuan rute kabel. Kemudian dilanjutkan dengan melihat spesifikasi perangkat yang tersedia. Proses berikutnya adalah penempatan perangkat yang disesuaikan dengan karakteristik perumahan. Pada proses perancangan Tugas Akhir ini sistem kerja pada perancangan jaringan fiber optik dilakukan dengan topologi dan arsitektur jaringan yang tepat. Pada perangkat XG-PON fiber optik memberikan *service broadband* ke pelanggan di wilayah perumahan Angkasa Indah Permai Banda Aceh.



Gambar 3.2 Daerah Akses Fiber



Gambar 3.3 Perancangan Simulasi Link Downstream



Gambar 3.4 Perancangan Simulasi Link Upstream

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian metode ini berisi diagram alir penelitian yang dilakukan dan perancangan simulasi jaringan yang menunjukkan tahapan-tahapan penelitian. Proses perancangan dilakukan untuk mempermudah proses analisis jaringan FTTH yang dibangun. Proses perancangan yang tepat dapat mencegah risiko, baik secara teknis dan nonteknis. Risiko secara teknis dapat berlangsung pada penentuan spesifikasi, jumlah, dan penempatan peralatan jaringan FTTH.

A. Hasil Perhitungan Manual

Berikut hasil perhitungan manual terhadap parameter kelayakan dalam Perancangan system pada perumahan Angkasa Indah Permai Banda Aceh.

Tabel 3.1 Hasil Parameter kelayakan

Perhitungan Manual	Hasil	
	Prx	RTB
Downstream terdekat	- 26,22 dBm	-
Downstream terjauh	-26,30 dBm	0,05034 ns
Upstream terdekat	-27,40 dBm	-
Upstream terjauh	-27,54 dBm	0,05013 ns

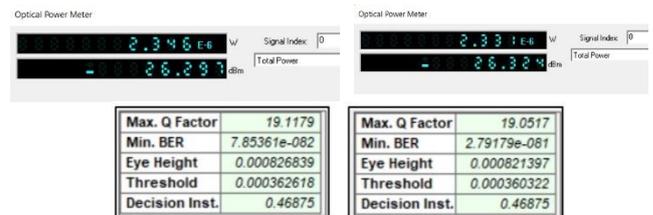
Tabel 3.2 Hasil Parameter Performansi

Perhitungan Manual	Hasil		
	SNR	Q-Factor	BER
Downstream terdekat	28,07 dB	12,66	$4,95 \times 10^{-37}$
Downstream terjauh	28,56 dB	13,39	$3,47 \times 10^{-41}$
Upstream terdekat	27,17 dB	11,41	$1,79 \times 10^{-30}$
Upstream terjauh	26,89 dB	11,05	$1,08 \times 10^{-28}$

Dari keseluruhan parameter kelayakan hasil yang di dapatkan memenuhi batas cut-off yang ditetapkan. Prx \geq sensitifitas yaitu -28 dBm, RTB < waktu batasan yaitu 0.07 ns, SNR > 22 dB, Q-factor \geq 6, BER $\leq 10^{-9}$.

B. Hasil Simulasi

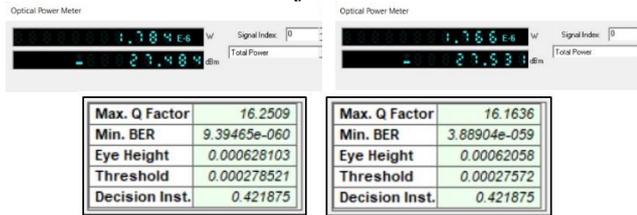
Pada perancangan jaringan ini diuji menggunakan simulasi pada *software OptiSystem* Versi 7.0. Pada Link Downstream dan Upstream menggunakan Input Parameter sebesar 3 dB dengan jarak link system terdekat sebesar 5,9 km dan link system terjauh sebesar 6.212 km.



Gambar 3.5 Hasil Simulasi Downstream terdekat (kiri) dan terjauh (kanan)

Pada gambar 3.5 didapatkan Prx untuk *Downstream* terdekat sebesar -26,297 dBm dan terjauh sebesar -26,324

dBm. Q-factor *Downstream* terdekat sebesar 19,1179 dan terjauh 19,0517. Min. BER untuk *Downstream* terdekat sebesar 7.853×10^{-82} dan terjauh sebesar 2.791×10^{-81} .



Gambar 3.6 Hasil Simulasi *Upstream* terdekat (kiri) dan terjauh (kanan)

Pada gambar 3.6 didapatkan Prx untuk *Upstream* terdekat sebesar -27,484 dBm dan terjauh sebesar -27,531 dBm. Q-factor *Upstream* terdekat sebesar 16,2509 dan terjauh 16,1636. Min. BER untuk *Upstream* terdekat sebesar $9,394 \times 10^{-60}$ dan terjauh sebesar $3,889 \times 10^{-59}$.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah, hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan untuk Perumahan Angkasa Indah Permai, dapat disimpulkan bahwa:

1. Perhitungan redaman *Link Power Budget downstream* secara matematis menghasilkan nilai sebagai berikut:
 - a. *Downstream* terdekat dengan nilai 23,223 dB dan Prx sebesar -26,223 dBm.
 - b. *Downstream* terjauh dengan nilai 23,307 dB dan Prx sebesar -26,307 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 24,403 dB dan Prx sebesar -27,403 dBm.
 - b. *Upstream* terjauh dengan nilai 24,549 dB dan Prx sebesar -27,549 dBm.

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

3. Hasil perhitungan *Rise Time Budget* secara manual sebagai berikut:
 - a. *Downstream* terjauh didapatkan nilai sebesar 0,05034 ns. Dari hasil perhitungan tersebut nilai *downstream* terjauh masih memenuhi ketentuan *bit rates* 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 0,05013 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:
 - a. *Downstream* terdekat sebesar $7,85 \times 10^{-82}$ dan *Downstream* terjauh sebesar $2,79 \times 10^{-81}$
 - b. *Upstream* terdekat sebesar $9,39 \times 10^{-60}$ dan *Upstream* terjauh sebesar $3,88 \times 10^{-59}$

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] Wibisono, Gunawan, dan Hantoro, Gunadi Dwi, *Sistem Jaringan Fiber Optic*, Bandung: Informatika Bandung, 2020
- [3] Hantoro, Gunadi Dwi, Karyada, *Fiber Opti: Teknologi, Material, Instalasi, dan Implementasi*, Bandung: Informatika Bandung, 2015.
- [4] Elang, Nanda, *Perbedaan Single mode dengan Multimode pada kabel fiber optik*, <https://www.eltekno.com/2018/02/perbedaan-single-mode-dengan-multimode.html>, [diakses pada 15 Januari 2022, 20:02:09 WIB].
- [5] Laboratorium Sistem Komunikasi Serat Optik, *Modul Drafter 2016*, Universitas Telkom, 2016.
- [6] 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.
- [7] Dewi, Arita, *Perancangan Aplikasi Google Earth Sebagai Media Pembelajaran Geografis menggunakan Metode Image Enhancement*, Simposium Nasional RAPI XIII- 2014 FT UMS, 2014.
- [8] OptiWave, *Opti System: Optical Communication System and Amplifier Design Software*, 2009.
- [9] Tanjung, Fajri, Akhmad Hambali, dan R. Bambang Cahyo Widodo, *Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) untuk Perumahan Pesona Ciswastra Village Bandung*, Bandung: Universitas Telkom.
- [10] ITU-T Recommendation G.987.2, *10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms*, Amd.1, Agustus 2017.
- [11] Khoiril, Amri, *Perancangan Jaringan Fiber to the Home (FTTH) dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) di Wilayah Permata Buah Batu 1, Bandung*, Desember 2015.
- [12] ITU-T Recommendation G.652, *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*, November 2016.