PERANCANGAN JARINGAN AKSES FIBER TO THE HOME (FTTH) MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (X-GPON) DI PERUMAHAN GRIYA JAPAN RAYA MOJOKERTO

1st Aryo Wahyu Samudro
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
samudroaryo@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Nachwan Mufti A
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
nachwanma@telkomuniversity.ac.id

3rd Brian Pamukti
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
brianp@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak*— Perumahan Japan Raya merupakan perumahan padat penduduk yang sedang dalam tahap perkembangan dan pembangunan, terletak di Jalan R.A Basuni, Kabupaten Mojokerto merupakan konsep hunian yang membutuhkan layanan akses *triple play* yang cepat untuk mendukung kegiatan dan fasilitas yang disediakan. Sudah tersedia jaringan FTTH di perumahan tersebut tetapi konsep hunian ini membutuhkan akses internet yang lebih cepat. Hasil dari penelitian tugas akhir ini adalah *Power Link Budget* didapatkan nilai redaman untuk konfigurasi *Downstream* pada jarak terjauh sebesar 24,44 dB dengan nilai P_{rx} sebesar -26,44 dBm, sedangkan pada konfigurasi *Upstream* nilai redaman sebesar 25,645 dB dengan nilai P_{rx} sebesar -26,645 dBm. Untuk *Rise Time Budget* konfigurasi *Downstream* nilai t_{sys} sebesar 51,292 ps, sedangkan pada konfigurasi *Upstream* nilai t_{sys} sebesar 50,733 ps. Nilai ini berada di bawah waktu batasan untuk pengkodean NRZ yang bernilai 70 ps, berarti dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi *Rise Time Budget*. Berdasarkan hasil simulasi perancangan jaringan pada OptiSystem dengan melihat nilai BER, kualitas transmisi perancangan ini dikatakan baik. Nilai BER yang didapat sebesar 1,599 x 10^{-18} untuk Downstream terjauh dan 2,826 x 10^{-18} untuk *Upstream* terjauh. Nilai tersebut mencukupi standar BER ideal untuk transmisi serat optik yaitu 10^{-9}. Setelah jaringan diimplementasikan biaya yang diperlukan sebesar Rp1.328.440.000,00.**

***Kata kunci*— FTTH, XG-PON, link power budget, rise time budget, BER**

Abstract*— *The Japan Raya Housing is a densely populated housing that is in the development and construction stage, located on Jalan R.A Basuni, Mojokerto Regency. It is a residential concept that requires fast triple play access services to support the activities and facilities provided. FTTH network is already available in the housing, but this residential concept requires faster internet access. The result of this final project is the Power Link Budget, the attenuation value for the Downstream configuration at the furthest distance is 24.44 dB with a P_{rx} the value of -26.44 dBm, while in the Upstream configuration the attenuation value is 25.645 dB with a P_{rx} value of -26.645 dBm. For Rise Time Budget Downstream configuration the value of t_{sys} is 51.292 ps, while for Upstream configuration the value of t_{sys} is 50.733 ps. This value is below the time limit for NRZ coding which is 70 ps, meaning that it can be concluded that the system meets the Rise Time Budget. Based on the results of the network design simulation on the OptiSystem by looking at the BER value, the transmission quality of this design is said to be good. The BER value obtained is 1.599 x 10^{-18} for the farthest downstream and 2.826 x 10^{-18} for the farthest upstream. This value is sufficient for the ideal BER standard for optical fiber transmission, which is 10^{-9}. After the network is implemented, the required cost is Rp. 1.328.440.000,00.

Keywords*— *FTTH, XG-PON, link power budget, rise time budget, BER

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan pelanggan pada layanan teknologi informasi dan komunikasi berkembang sangat pesat, dalam kehidupan sehari-hari penggunaan akses data telah menjadi bagian yang penting untuk mendapatkan informasi baik berupa data suara, gambar, maupun video. Dikarenakan banyaknya penggunaan akses data yang besar, dibutuhkan proses transfer data yang cepat supaya dapat menunjang kebutuhan pelanggan. Maka diperlukan jaringan yang dapat memberikan performansi lebih baik, dengan keterbatasan yang dimiliki oleh kabel koaksial atau tembaga tidak bisa memenuhi kebutuhan akses data yang besar. Maka teknologi kabel serat optik dirasa penting untuk menggantikan penggunaan kabel koaksial atau tembaga.

Pada Tugas Akhir ini, penulis akan membahas tentang perancangan jaringan FTTH di Perumahan Griya Japan Raya Mojokerto. Perumahan tersebut salah satu perumahan terbesar di Kabupaten Mojokerto dan letaknya dekat dengan Kota Mojokerto, selain itu Perumahan Griya Japan Raya Mojokerto juga masih dalam proses perkembangan menjadi lima tahap atau wilayah. Proses perancangan menggunakan

perangkat lunak Opti System serta mengimplementasikan teknologi XG-PON dengan membuat jalur awal, menentukan perangkat yang akan digunakan, dan spesifikasi alat yang akan digunakan. Kemudian untuk menganalisis kelayakan sistem, penulis menggunakan lima parameter meliputi Power Link Budget (PLB), Rise Time Budget (RTB), Bit Error Rate (BER), Signal to Noise Ratio (SNR) dan Q-Factor untuk mengetahui kelayakan sistem dari link sistem komunikasi optik yang telah dibangun.

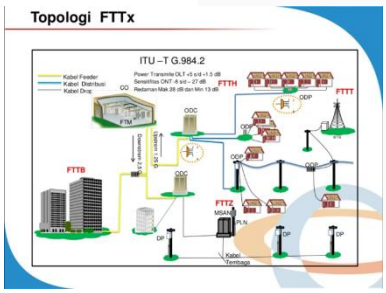
II. KAJIAN TEORI

Serat Optik

Fiber Optik adalah sejenis kabel atau saluran transmisi yang terbuat dari serat kaca dengan diameter kurang dari 200 mikrometer, serta menggunakan cahaya dalam mentransmisikan data dari suatu tempat ke tempat lainnya. Cahaya yang menjalar di dalam serat optik tidak akan keluar dikarenakan indeks bias dari kaca lebih kecil daripada indeks bias dari udara. Terdapat dua sumber cahaya (light source) pada sistem komunikasi serat optik, yaitu LED (Light Emitting Diodes) dan LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai media transmisi komunikasi.

Arsitektur Jaringan dan Topologi FTTX

Jarlokaf setidaknya memiliki 2 buah perangkat opto electronic, yaitu suatu perangkat opto electronic di sisi sentral dan satu perangkat opto electronic di sisi pelanggan. Lokasi perangkat opto electronic 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 elektronik. FTTx (Fiber to the x) merupakan istilah untuk kumpulan berbagai topologi pengiriman serat optik yang dikategorikan menurut letak titik terminasi serat optik / titik konversi optik (TKO).



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan FTTx

10-Gigabit Capable Passive Optical Network (XG-PON)

10-Gigabit Capable Passive Optical Network (XG-PON) adalah sejenis teknologi akses yang dikategorikan sebagai broadband access berbasis fiber optik. XG-PON merupakan salah satu 13 teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T G.984. Kelebihannya adalah bandwidth yang ditawarkan bisa mencapai 10 Gbps (downstream) dan upstream 2.5 Gbps sampai pelanggan tanpa adanya kehilangan bandwidth. Satu perangkat akan diletakkan pada sentral, kemudian akan mendistribusikan trafik Triple Play (Suara atau VoIP, Multi Media atau Digital Pay TV dan Data atau Internet) hanya melalui media satu core kabel optik di sisi pelanggan atau subscriber.

Tabel 2. 1 Perbandingan PON, GPON, dan XGPON

Karakteristik	PON	GPON	XGPON
Standard	ITU-T G.983	ITU-T G.984	ITU-T G.987
Protocol	ATM	Ethernet, TDM	TDMA/TDM
Rates	DS: 622 Mbps US: 155 Mbps	DS: 2.488 Mbps US: 1.244 Mbps	DS: 10.000 Mbps US: 2.500 Mbps
Span	20 Km	20 Km	20 Km - 60 Km

PLB (*Power Link Budget*)

Power Link Budget (PLB) adalah estimasi kebutuhan daya yang diperhitungkan untuk memastikan level daya penerimaan lebih besar atau sama dengan level daya minimum (*threshold*). Perhitungan PLB mengikuti standar ITU-T G.948. PLB juga merupakan salah satu metode dimana total redaman yang diizinkan sepanjang link optik dari sentral sampai ke *end user*. Adapun rumus untuk menghitung LPB sebagai berikut:

$$\propto_{total} = (L \text{ x } \propto_{serat}) + (N_c \text{ x } \propto_c) + (N_s \propto_s) + SP \quad (2.1)$$

Keterangan:
$\propto_{total}$: Redaman daya total [dB]
L : Panjang *link* [km]
$\propto_{serat}$: Redaman serat optik
N_c : Jumlah konektor
$\propto_c$: Loss konektor [dB/buah]
N_s : Jumlah sambungan
$\propto_s$: Redaman sambungan [dB/sambungan]
SP : Redaman *splitter* [dB]

$$PRx = PTx - \propto_{total} - MS \quad (2.2)$$

Keterangan:
PRx : Daya terima detektor [dBm]
PTx : Daya optis yang dipancarkan dari sumber ujung serat [dBm]
$\propto_{total}$: Redaman daya total [dB]
MS : *Margin sistem* [6-8 dB]

$$M = (P_{tx} - P_{rx}) - \propto_{total} - MS \quad (2.3)$$

Keterangan:
M : *Margin Daya*
Ptx : Daya optis yang dipancarkan dari sumber ujung serat [dBm]
Prx : Daya terima detektor [dBm]
$\propto_{total}$: Redaman daya total [dB]
MS : *Margin sistem* [6-8 dB]

RTB (*Rise Time Budget*) [9]

Rise time budget (RTB) adalah metode untuk menentukan batasan dispersi suatu link sistem komunikasi serat optik yang membatasi kemampuan transmisi kecepatan bit. Bertujuan agar informasi yang dikirimkan dari transmitter dapat dibaca dan diterima dengan baik oleh *receiver*. Tujuan metode ini adalah untuk menganalisis apakah hasil perancangan memiliki kinerja yang baik Adapun persamaan untuk menghitung RTB sebagai berikut:

$$t_{material} = \Delta\sigma \text{ x } L \text{ x } Dm \qquad (2.4)$$

Sehingga RTB dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_{material}^2 + t_{intermodal}^2} \qquad (2.5)$$

Keterangan:

t_{tx}^2 : *Rise time* pengirim
t_{rx}^2 : *Rise time* penerima
$t_{intermodal}^2$: 0 (karena serat optik *single mode*)
$t_{material}^2$: $\Delta\sigma$ x L x Dm ; dengan
$\Delta\sigma$: Lebar spektral (nm)
L : Panjang serat optik (Km)
Dm : Dispersi material (ps/nm.Km)

Signal To Noise Ratio (SNR) [9]

SNR merupakan perbandingan daya sinyal terhadap daya noise pada suatu titik yang sama. Semakin besar nilai SNR sebuah sistem, nilai SNR dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{SNR} = \frac{Daya\ Sinyal}{\Sigma Noise} \qquad (2.6)$$

Sehingga:

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{(P_{in}RM)^2}{2qP_{in}RM^2F(M)Be + \frac{4K_BTBe}{R_L}}\right) \qquad (2.7)$$

Keterangan:

P_{in} : Daya yang diterima *receiver* (P_{rx} dalam bentuk Watt)
R : *Responsivity* (A/W)
M : *Avalanche photodiode gain*
q : Electron Change (1,69 x 10^{-9} C)
$F(M)$: *Noise figure*
Be : *Receiver electrical bandwidth* (Hz)
K_B : Konstanta Boltzman (1,38 x 10^{-23} J/K)
R_L : Resistansi (Ω)
T : Suhu APD (K)

Q-Factor

Q-Factor adalah *signal to noise ratio* (SNR) pada *decision circuit* dalam bentuk tegangan arus. *Q-Factor* juga sebagai penentu baik atau buruknya suatu sistem, dengan nilai minimum sebesar 6. *Q-Factor* dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$\text{Q} = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \qquad (2.8)$$

Keterangan:

Q : Faktor Kualitas
SNR : *Signal to noise ratio*

BER

BER merupakan rasio perbandingan *bit error* dengan jumlah keseluruhan bit yang dikirim, dengan nilai maksimum 10^{-9}. Dimana BER dapat dihitung dengan rumus berikut:

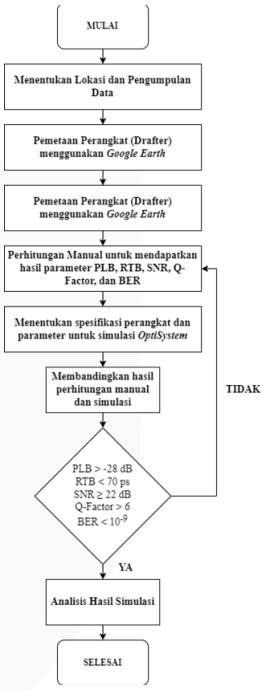
$$\text{BER} = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} exp^{-\frac{Q^2}{2}} \qquad (2.9)$$

Keterangan:

Q : *Q-Factor*
π : Konstanta *phi* (3,14)

III. METODE

Diagram Alir Perancangan X-GPON

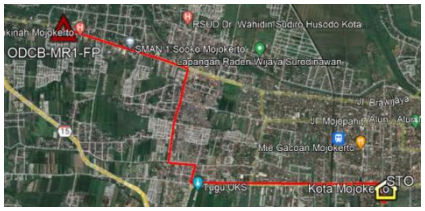


Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Secara Umum

Perancangan jaringan

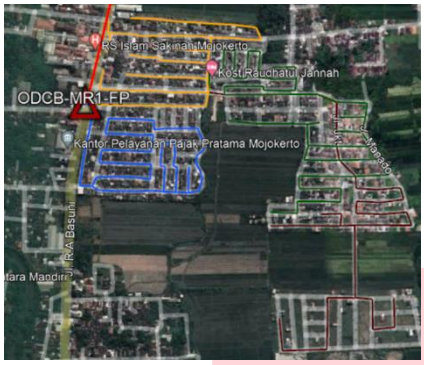
Menentukan Jalur Feeder dan Distribusi Kabel

Menggunakan kabel duct G.652 D dilakukan pengambilan kabel feeder dari central office STO Telkom Mojokerto. Kabel feeder tersebut ditarik menuju ODC yang berada di perumahan Griya Japan Raya Mojokerto.



Gambar 3. 2 Jalur Feeder OLT Telkom Mojokerto menuju ODC

Menentukan jalur kabel distribusi akan mencakup ODP yang sudah ditentukan secara keseluruhan. Pada perancangan ini terdapat 4 kabel distribusi, perancangan kabel distribusi ini dilakukan pada aplikasi google earth. Untuk kabel distribusi dibedakan menjadi 4 warna yaitu: biru, kuning, hijau dan coklat.



Gambar 3. 3 Jalur Kabel Distribusi dari ODC menuju ODP di perumahan

Kebutuhan Perangkat

Kebutuhan perangkat meliputi tata letak dan jarak yang telah diselidiki akan menentukan jumlah perangkat yang akan digunakan dalam perancangan FTTH X-GPON ini. Jumlah perangkat yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. 1 Kebutuhan Perangkat

No	Perangkat	Jumlah	Unit	Lokasi
1	OLT	1	Buah	Indor
2	ODF	1	Buah	Indoor
3	ONT	1.320	Buah	Indoor
4	ODC	1	Buah	Outdoor
5	ODP	165	Buah	Outdoor
6	PS 1:4	42	Buah	Outdoor
7	PS 1:8	165	Buah	Outdoor
8	*Connector*	18.480	Buah	Outdoor
9	*Feeder Cable*	6,54	km	Outdoor
10	*Distribution Cable*	9,865	km	Outdoor

Kebutuhan Bandwidth

Layanan yang diberikan kepada pelanggan adalah layanan triple play, dengan asumsi telepon (VoIP) sebesar 1 Mbps, internet (data) sebesar 15 Mbps, dan televisi (IPTV) sebesar 10 Mbps dan kelonggaran bandwidth sebesar 4 Mbps. Layanan tersebut menggunakan bandwidth dengan jumlah 30 Mbps untuk Downstream dan 7,5 Mbps untuk Upstream.

Tabel 3. 2 Jumlah Kebutuhan *Bandwidth*

Jumlah Pelanggan	*Maksimal Bandwidth Pelanggan*
1.320	*Downstream = 312 Mbps* *Upstream = 78 Mbps*

Perhitungan Parameter
Link Power Budget

PLB Downstream 1577 nm OLT-ONT terjauh

- Mengacu pada persamaan 2.1, Jarak OLT ke ONT terjauh 8,03 km:

$$\propto_{total} = (L \text{ x } \propto_{serat}) + (N_c \text{ x } \propto_c) + (N_s \propto_s) + SP$$
$$\propto_{total} = (8{,}03 \text{ x } 0{,}35) + (14 \text{ x } 0{,}25) + (5 \text{ x } 0{,}1) + \left(\left(\propto_{sp} 1{:}4\right) + \left(\propto_{sp} 1{:}8\right)\right)$$
$$\propto_{total} = (8{,}03 \text{ x } 0{,}35) + (14 \text{ x } 0{,}25) + (5 \text{ x } 0{,}1) + \left((7{,}25) + (10{,}38)\right)$$
$$\propto_{total} = 2{,}81 + 3{,}5 + 0{,}5 + 7{,}25 + 10{,}38$$
$$\propto_{total} = 24{,}44\ dB$$

Mengacu pada persamaan 2.2, Untuk perhitungan P_{rx} seperti di bawah ini:

$$P_{rx} = P_{tx} - \propto_{total} - MS$$
$$P_{rx} = 4 - 24{,}44 - 6$$
$$P_{rx} = -26{,}44\ dBm$$

Mengacu pada persamaan 2.3, Untuk perhitungan nilai Margin seperti di bawah ini:

$$M = (P_{tx} - Sensitivitas) - \propto_{total} - MS$$
$$M = \left(4 - (-28)\right) - 24{,}44 - 6$$
$$M = 1{,}56\ dB$$

Untuk nilai margin 1,56 dB memenuhi syarat dari minimal margin adalah 0 dB maka hasil dari perhitungan kali ini memenuhi.

PLB Upstream 1270 nm OLT-ONT terjauh

- Mengacu pada persamaan 2.1, Jarak OLT ke ONT terjauh 8,03 km:

$$\propto_{total} = (L \text{ x } \propto_{serat}) + (N_c \text{ x } \propto_c) + (N_s \propto_s) + SP$$
$$\propto_{total} = (8{,}03 \text{ x } 0{,}5) + (14 \text{ x } 0{,}25) + (5 \text{ x } 0{,}1) + \left(\left(\propto_{sp} 1{:}4\right) + \left(\propto_{sp} 1{:}8\right)\right)$$
$$\propto_{total} = (8{,}03 \text{ x } 0{,}5) + (14 \text{ x } 0{,}25) + (5 \text{ x } 0{,}1) + \left((7{,}25) + (10{,}38)\right)$$
$$\propto_{total} = 4{,}015 + 3{,}5 + 0{,}5 + 7{,}25 + 10{,}38$$
$$\propto_{total} = 25{,}645\ dB$$

Mengacu pada persamaan 2.2, Untuk perhitungan P_{rx} seperti di bawah ini:

$$P_{rx} = P_{tx} - \propto_{total} - MS$$
$$P_{rx} = 5 - 25{,}645 - 6$$
$$P_{rx} = -26{,}645\ dBm$$

Mengacu pada persamaan 2.3, Untuk perhitungan nilai Margin seperti di bawah ini:

$$M = (P_{tx} - Sensitivitas) - \propto_{total} - MS$$

$M = (5 - (-28)) - 25{,}645 - 6$
$M = 1{,}355\ dB$

Untuk nilai margin $1{,}355\ dB$ memenuhi syarat dari minimal margin adalah 0 dB maka hasil dari perhitungan kali ini memenuhi.

Rise Time Budget

RTB Downstream 1577 nm OLT-ONT terjauh (8,03 km)

Bit Rate Downlink (Br) = 10 Gbps sehingga:

Dengan format NRZ dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$tr = \frac{0{,}7}{Br} = \frac{0{,}7}{10 \text{ x } 10^9} = 0{,}07\ ns = 70\ ps$$

Mengacu pada persamaan 2.4, Menentukan $t_{material}$:

$t_{mat} = \sigma\lambda \text{ x } L \text{ x } D_{mat}$
$t_{mat} = 0{,}1 \text{ x } 8{,}03 \text{ x } 0{,}01675$
$t_{mat} = 0{,}01345025$ ns

$t_{intermodal}$ = 0, karena serat optik yang digunakan adalah *Single Mode.* Mengacu pada persamaan 2.5, Sehingga perhitungan t_{system} untuk *downstream* adalah:

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_{material}^2 + t_{intermodal}^2}$$
$$t_{sys} = \sqrt{0{,}035^2 + 0{,}035^2 + 0{,}01345025^2 + 0^2}$$
$t_{sys} = 0{,}051292\ ns$
$t_{sys} = 51{,}292\ ps$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan nilai t_{sys} sebesar $51{,}292\ ps$. Nilai ini berada di bawah waktu batasan untuk pengkodean NRZ yang bernilai $70\ ps$, berarti dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi *Rise Time Budget.*

RTB Upstream 1270 nm OLT-ONT terjauh (8,03 km)

Bit Rate Downlink (Br) = 2,5 Gbps sehingga:

Dengan format NRZ dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$tr = \frac{0{,}7}{Br} = \frac{0{,}7}{2{,}5 \text{ x } 10^9} = 0{,}28\ ns = 280\ ps$$

Mengacu pada persamaan 2.4, Menentukan $t_{intermodal}$:

$t_{mat} = \sigma\lambda \text{ x } L \text{ x } D_{mat}$
$t_{mat} = 0{,}1 \text{ x } 8{,}03 \text{ x } 0{,}01386$
$t_{mat} = 0{,}01112958\ ns$

$t_{intermodal}$ = 0, karena serat optik yang digunakan adalah *Single Mode.* Mengacu pada persamaan 2.5, Sehingga perhitungan t_{system} untuk *downstream* adalah:

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_{mat}^2 + t_{intermodal}^2}$$
$$t_{sys} = \sqrt{0{,}035^2 + 0{,}035^2 + 0{,}01112958^2 + 0^2}$$
$t_{sys} = 0{,}050733\ ns$
$t_{sys} = 50{,}733\ ps$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan nilai t_{sys} sebesar $50{,}733\ ps$. Nilai ini berada di atas waktu batasan untuk pengkodean NRZ yang bernilai $280\ ps$, berarti dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi *Rise Time Budget.*

Perhitungan SNR, Q-Factor, dan BER
Downstream 1577 nm Terjauh

Mengacu pada persamaan 2.7, Perhitungan SNR pada ONT terdekat (8,03 Km) sebagai berikut:

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{(P_{in}RM)^2}{2qP_{in}RM^2F(M)Be + \frac{4K_BTBe}{R_L}}\right)$$

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{(2{,}269 \text{ x } 10^{-6} \text{ x } 1 \text{ x } 10)^2}{2 \text{ x } 1{,}69\text{x}10^{-19} \text{ x } 2{,}269 \text{ x } 10^{-6} \text{ x } 1 \text{ x } 10^2 \text{ x } 10^{0{,}7} \text{ x } 2{,}5^9 + \frac{4\text{x}1{,}38\text{x}10^{-23} \text{ x } 298{,}15\text{x } 2{,}5^9}{50}}\right)$$

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{5{,}148\text{x}10^{-10}}{1{,}785\text{x}10^{-12}}\right)$$
SNR = 10 log (288,403)
SNR = 24,599 dB

Mengacu pada persamaan 2.8, Sehingga perhitungan Q-Factor pada ONT terdekat sebagai berikut:

$$\text{Q} = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2}$$
$$\text{Q} = \frac{10^{\frac{24{,}599}{20}}}{2}$$
Q = 8,49

Mengacu pada persamaan 2.9, Sehingga BER pada ONT terdekat adalah:

$$\text{BER} = \text{Pe(Q)} = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{Q^2}{2}}$$
$$\text{BER} = \text{Pe(Q)} = \frac{1}{8{,}49\sqrt{2\text{x}3{,}14}} \exp^{-\frac{8{,}49^2}{2}}$$
BER = $\mathbf{1{,}047 \text{ x } 10^{-17}}$

Upstream 1270 nm Terjauh

Mengacu pada persamaan 2.7, Perhitungan SNR pada ONT terdekat (8,03 Km) sebagai berikut:

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{(P_{in}RM)^2}{2qP_{in}RM^2F(M)Be + \frac{4K_BTBe}{R_L}}\right)$$

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{(2{,}165 \text{ x } 10^{-6} \text{ x } 1 \text{ x } 10)^2}{2 \text{ x } 1{,}69\text{x}10^{-19} \text{ x } 2{,}165 \text{ x } 10^{-6} \text{ x } 1 \text{ x } 10^2 \text{ x } 10^{0{,}7} \text{ x } 2{,}5^9 + \frac{4\text{x}1{,}38\text{x}10^{-23} \text{ x } 298{,}15\text{x } 2{,}5^9}{50}}\right)$$

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{4{,}687\text{x}10^{-10}}{1{,}741\text{x}10^{-12}}\right)$$
SNR = 10 log (269,213)
SNR = 24,3 dB

Mengacu pada persamaan 2.8, Sehingga perhitungan Q-Factor pada ONT terdekat sebagai berikut:

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

$$Q = \frac{10^{\frac{24,3}{20}}}{2}$$

$$Q = 8,202$$

Mengacu pada persamaan 2.9, Sehingga BER pada ONT terdekat adalah:

$$BER = Pe(Q) = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{Q^2}{2}}$$

$$BER = Pe(Q) = \frac{1}{8,202\sqrt{2x3,14}} \exp^{-\frac{8,202^2}{2}}$$

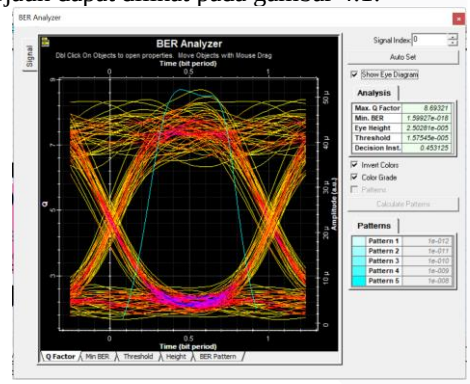
$$BER = \mathbf{1,199\ x\ 10^{-16}}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Sistem Menggunakan Optisystem

Analisis Downstream 1577 nm

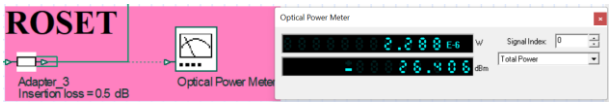
Berdasarkan hasil perancangan simulasi tersebut didapatkan nilai BER untuk link downstream ONT terjauh sebesar 1,599 x 10-18. Nilai tersebut mencukupi standar BER ideal untuk transmisi serat optik yaitu 10^(-9). Performansi data juga ditunjukan oleh bentuk diagram mata yang menunjukan perbedaan yang jelas antara informasi bit "1" dan bit "0". Oleh karena itu performansi sistem pada perancangan ini sangat baik. Diagram mata link downstream ONT terjauh dapat dilihat pada gambar 4.1:



Gambar 4. 1 Diagram mata *Link Downstream* terjauh

Pada perancangan simulasi ini didapatkan juga nilai *Q-Factor* adalah sebesar 8,693 untuk *link downstream* ONT terjauh. Dimana kualitas *Q-Factor* harus bernilai minimum 6. Sehingga kualitas suatu sistem dikatakan baik. Hasil nilai *Q-Factor* yang didapatkan dari perancangan ini dapat dikatakan sangat baik.

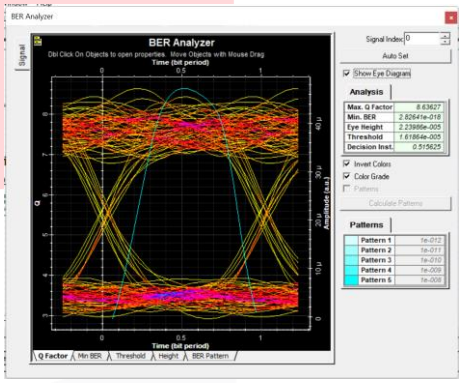
Berdasarkan perhitungan dari simulasi OptiSystem, nilai Link Power Budget untuk link downstream ONT terjauh $-26,406\ dBm$ untuk link downstream. Nilai tersebut masih memenuhi kelayakan dengan begitu perancangan jaringan FTTH ini layak dan baik. Perhitungan link power budget di simulasi OptiSystem dapat dilihat pada *optical power meter* digambar 4.2 di bawah ini:



Gambar 4. 2 PLB untuk *Link Downstream* ONT terjauh

Analisis *Upstream* 1270 nm

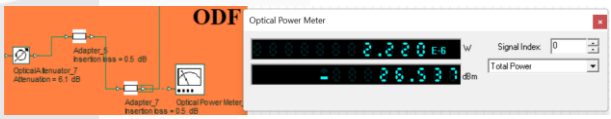
Berdasarkan hasil perancangan simulasi tersebut didapatkan nilai BER untuk *link upstream* ONT terjauh sebesar 2,826 x 10^{-18}. Nilai tersebut mencukupi standar BER ideal untuk transmisi serat optik yaitu 10^{-9}. Performansi data juga ditunjukan oleh bentuk diagram mata yang menunjukan perbedaan yang jelas antara informasi bit "1" dan bit "0". Oleh karena itu performansi sistem pada perancangan ini sangat baik. Diagram mata *link upstream* ONT terdekat dan *link upstream* ONT terjauh dapat dilihat pada gambar 4.3:



Gambar 4. 3 Diagram mata *Link Upstream* terjauh

Pada perancangan simulasi ini didapatkan juga nilai *Q-Factor* 8,636 untuk *link upstream* ONT. Nilai *Q-Factor* yang didapatkan dari perancangan ini dapat dikatakan sangat baik.

Berdasarkan perhitungan dari simulasi *OptiSystem*, nilai *link power budget* untuk link *upstream* ONT terjauh adalah sebesar $-26,537\ dBm$. Nilai tersebut masih memenuhi kelayakan dengan begitu perancangan jaringan FTTH ini layak dan baik. Perhitungan link power budget di simulasi OptiSystem dapat dilihat pada *optical power meter* digambar 4.4 di bawah ini:



Gambar 4. 4 PLB untuk *Link Upstream* ONT terjauh

4.2 Analisis Perhitungan dan Simulasi

Hasil dari semua perhitungan yang dilakukan perancangan dapat dikumpulkan di dalam tabel berikut ini:

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Manual

Parameter	*Downstream*		*Upstream*	
	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh
PRx	-25,931 dBm	-26,44 dBm	-25,918 dBm	-26,645 dBm
SNR	25,338	24,599	25,355	24,3

Q-Factor	9,244	8,49	9,262	8,202
BER	1,204x 10^{-20}	1,047x1 0^{-17}	1,014x 10^{-20}	1,199 x 10^{-16}
RTB	50,708 ps	51,292 ps	50,329 ps	50,73 3 ps

Dari tabel 4.2 dapat kita ketahui bahwa semua rekapitulasi data yang telah dikumpulkan dari hasil perhitungan manual, dapat dilihat untuk hasil Prx, SNR, Q-Factor, BER, dan RTB dari 4 skenario yang telah digunakan yaitu: *Downstream* untuk jarak terdekat (6,577 Km), *Downstream* untuk jarak terjauh (8,03 Km), *upstream* untuk jarak terdekat (6,577 Km), *upstream* untuk jarak terjauh (8,03 Km).

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan simulasi

Parameter	***Downstream***		***Upstream***	
	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh	Jarak Terdekat	Jarak Terjauh
PRx	-25,902 dBm	-26,406 dBm	-25,950 dBm	-26,537 dBm
SNR	25,38	24,65	25,31	24,46
Q-Factor	9,392	8,693	9,451	8,636
BER	2,663 x 10	1,559x10^{-18}	1,62 x 10^{-}	2,826 x 10^{-}
RTB	-	-	-	-

Dari tabel 4.3 dapat kita ketahui bahwa semua rekapitulasi data yang telah dikumpulkan dari hasil perhitungan menggunakan simulasi optik yaitu *OptiSystem*, dapat dilihat untuk hasil Prx, SNR, Q-Factor, dan BER, dari 4 skenario yang telah digunakan yaitu: *Downstream* untuk jarak terdekat (6,577 Km), *Downstream* untuk jarak terjauh (8,03 Km), *upstream* untuk jarak terdekat (6,577 Km), *upstream* untuk jarak terjauh (8,03 Km).

Dari hasil semua perhitungan di atas terdapat sedikit selisih perbedaan antara perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan simulasi optik, penyebabnya adalah semua parameter input yang dimasukkan sama antara perhitungan manual dan perhitungan simulasi di *OptiSystem* dan pada simulasi optik tidak dapat menghitung *rise time budget* (RTB).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan seperti berikut:

1. Berdasarkan perhitungan kelayakan sistem *downstream* skenario ONT terdekat untuk *Power Link Budget* didapatkan nilai P_{rx} sebesar -25,931 dBm dan nilai P_{rx} yang didapat dari simulasi *OptiSystem* sebesar -25,902 dBm, untuk ONT terjauh untuk *Power Link Budget* didapatkan nilai P_{rx} sebesar -26,44 dBm dan nilai P_{rx} yang didapat dari simulasi *OptiSystem* sebesar -26,406 dBm. Sedangkan perhitungan kelayakan sistem *upstream* skenario ONT terdekat untuk *Power Link Budget* didapatkan nilai P_{rx} sebesar -25,918 dBm dan nilai P_{rx} yang didapat dari simulasi *OptiSystem* sebesar -25,950 dBm, untuk ONT terjauh *Power Link Budget* didapatkan nilai untuk P_{rx} -26,645 dBm dan nilai P_{rx} yang didapat dari simulasi *OptiSystem* sebesar -26,537 dBm. Hasil perhitungan yang didapatkan masih berada di atas standar yang ditentukan oleh ITU-T dan PT. Telkom yaitu -28 dBm.
2. Berdasarkan perhitungan kelayakan sistem untuk *Rise Time Budget*, jenis pengkodean NRZ yang digunakan dalam perancangan ini. Pengkodean NRZ memiliki batas 70% dari kecepatan data yaitu 70 ps untuk *downstream* dan *upstream*. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai t_{sys} 51,292 ps untuk *downstream* terjauh dan 50,733 ps *upstream* terjauh. Nilai t_{sys} *downstream* dan *upstream* tidak melebihi 70% dari satu periode bit NRZ (*non return to zero*). Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi *rise time budget* sinyal NRZ dan perancangan ini layak diimplementasikan.
3. Berdasarkan hasil simulasi perancangan jaringan pada perangkat lunak *OptiSystem* dengan melihat nilai BER, kualitas transmisi jaringan dikatakan baik. Nilai BER yang didapat pada simulasi sebesar 2,633 x 10-21 untuk skenario *downstream* ONT terjauh dan 2,826 x 10-18 untuk skenario *upstream* ONT terjauh. Nilai ideal untuk BER (*bit error rate*) pada transmisi serat optik adalah lebih kecil atau sama dengan 10^{-9}.
4. Berdasarkan hasil simulasi perancangan jaringan pada perangkat lunak *OptiSystem* dengan melihat nilai *Q-Factor*, kualitas transmisi jaringan dikatakan baik. Nilai *Q-Factor* yang didapatkan pada simulasi adalah 8,693 untuk *downstream* ONT terjauh dan 8,636 untuk *upstream* ONT terjauh. Nilai ideal untuk *Q-Factor* pada transmisi serat optik adalah lebih dari atau sama dengan 6.
5. Dengan pertimbangan sesuai dengan tabel *Bill of Quantity* maka biaya yang diperlukan untuk melakukan perancangan ini adalah RP1.328.440.000,00 terbilang Satu Miliar Tiga Ratus Dua Puluh Delapan Juta Empat Ratus Empat Puluh Ribu Rupiah.

Saran

Saran yang dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengukur performansi jaringan FTTH dengan perbandingan XG-PON dan NG-PON.
2. Dapat mengukur performansi jaringan yang berada di lapangan secara langsung agar perancangan dapat diimplementasikan sesuai perhitungan dan simulasi.
3. Untuk Dapat melakukan uji performansi dengan menjelaskan teknik modulasi dan multiplexing.

REFERENSI

[[1] M. I. Mutaharrik, "PERANCANGAN JARINGAN FIBER TO THE HOME (FTTH) MENGGUNAKAN TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICALNETWORK (GPON) DI CENTRAL KARAWACI," pp. 1-8, 2016.

[2] B. Batagelj, V. Erzen, J. Tratnik, L. Naglic, V. Bagan, Y. Ignatov, and M. Antonenko, “Optical access network migration from gpon to xg-pon,” in Proc. Of The Third International Conference on Access Networks ACCESS. Citeseer, 2012, pp. 62–67.

[3] ITU-T Recommendation G.984.2 (2003) , Gigabit – Capable Passive Optical Network (G-PON) : Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification.

[4] R. Pratomo, "Analisis Perancangan Jaringan Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEPON) di Perumahan Graha Natuna Surabaya," 2013.

[5] CommScope Inc., "GPON-EPON Comparison," 2013.

[6] Hantoro, Gunadi Dwi. 2015. Fiber optic : teknologi, material, instalasi, dan implementasi fiber untuk berbagai kebutuhan : fiber to the building, fiber to the zone, fiber to the curb, fiber to the home, fiber to the tower. Bandung : Informatika

[7] Kumar, “Improved Performance Analysis of Gigabit Passive Optical Networks,” Optik, vol. 125, p. 1837– 1840, 2014.

[8] Yulizar, Nur Rizki. Analisis Perancangan Teknologi Hybrid GPON Dan XGPON Pada Jaringan (FTTH) Di Perumahan Batununggal [Jurnal]. Universitas Telkom. 2015

[9] Keiser, G. 2000. “Optical Fiber Communication, 3rd ed”. Singapore: McGraw-Hill.

[10] ITU-T. (2003). ITU-T Recommendation G.984.2 Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. Itu-T G-Series Recommendations, 1–38

[11] ITU-T. (2016). 10 Gigabit Capable Passive Optical Networks (XGPON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification. ITU-T Recommendations.