

PERANCANGAN JARINGAN *FIBER TO THE HOME* (FTTH) MENGGUNAKAN *GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK* (GPON) UNTUK PERUMAHAN JINGGA BANDUNG

DESIGN OF *FIBER TO THE HOME* (FTTH) NETWORK USING *GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK* (GPON) FOR JINGGA RESIDENCE BANDUNG

Ivan Demak Lamsihar^[1], Sugito, Ir., S.Si., MT.^[2], R. Bambang Cahyo Widodo, Ir., MT.^[3]

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹demaklamsihar@gmail.com, ²sugito@telkomuniversity.ac.id, ³bambang.c4hy0@gmail.com

Abstrak

Perumahan Jingga yang terletak di Bandung Selatan merupakan perumahan menengah ke atas, namun jaringan akses yang digunakan masih menggunakan kabel tembaga dari MSAN sampai pengguna, hal ini dinilai kurang memadai dalam layanan *triple play*, untuk mendukung layanan *triple play* PT Telkom menargetkan seluruh jaringan kabel tembaga sudah tergantikan oleh jaringan kabel optic terutama jaringan FTTH (*Fiber To The Home*) melalui proyek TITO (Trade in Trade off).

Pada tugas akhir ini peneliti akan merancang jaringan akses *Fiber To The Home* (FTTH) pada Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON). Lokasi yang dijadikan studi kasus adalah Perumahan Jingga. Pada tugas akhir ini dimulai dengan pengumpulan data-data. Perancangan jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) yaitu dengan penentuan perangkat berupa spesifikasi perangkat, tata letak dan jumlah perangkat yang digunakan dan disimulasikan menggunakan optisistem. Kemudian dianalisis berdasarkan parameter yang telah ditetapkan berupa SNR (*Signal to Noise Ratio*), BER (*Bit Error Rate*), *Link Power Budget* dan *Rise Time Budget* yang memenuhi pada jaringan optik dengan standar PT. Telkom.

Hasil analisa untuk jarak ONT terjauh, nilai *downlink* masing-masing parameter menghasilkan nilai $P_r = -23.8683$ dBm, *rise time* total sebesar 0.2514 ns dengan menggunakan pengkodean NRZ, SNR sebesar 32.91 dB dengan BER 4.0943×10^{-110} , sedangkan pada *uplink* masing-masing parameter menghasilkan nilai P_r sebesar -23.9913 dBm, *rise time* total sebesar 0.25 ns dengan menggunakan pengkodean NRZ atau RZ, SNR pada 36.79 dB dengan BER 9.4477×10^{-264} . Hasil ini menunjukkan *link* memenuhi kelayakan standard ITU-T yaitu pada batas P_r sebesar [-28 ; -8] dBm, SNR dengan batas minimal PT. Telkom yaitu 21.5 dB, dan nilai BER yang juga memenuhi standard BER untuk *link* optik maksimal 10^{-6} [3]. Kelayakan juga ditunjukkan pada hasil simulasi *downlink* dengan P_r sebesar -21,291 dan BER $2,0476 \times 10^{-263}$, serta pada *uplink*, dengan P_r sebesar -21,512 dan BER 0.

Kata kunci : *Fiber To The Home* (FTTH), *Gigabit Passive Optical Network* (GPON), *Optisistem*

Abstract

Jingga Residence which located in South Bandung is a upper class residential, but the network access still using copper cables from the MSAN to the user, it is considered inadequate for triple play service, to support triple play services PT Telkom is targeting the entire network of copper wires already replaced by optic cable networks, especially FTTH (*Fiber To The Home*) networks through project TITO (Trade in Trade off).

In this final project researchers will design the access network *Fiber To The Home* (FTTH) using *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) technology. The location used as a case study is the Jingga Residence. This thesis begins with the collection of datas. *Fiber To The Home* (FTTH) network design is to determine the form of the device specifications, layout and number of devices used and simulated using optisistem Then analyzed based on predefined parameters such as SNR (*Signal to Noise Ratio*), BER (*Bit Error Rate*), *Link Power Budget* and *Rise Time Budget* that meets the standards of optical network with PT. Telkom.

The results of analysis for ONT farthest distance, *downlink* value of each parameter generating value $P_r = -22.23752$ dBm, the total *rise time* amounted to 0.152 ns using NRZ coding, SNR of 32.91 dB with BER 4.0943×10^{-110} , whereas in *uplink* masing each parameter generating value P_r of -23.9913 dBm, the total *rise time* of 0.25 ns using NRZ or RZ coding, SNR of 36.79 dB with BER 9.4477×10^{-264} . These results demonstrate the feasibility of a link meets the ITU-T standard that is at the limit of P_r [-28; -8] dBm, SNR with minimum limit PT. Telkom is 21.5 dB, and the value BER also meet standards for optical links maximum BER 10^{-6} [3]. Feasibility is also shown on the *downlink* simulation results with P_r of -21.291 and BER 2.0476×10^{-263} , as well as on the *uplink*, with P_r of -21.512 and BER 0

Keywords: *Fiber To The Home* (FTTH), *Gigabit Passive Optical Network* (GPON), *Optisistem*

1. PENDAHULUAN

Perumahan Jingga yang terletak di Bandung Selatan merupakan perumahan mewah dan modern. Jaringan akses yang digunakan masih menggunakan kabel tembaga dari MSAN sampai pengguna, hal ini dinilai kurang memadai dalam layanan *triple play*. Pada tahun 2015 PT Telkom menargetkan seluruh jaringan kabel tembaga sudah tergantikan oleh jaringan kabel optik terutama jaringan FTTH (*Fiber To The Home*). FTTH (*Fiber To The Home*) merupakan salah satu infrastruktur jaringan yang akan dikembangkan di seluruh wilayah Indonesia. jaringan FTTH FTTH (*Fiber To The Home*) ini akan diintegrasikan dengan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON).

Pada tugas akhir ini peneliti akan merancang jaringan akses *Fiber To The Home* (FTTH) pada Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON). Lokasi yang dijadikan studi kasus adalah Perumahan Jingga yang terletak di Bandung Selatan merupakan perumahan mewah dan modern. Pada tugas akhir ini dimulai dengan pengumpulan data-data. Perancangan jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) yaitu dengan penentuan perangkat berupa spesifikasi perangkat, tata letak dan jumlah perangkat yang digunakan dan disimulasikan menggunakan *optisystem*. Kemudian dianalisis berdasarkan parameter yang telah ditetapkan berupa SNR (*Signal to Noise Ratio*), BER (*Bit Error Rate*), *Link Power Budget* dan *Rise Time Budget* yang memenuhi pada jaringan optik dengan standar Telkom.

Nilai BER (*Bit Error Rate*) kurang dari 10^{-9} , SNR (*Signal to noise ratio*) lebih besar dari 21,5 dB, LPB (*Link Power Budget*) lebih besar dari 28 dBm dan RTB (*Rise Time Budget*) dan penerimaan daya yang baik diharapkan dapat tercapai dari hasil perancangan yang dibuat.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Serat Optik

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

2.2 Fiber to the Home (FTTH)

Berikut komponen dari FTTH utama:

1. Network Management System (NMS)^[9]

NMS merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk mengontrol dan mengkonfigurasi perangkat GPON. Letak NMS ini bersamaan di dekat OLT namun beda ruangan. Konfigurasi yang dapat dilakukan oleh NMS adalah OLT dan ONT.

2. Optical Line Terminal (OLT)^[9]

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

3. Optical Distribution Frame (ODF)^[7]

Yang dimaksud dengan ODF adalah suatu frame dengan struktur mekanik berupa rack atau shelf atau struktur lain yang mempunyai fungsi utama sebagai tempat pegangan kabel (fiber) dan elemen passive lainnya (support mekanik), dilengkapi fiber organizer serta mampu melindungi elemen-elemen di dalamnya

4. Optical Distribution Cabinet (ODC)/ Rumah Kabel dan Optical Distribution Point (ODP)^[9]

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

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

ONU menyediakan *interface* antara jaringan optik dengan pelanggan.

2.3 Parameter Kelayakan Perancangan^[5]

2.3.1 Link Power Budget

Link power budget dihitung sebagai syarat agar *link* yang kita rancang dayanya melebihi batas ambang dari daya yang dibutuhkan. Untuk menghitung *link power budget* dapat dihitung dengan rumus:^[4]

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

Bentuk persamaan untuk perhitungan margin daya adalah :

$$M = (P_t - P_r) - \alpha_{\text{tot}} - SM \quad (2)$$

Keterangan :

P_t = Daya keluaran sumber optik (dBm)

P_r = Sensitivitas daya maksimum detektor (dBm)

SM = Safety margin, berkisar 6-8 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
Sp	= Redaman <i>Splitter</i> (dB)

2.3.2 Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. Umumnya degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 persen dari satu periode bit NRZ (*Non-return-to-zero*) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (*return-to-zero*). Untuk menghitung *Rise Time budget* dapat dihitung dengan rumus:^[4]

$$t_{total} = (t_{tx}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{intramodal}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \quad (3)$$

Keterangan :

t_{tx}	= Rise time transmitter (ns)
t_{rx}	= Rise time receiver (ns)
$t_{intermodal}$	= bernilainol (untukseratoptik single mode)
$t_{intramodal}$	= $t_{material} + t_{waveguide}$
$t_{material}$	= $\Delta\sigma \times L \times Dm$
$t_{waveguide}$	= $\frac{L}{c} [n_2 + n_2 \Delta d(\frac{2\pi}{\lambda})]$ ^[6]

$$\Delta_s = \frac{(n_1 - n_2)}{2}$$

$$v = \frac{(2\pi \times a)}{\lambda} (2\Delta_s)^{1/2}$$
^[6]

$$u_c = 2v^{1/2}$$
^[6]

$$d(\frac{2\pi}{\lambda}) = 1 + (\frac{u_c}{2})^2$$
^[6]

$\Delta\sigma$ = LebarSpektral (nm)

L = Panjangseratoptik (Km)

Dm = Dispersi Material (ps/nm.Km)

n_1 = indeks bias inti

n_2 = Indeks bias selubung

a = Jari-jariinti

c = kecepatanrambatcahaya 3×10^8

2.4 Parameter Performansi Sistem^[5]

2.4.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal terhadap daya noise pada satu titik yang sama.^[4]

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \quad (4)$$

1. Daya Sinyal(Signal power)

Daya sinyal merupakan kuat daya—sinyal yang diterima pada *receiver*. Besar daya sinyal di penerima ditunjukkan dengan persamaan berikut.^[4]

$$Signal Power = 2(Pr \left(\frac{h\nu}{q}\right))^2 \quad (5)$$

Keterangan:

Pr = Daya Sinyal yang diterima detector (W)

$(h\nu)/q$ = R = Responsivitas (A/W)

η = efisiensi quantum (%)

h = konstanta plank = 6.625×10^{-34} J.s

$h\nu$ = energi photon (kWh)

q = muatan electron (C) = $1,6 \times 10^{-19}$ J/ eV

2. Derau (noise)

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

3. Arus gelap (dark current)^[4]

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

$$\text{Noise dark current (A)} = 2 q i_D B \quad (6)$$

Keterangan :

q = muatan elektron (C) = $1,6 \times 10^{-19}$ J/ eV

i_D = arus gelap (A)

B = bandwidth detektor cahaya (Hz)

4. Derau termal (*Thermal Noise*)^[4]

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

$$\text{Thermal Noise (A)} = \frac{4 k T_{\text{eff}}}{R_1} B \quad (7)$$

Keterangan :

k = konstanta Boltzman (J/K) = $1,38 \times 10^{-23}$ J/ OK

B = *bandwidth* detektor cahaya (Hz)

T_{eff} = *effective noise* temperatur (oK)

R_1 = *equivalent resistance* (Ω)

5. Derau tembakan/tumbukan (*Shot Noise*)^[4]

Derau tembakan terjadi karena adanya ketidaklinearan pada sistem.

$$\text{Shot Noise} = 2q \left(2 \frac{P_r}{h\nu} \right) B M^2 F(M) \quad (8)$$

Keterangan :

P_r = Daya sinyal yang diterima di detektor (W) (ηq)/(h ν)

R = Responsivitas (A/W)

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

$F(M)$ = *noise figure*, menunjukkan kebaikan penguat dalam memproses sinyal. Pada sistem komunikasi serat optik

$F(M) = Mx$ dimana x adalah exces faktor dari gain ($0 < X < 1$)

2.4.2 Bit Error Rate (BER)^[1]

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

$$(S/N) = 20 \log 2Q \quad (9)$$

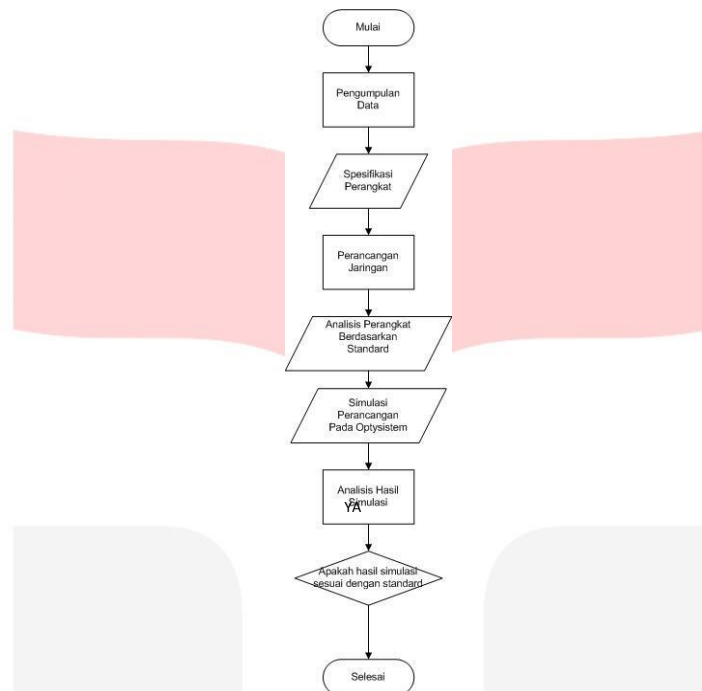
Sehingga diperoleh nilai pendekatan:

$$\text{BER} = P_e(Q) = \frac{1}{2} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (10)$$

Dimana, Q = Quantum noise dan P_e = Probability Error

3. PERANCANGAN

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



Gambar 1 Diagram Alir Perancangan

4. ANALISIS DAN SIMULASI

4.1 Analisa Perhitungan

4.1.1 Link Power Budget

Perhitungan akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu *downlink* dan *uplink*, serta akan dihitung berdasarkan jarak dari STO ke ONT terjauh yaitu 1.982 Km (1.025 Km STO ke ODC, 0.882 Km ODC ke ODP, 0.075 Km ODP ke ONT) dengan jalur dari STO Cijaura ke ODC lalu ke ODP 01 sampai pada ONT.

Downlink 1490 nm

$$\alpha_{\text{tot}} = (0.573 \times 0.24) + (1 \times 0.2) + (1 \times 0.1) + (11 + 7.8)$$

$$\alpha_{\text{tot}} = 19.2375 \text{ dB}$$

Daya terima:

$$Pr = Pt - \alpha_{\text{tot}} - 6$$

$$Pr = 3 - 19.2375 - 6$$

$$Pr = -22.2375 \text{ dBm}$$

Margin daya:

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

$$M = (3 + 28) - 19.2375 - 6$$

$$M = 5.7624 \text{ dBm}$$

Uplink 1310 nm

$$\alpha_{\text{tot}} = (0.573 \times 0.35) + (1 \times 0.2) + (1 \times 0.1) + (11 + 7.8)$$

$$\alpha_{\text{tot}} = 19.3005 \text{ dB}$$

Daya terima:

$$Pr = Pt - \alpha_{\text{tot}} - 6$$

$$Pr = 3 - 19.3005 - 6$$

$$Pr = -22.3005 \text{ dBm}$$

Margin daya:

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

$$M = (3 + 28) - 19.3005 - 6$$

$$M = 5.6994 \text{ dBm}$$

Hal ini menunjukkan *link* memenuhi kelayakan LPBPT. Telkom yaitu α_{tot} maksimum 25 dB dan maksimum ITU-T yaitu 28 dB dengan P_{rx} yang masih berada pada batas sensitivitas penerima yaitu $[-28 ; -8]$ dBm, dan margin daya lebih dari nol.

4.1.2 Rise Time Budget

Downlink 1490 nm

Bit Rate downlink (Br) = 2.4 Gbps sehingga :

$$\text{dengan format NRZ, } tr = \frac{0.7}{Br} = \frac{0.7}{2.4 \times 10^9} = 0.2917 \text{ ns}$$

$$\text{dengan format RZ, } tr = \frac{0.35}{Br} = \frac{0.35}{2.4 \times 10^9} = 0.1458 \text{ ns}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{material}} &= \Delta\sigma \times L \times Dm \\ &= 1 \text{ nm} \times 0.573 \text{ Km} \times 0.01364 \text{ ns/nm.Km} \\ &= 7.815 \times 10^{-3} \text{ ns} \end{aligned}$$

Sehingga besar untuk serat optik singlemode adalah:

$$\begin{aligned} t_{\text{total}} &= (t_{tx}^2 + t_{\text{intermodal}}^2 + t_{\text{intramodal}}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \\ &= [(7.815 \times 10^{-3})^2 + (0.027)^2 + (9.7072 \times 10^{-9})^2 + (0)^2 + (0.15)^2]^{1/2} \\ &= 0.152 \text{ ns} \end{aligned}$$

Setelah melakukan hasil perhitungan, didapat *rise time* total untuk *downlink* sebesar 0.2514 ns masih di bawah maksimum *rise time* dari *bit rate* sinyal NRZ sebesar 0.2917 ns, tetapi diatas *bit rate* sinyal RZ sebesar 0.1458 ns. Dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi hanya memenuhi *rise time budgets* sinyal NRZ

Uplink 1310 nm

Bit Rate uplink (Br) = 1.2 Gbps sehingga :

$$\text{dengan format NRZ, } tr = \frac{0.7}{Br} = \frac{0.7}{1.2 \times 10^9} = 0.5833 \text{ ns}$$

$$\text{dengan format RZ, } tr = \frac{0.35}{Br} = \frac{0.35}{1.2 \times 10^9} = 0.2917 \text{ ns}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{material}} &= \Delta\sigma \times L \times Dm \\ &= 1 \text{ nm} \times 0.573 \text{ Km} \times 0.00356 \text{ ns/nm.Km} \\ &= 2.039 \times 10^{-3} \text{ ns} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya untuk serat optik singlemode:

$$\begin{aligned} t_{\text{total}} &= (t_{tx}^2 + t_{\text{material}}^2 + t_{\text{modus}}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \\ &= [(0.15)^2 + (2.039 \times 10^{-3})^2 + (9.7039 \times 10^{-9})^2 + 0 + (0.2)^2]^{1/2} \\ &= 0.2500 \text{ ns} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *rise time* total untuk *uplink* sebesar 0.25 ns masih dibawah maksimum *rise time* dari *bit rate* sinyal NRZ sebesar 0.5833 ns dan sinyal RZ sebesar 0.2917 ns. Dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi *rise time budgets* sinyal NRZ dan RZ.

4.1.3 Analisis Performansi SNR dan BER

Downlink 1490 nm

$\alpha_{tot} = 19.5756 \text{ dB}$ (perhitungan pada link power budget)

Sehingga di dapat Prataudaya sinyal yang diterima, yaitu :

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - \alpha \\ &= 3 \text{ dBm} - 19.2375 \text{ dB} \\ &= -16.2375 \text{ dBm} \\ &= 0.462375 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Perhitungan arus foto primer dibangkitkan (i_p)

$$\begin{aligned} i_p &= R \times P_r \\ &= 0.85 \text{ A/W} \times 0.462375 \text{ Watt} \\ &= 0.39301 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan Signal

$$\begin{aligned} \text{Signal} &= (i_p^2) \cdot M^2 \\ &= (0.39301 \text{ A})^2 \cdot 1^2 \\ &= 0.154 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan noise dapat dilihat di

$$\begin{aligned} \text{Noise} &= 2q(i_D + i_p) B M^2 F(M) + \frac{4 \phi_{\text{shot}}}{\phi_{\text{shot}}} \\ &= 2 \left(\frac{1.625 \times 10^{-19}}{1.38 \times 10^{-23}} \right) (100 \times 10^{-9} + 1.7526 \times 10^{-5}) (2.4 \times 10^9) 1^2 \\ &\quad + \frac{4(1.38 \times 10^{-23})(300)(2.4 \times 10^9)}{499} \\ &= 9.008 \times 10^{-14} \end{aligned}$$

Maka perhitungan SNR :

$$\begin{aligned} \frac{P}{N} &= \frac{1.7526 \times 10^{-10}}{9.008 \times 10^{-14}} \\ &= 1958.098 \\ &= 32.91 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Q sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= 20 \log 2Q \\ 32.91 &= 20 \log 2Q \\ \log 2Q &= 1.6459 \\ Q &= 22.1252 \end{aligned}$$

Maka untuk perhitungan pendekatan BER:

$$\begin{aligned} \text{BER} &= P(Q) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right) \\ &= P(Q) = \frac{1}{22.1252 \times 2\pi} \exp\left(-\frac{22.1252^2}{2}\right) \\ &= P(Q) = 4.0943 \times 10^{-110} \end{aligned}$$

Uplink 1310 nm
Sehingga di dapat rata-rata daya sinyal yang diterima, yaitu

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - \alpha \\ &= 1.5 \text{ dBm} - 19.7937 \text{ dB} \\ &= -18.2937 \text{ dBm} \\ &= 1.4812 \times 10^{-5} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Perhitungan arus foto primer dibangkitkan (ip)

$$\begin{aligned} i_p &= R \times P_r \\ &= 0.85 \times 1.4812 \times 10^{-5} \text{ Watt} \\ &= 1.4769 \times 10^{-5} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan Signal

$$\begin{aligned} \text{Signal} &= (i_p^2) \cdot M^2 \\ &= (2.3154 \times 10^{-5})^2 \cdot 1^2 \\ &= 2.1812 \times 10^{-10} \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan noise dapat dilihat di

$$\begin{aligned} \text{Noise} &= 2q(i_D + i_p) B M^2 F(M) + \frac{4kT}{\lambda} \\ &= 2 (1.625 \times 10^{-19}) (100 \times 10^{-9} + 1.4769 \times 10^{-5}) (1.2 \times 10^9) 1^2 \\ &\quad + \frac{4(1.38 \times 10^{-23})(300)(1.2 \times 10^9)}{499} \\ &= 4.5623 \times 10^{-14} \end{aligned}$$

Maka perhitungan SNR:

$$\begin{aligned} \frac{P}{N} &= \frac{2.1812 \times 10^{-10}}{4.5623 \times 10^{-14}} \\ &= 4781.0521 \\ &= 36.79 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Q sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \log 2Q &= 1.8198 \\ Q &= 34.57 \end{aligned}$$

Maka untuk perhitungan pendekatan BER:

$$\begin{aligned} \text{BER} &= P(Q) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right) \\ &= P(Q) = \frac{1}{34.57 \times 2\pi} \exp\left(-\frac{34.57^2}{2}\right) \\ &= P(Q) = 9.4477 \times 10^{-264} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai SNR pada downlink yaitu sebesar 32.91 dB dengan BER 4.0943×10^{-110} , sedangkan pada uplink, nilai SNR sebesar 36.79 dB dengan BER 9.4477×10^{-264} . Semakin tinggi SNR, maka semakin baik kualitas performansi jaringan. PT. Telkom memiliki standar sistem SNR minimal untuk komunikasi serat optik sebesar 21.5 dB atau BER maksimal untuk link optik $10^{-6[3]}$, sehingga dapat dikatakan bahwa performansi perancangan ini sangat baik.

4.2 Analisis Simulasi

Dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak, didapatkan nilai daya *transmit* dan nilai BER. Berikut perbandingan nilai hasil perhitungan dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak:

Tabel 1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan

Parameter	Perhitungan		Simulasi	
	Pr	BER	Pr	BER
1490 nm				
Jarak ONT Terjauh	-22.23752	4.0943×10^{-110}	-19,454	0
1310 nm				
Jarak ONT Terjauh	-22.30055	9.4477×10^{-264}	-19,518	0

Hasil perbandingan menunjukkan nilai BER dan Pr yang berbeda, namun masih berada pada batas minimal kelayakan perancangan jaringan baik BER maupun Pr pada simulasi. Hal ini menunjukkan simulasi yang menggunakan perangkat lunak bekerja dengan baik dengan nilai performansi jaringan yang masih berada pada batas poermofmansi jaringan yang baik, dengan batas Pr pada [-28 ; -8] dBm dan batas maksimal BER standard *link* optik sebesar 10^{-6} atau 10^{-9} untuk PT.Telkom.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, analisis, dan proses perhitungan yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Dari perhitungan LPB, pada *downlink* dihasilkan nilai $\alpha_{tot} = 19.23752$ dB, Pr= -22.23752 dBm, dan margin daya sebesar 5.76248 dBm untuk jarak ONT terjauh. Sedangkan pada *uplink* dihasilkan nilai $\alpha_{tot} = 19.30055$ dB, Pr= -22.30055 dBm, dan margin daya sebesar 5.69945 dBm untuk jarak ONT terjauh. Untuk simulasi dihasilkan nilai Pr *downlink* untuk jarak ONT terjauh sebesar -19,454 dBm, sedangkan nilai Pr *uplink* pada -19,518 dBm untuk jarak ONT terjauh. Hal ini menunjukkan *link* memenuhi kelayakan LPB PT. Telkom yaitu α_{tot} maksimum 25 dB dan maksimum ITU-T G984.2 yaitu 28 dB dengan Prx yang masih berada pada batas sensitivitas penerima yaitu [-28 ; -8] dBm, dan margin daya lebih dari nol.
2. Dari perhitungan RTB, pada *downlink* didapat *rise time* total sebesar 0.152 ns untuk jarak terjauh dan yang masih di bawah maksimum *rise time* dari bit rate sinyal NRZ sebesar 0.2917 ns, tetapi diatas bit rate sinyal RZ se sebesar besar 0.1458 ns , dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi hanya memenuhi *rise time* budget sinyal NRZ. Pada *uplink* didapat nilai RTB total sebesar 0.25 ns untuk jarak ONT terjauh, hal ini menunjukkan *link* memenuhi kelayakan RTB dengan maksimum *rise time* dari bit rate sinyal NRZ sebesar 0.5833 ns dan sinyal RZ sebesar 0.2917 ns, dapat disimpulkan bahwa sistem memenuhi *rise time* budget sinyal NRZ dan RZ.
3. Dari perhitungan SNR, pada *downlink* didapat nilai SNR sebesar 32.91 dB dengan BER 4.0943×10^{-110} untuk jarak terjauh. Sedangkan pada *uplink*, nilai SNR sebesar 36.79 dB dengan BER 9.4477×10^{-264} untuk jarak terjauh. Semakin tinggi SNR, maka semakin baik kualitas performansi jaringan. PT. Telkom memiliki standar sistem SNR minimal untuk komunikasi serat optik sebesar 21.5 dB atau BER maksimal untuk *link* optik $10^{-6[3]}$, sehingga dapat dikatakan bahwa performansi perancangan ini sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fikri, Haikal. 2014. *“Analisa Performansi Teknologi CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) pada Jaringan ODC (Optical Distribution Cabinet) STO-Cijaura Menggunakan Opti System”*. Bandung : Universitas Telkom
- [2] ITU, 2000, ITU-T Recommendation L.40, *“Optical fiber outside plant maintenance support, monitoring and testing system”*.
- [3] ITU-T. 2003. ITU-T Recommendation G.984.2, *“Series G: Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks”*.
- [4] Keiser, Gred. 1991. *“Optical Fiber Communications”*. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc
- [5] Kencanawati, Dwi. 2014. *“Perancangan Jaringan Fiberto the Home (FTTH) dengan Teknologi Gigabit Capable Passive Optical Network (GPON) untuk Apartmen Newton (Newton Residence) Bandung”*. Bandung : Universitas Telkom
- [6] Pramanabawa, Ida Bagus. 2013. *“Analisa Rise Time Budget dan Power Link Budget dari STO ke PelangganInfrastruktur GPON (Gigabit Passive Optical Network) PT.Telekomunikasi Divisi Access Denpasar”*. Bali: Universitas Udayana
- [7] PT.Telekomunikasi Indonesia Tbk, Direktorat Network dan Solution. 2010. *“Pedoman Pemasangan Jaringan Akses Fiber Optik”*. PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Bandung
- [8] Telkom Indonesia, PT. 2012.*“Modul 1 -Overview Jaringan FTTx”*. PT. Telkom Indonesia
- [9] Siahaan, Muhamad Ramdhan Mardiana. 2012.*“Perancangan Jaringan Akses Fiberto the Home (FTTH) Menggunakan TeknologiGigabit Capable Passive Optical Network (GPON) di PerumahanSetra Duta Bandung”*. Bandung : Institut Teknologi Telkom