

EVALUASI JARINGAN AKSES *FIBER TO THE CURB* (FTTC) MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS* (XGPON) DI STO TANJUNG PRIOK

EVALUATION *FIBER TO THE CURB* ACCESS NETWORK (FTTC) USING *10-GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS* TECHNOLOGY (XGPON) AT STO TANJUNG PRIOK

Syawal Alam Machfuddin¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T.², Desti Madya Saputri, S.T., M.T.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹syawal.alamm@gmail.com, ²ahambali@telkomuniversity.ac.id, ³destimadysaputri@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Fiber to the curb (FTTC) adalah arsitektur jaringan fiber optik yang mendistribusikan format isyarat optik dari pusat penyedia hingga kabinet (*curb*) dekat pelanggan menggunakan serat optik sebagai medium penghantarnya. Dalam perkembangannya, FTTC menggunakan teknologi *10-Gigabit Capable Passive Optical Network* (XGPON) untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan *bandwidth* dan kecepatan data. Dalam penelitian ini telah dilakukan evaluasi jaringan *fiber to the curb* (FTTC) menggunakan teknologi *10-Gigabit Capable Passive Optical Network* (XGPON) yang diaplikasikan di STO Tanjung Priok. Evaluasi yang dilakukan adalah analisa parameter kelayakan sistem dengan cara perhitungan dan simulasi dari OLT hingga MSAN terdekat yaitu MRH dan MSAN terjauh yaitu MRAZ sesuai dengan data jaringan FTTC STO Tanjung Priok. Berdasarkan hasil yang didapat dari perhitungan simulasi, maka diperoleh nilai SNR arah *downstream* 36,52 dB untuk MSAN terdekat dan 35,32 dB untuk MSAN terjauh. Nilai SNR arah *upstream* 33,34 dB untuk MSAN terdekat dan 30,073 dB untuk MSAN terjauh. Nilai BER arah *downstream* mendekati 0 untuk MSAN terdekat dan $1,684 \times 10^{-279}$ untuk MSAN terjauh. Nilai BER arah *upstream* $1,199 \times 10^{-223}$ untuk MSAN terdekat dan $1,856 \times 10^{-105}$ untuk MSAN terjauh.

Kata kunci : FTTC, XGPON, parameter kelayakan.

Abstract

Fiber to the curb (FTTC) is a fiber optic network architecture that distributes optical signaling formats from service providers to near-customer cabinet (*curb*) using optical fiber as the medium of delivery. In its development, FTTC uses *10-gigabit-capable passive optical network* (XGPON) technology to meet people's need for *bandwidth* and data speed. In this research has been evaluated *fiber to the curb* (FTTC) network using *10-Gigabit-Capable Passive Optical Network* (XGPON) technology applied in STO Tanjung Priok. Evaluation performed is the analysis of system feasibility parameters by calculation and simulation of OLT to the closest MSAN that is MRH and MSAN furthest is MRAZ in accordance with data network FTTC STO Tanjung Priok. Based on the results obtained from the simulation calculation, the SNR value obtained from *downstream* 36.52 dB for the nearest MSAN and 35.32 dB for the farthest MSAN. SNR value of *upstream* 33.34 dB for nearby MSAN and 30.073 dB for farthest MSAN. The downward BER value is approaching 0 for the closest MSAN and 1.684×10^{-279} for the farthest MSAN. BER value *upstream* direction 1.199×10^{-223} for the nearest MSAN and 1.856×10^{-105} for the farthest MSAN.

Keywords: FTTC, XGPON, feasibility parameters.

1 Pendahuluan

Fiber to the curb (FTTC) adalah arsitektur jaringan fiber optik yang mendistribusikan format isyarat optik dari pusat penyedia hingga kabinet (*curb*) dekat pelanggan menggunakan serat optik sebagai medium penghantarnya. Dalam perkembangannya, FTTC menggunakan teknologi *10-Gigabit Capable Passive Optical Network* (XGPON) untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan *bandwidth* dan kecepatan data.

Pada jurnal milik Dimas Hendratno juga telah melakukan penelitian, dan analisis mengenai perancangan jaringan FTTC di kawasan STO Cempaka Putih yang menggunakan teknologi XGPON. Jurnal tersebut berisi tentang perancangan jaringan FTTC di kawasan STO Cempaka Putih dengan melakukan perhitungan dan simulasi untuk mendapatkan nilai kelayakan sistem *link power budget*, *rise time budget* pada arah *downstream* dan *upstream* dan melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai *bit error rate* pada letak lokasi MSAN terjauh. Hasil dari perhitungan dan simulasi tersebut sangat baik dan layak di implementasikan pada kawasan tersebut.[4]

Pada penelitian ini, penulis ingin menganalisis evaluasi jaringan *Fiber to the Curb* (FTTC) menggunakan teknologi *10-Gigabit Capable Passive Optical Network* (XGPON) dari STO Tanjung Priok ke 6 MSAN. Pada evaluasi ini akan dilakukan perhitungan LPB, RTB, SNR, *Q factor*, dan BER dan disimulasikan menggunakan

perangkat lunak untuk mendapatkan parameter yang sama pada arah *downstream* dan *upstream* dan melakukan perbandingan keduanya.

2 Dasar Teori

2.1 Passive Optical Network (PON)

PON merupakan salah arsitektur jaringan akses *broadband* berbasis serat optik yang menggunakan perangkat pasif optik, sehingga dapat digunakan pada konfigurasi *point-to-multipoint*. Dengan teknologi serat optik, layanan seperti data, voice, dan IPTV hanya menggunakan satu saluran kabel atau yang disebut dengan teknologi WDM (*Wavelength Division Multiplexer*) dengan koneksi kecepatan tinggi yang memungkinkan akses internet secara cepat dan terkoneksi.[1]

2.2 Gigabit Passive Optical Network (GPON)

GPON merupakan evolusi dari teknologi PON yang salah satu teknologi akses yang dikategorikan sebagai *Broadband Access* berbasis *fiber optic* dan merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T G.984. pada GPON beberapa OLT, interface sentral dengan jaringan *fiber optic* dihubungkan dengan beberapa ONU, interface pelanggan dengan jaringan serat optik menggunakan ODN.[7]

2.3 10-Gigabit-Capable Passive Optical Network (XGPON)

10 Gigabyte Passive Optical Network (XGPON) adalah suatu teknologi akses yang dikategorikan sebagai *broadband access* berbasis fiber optik. XGPON merupakan salah satu 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*. Prinsip kerja dari XGPON ini mirip dengan prinsip kerja GPON. Hanya ada pengembangan pada kapasitasnya saja, yaitu untuk XGPON memiliki kapasitas *downstream* sebesar 10 Gbps dan kapasitas *upstreamnya* sebesar 2.5Gbps. Komponen yang digunakan pada teknologi XGPON ini juga hampir sama dengan yang digunakan pada teknologi GPON, hanya saja beberapa komponen harus diganti agar mendukung teknologi XGPON seperti contohnya OLT dan ONT.[6]

2.4 Fiber To The Curb (FTTC)

Fiber To The Curb merupakan penggabungan dari jaringan fiber dan jaringan tembaga yang dibuat hanya sampai pada suatu titik pendistribusian (*curb*). Dari *curb* sampai kerumah-rumah digunakan kabel tembaga. FTTC dapat diterapkan bagi pelanggan bisnis yang letaknya berkumpul di suatu area terbatas. Dengan menggunakan perangkat yang disebut MSAN, perangkat ini digunakan untuk meng-cover pelanggan eksisting yang masih menggunakan teknologi tembaga. Biasanya perangkat ini ditempatkan tidak jauh dari RK atau ODC. Terminal pelanggan dihubungkan ke perangkat MSAN dengan menggunakan kabel tembaga hingga jarak beberapa ratus meter. Pada jaringan FTTC ini kabel optik yang digunakan dari STO hanya sampai MSAN saja, sehingga dari MSAN ke ONT tetap menggunakan kabel sekunder.[8]

2.5 Parameter Performansi Sistem

a. Link Power Budget (LPB)

Link power budget adalah perhitungan daya yang dilakukan suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran (redaman), sumber optik dan sensitifitas detektor. LPB dihitung sebagai syarat agar link yang dirancang dayanya tidak melebihi batas ambang dari daya yang dibutuhkan. Untuk menghitung daya yang diterima *photodetector* disisi penerima dapat dilihat dibawah ini:[7]

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha_{total} - SM \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

P_{rx} = Sensitifitas daya maksimum detector

P_{tx} = Daya keluaran sumber optik

SM = *System Margin*

α_{total} = Redaman Total

Untuk menghitung besarnya redaman total:

$$\alpha_{total} = (L \times \alpha_{serat}) + (N_c \times \alpha_c) + (N_s \times \alpha_s) + Sp \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

L = Panjang serat optik

α_{serat} = Redaman serat optik

N_c = Jumlah Konektor

α_c = Redaman Konektor (dB/buah)

Sp = Redaman Splitter (dB)

N_s = Jumlah Sambungan

α_s = Redaman Sambungan (dB/sambungan)

b. Rise Time Budget (RTB)

Rise Time Budget adalah suatu analisa pelebaran pulsa yang terjadi pada proses pengiriman sinyal digital. Pada sistem komunikasi optik dasar, pelebaran pulsa ini dipengaruhi oleh transmitter, serat, dan receiver optik. Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu link serat optik. Metode ini sangat berguna untuk menganalisa sistem transmisi digital. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisa apakah unjuk kerja jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. 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). Satu periode bit didefinisikan sebagai resiprokal dari rate data.[7]

Dimana $t_{material}$ dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$t_{material} = \Delta\sigma \times L \times Dm \dots \dots \dots (3)$$

Sehingga RTB dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$t_{system} = (t_{tx}^2 + t_{material}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- t_{tx} = rise time transmitter
- t_{rx} = rise time receiver
- $t_{intermodal}$ = 0
- $\Delta\sigma$ = Lebar Spektral
- L = Panjang serat optik
- Dm = Dispersi Material

c. Signal To Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise ratio (SNR) adalah suatu ukuran untuk menentukan kualitas dari sebuah sinyal yang terganggu oleh derau. Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal terhadap daya noise pada satu titik yang sama. Semakin besar nilai SNR sebuah sistem, maka akan menandakan sistem tersebut bekerja dengan baik.[7] SNR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SNR = \frac{Daya \ Sinyal}{\Sigma \ Noise} \dots \dots \dots (5)$$

Sehingga :

$$SNR = 10 \log \left(\frac{(P_{in}RM)^2}{2qP_{in}RM^2 F(M)Be + \frac{4K_B T Be}{R_L}} \right) \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

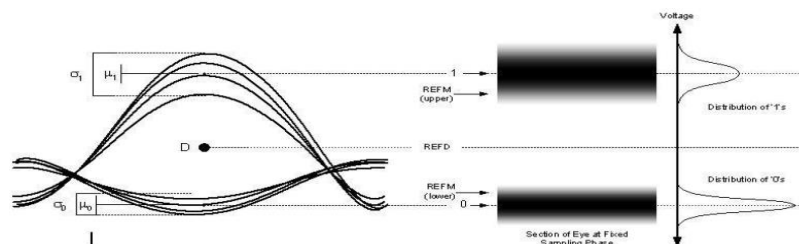
- P_{in} = Daya yang diterima receiver
- R = Responsivity
- M = Avalanche Photodiode Gain
- q = Electron Charge
- $F(M)$ = Noise Figure
- Be = Receiver Electrical Bandwidth
- K_B = Konstanta Boltzman's
- T = Suhu Ruangan
- R_L = Resistensi

d. Q Factor

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

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 - \sigma_0} \dots \dots \dots (7)$$

dimana, μ_0 dan μ_1 adalah nilai rata-rata dari tegangan atau arus yang terbaca pada decision circuit, σ_0 dan σ_1 adalah standar deviasi dari masing-masing μ . Untuk mengilustrasikan nilai-nilai tersebut, dapat dilihat pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Ilustrasi Persamaan Q Factor[9]

Standar deviasi adalah nilai tengah yang menjadi ukuran kecenderungan simpangan data dari nilai rata-rata sekelompok data yang mengacu pada jumlah datanya. *Q factor* juga dapat diekspresikan dengan persamaan hubungan dengan SNR berikut ini:[7]

$$Q = \frac{\sqrt{SNR}}{2} \dots\dots\dots (8)$$

e. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) adalah sejumlah bit digital pada jaringan transmisi yang ditafsirkan sebagai keadaan rendah atau tinggi, kemudian dibagi dengan sejumlah bit yang diterima atau dikirim atau diproses selama beberapa periode yang telah ditetapkan. BER merupakan rasio perbandingan *bit error* dengan jumlah keseluruhan bit yang dikirim. Dengan nilai maksimum BER sebesar 10^{-9} . Dimana BER dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:[7]

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \dots\dots\dots (9)$$

Dimana *error function* (*erfc*) :

$$\operatorname{erfc} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{\beta^2}{2\alpha\beta}} = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \dots\dots\dots (10)$$

Berdasarkan persamaan diatas sehingga diperoleh nilai pendekatan :

$$BER = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} 10^{-\frac{Q^2}{2}} \dots\dots\dots (9)$$

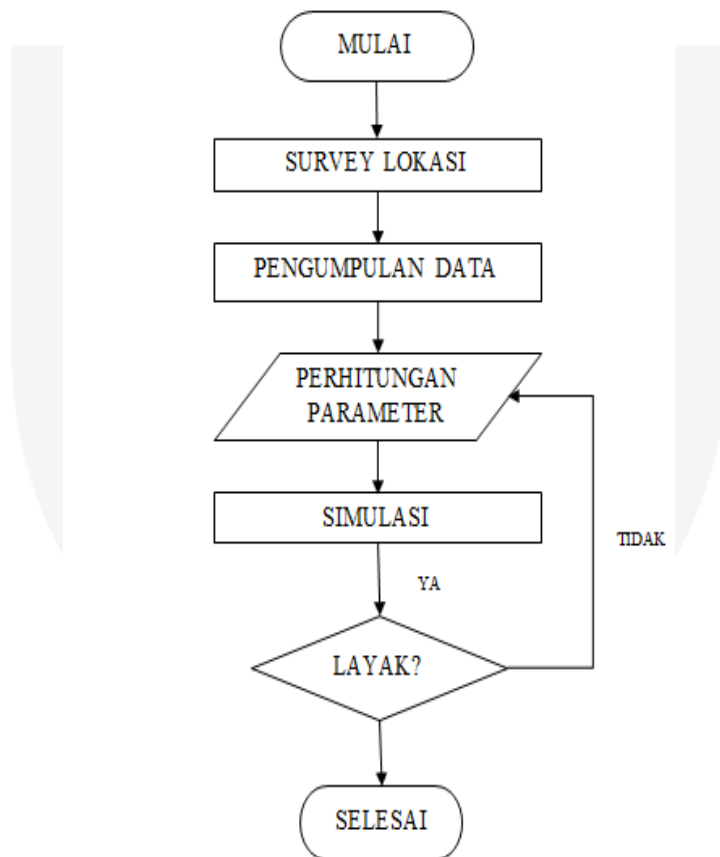
Keterangan :

Q = *Q Factor*

π = Konstanta *pi* (3,14)

3 Evaluasi Jaringan FTTC

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

OLT untuk penelitian evaluasi jaringan akses FTTC berada di STO Tanjung Priok, STO Tanjung Priok ini menagani 6 MSAN dan 9 ODC yang tersebar pada feeder optik jaringan FTTC STO Tanjung Priok.



Gambar 3. Peta Lokasi Jaringan FTTC

3.3 Daftar Perangkat

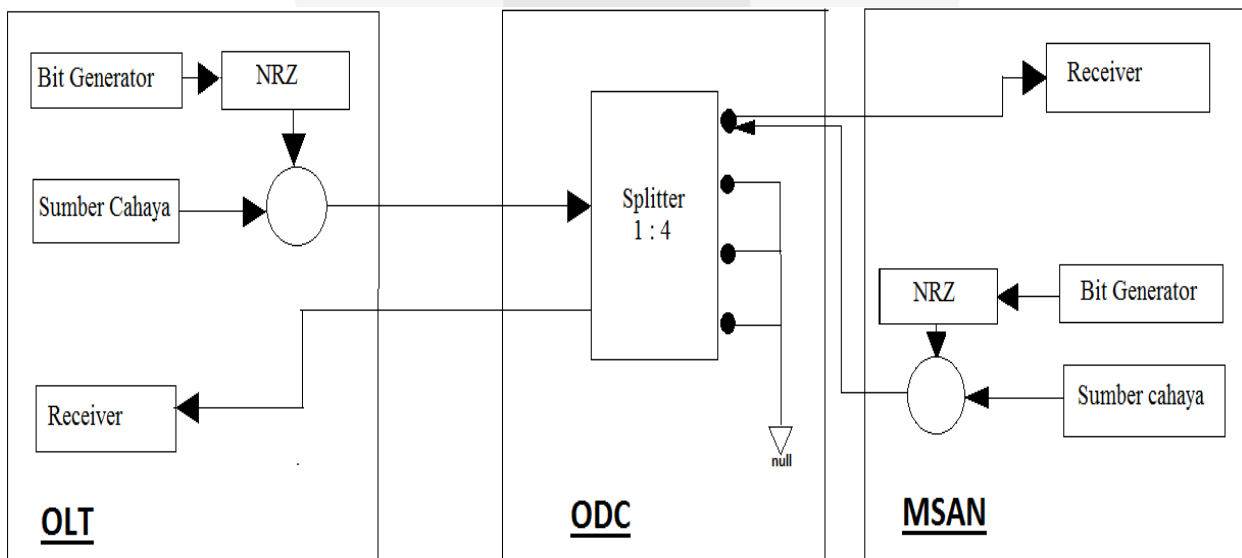
Perangkat yang digunakan pada jaringan FTTC di STO Tanjung Priok dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1 Daftar Model Perangkat

Perangkat	Model Perangkat
OLT	OLT ZTE ZX A10 C320
MSAN	MSAN ZTE ZXMSG 5200 V3
Serat Optik	G.652.D
Konektor	FC 9/125

3.4 Skenario Simulasi

Pada evaluasi sistem jaringan FTTC di STO Tanjung Priok akan diuji dengan model sistem dibawah ini:



Gambar 3. Model Sistem

a. Skenario Simulasi *Downstream* MSAN Terdekat (MRH)

Daya pancar yang diberikan pada *transmitter downstream* adalah 3 dBm. Total panjang serat optik 3,181 Km. Redaman serat optik G.652.D dengan panjang gelombang 1577nm sebesar 0,273 dB/Km untuk *downstream*. Dispersi material fiber optik *downstream* panjang gelombang 1577nm adalah 16,75 ps/nm.Km. Konektor sejumlah 4 buah masing-masing diberikan redaman sebesar 0,2 dB. *Passive splitter* 1:4 diberikan redaman sebesar 7,8 dB. Dan untuk *receiver* menggunakan fotodetektor jenis APD.

b. Skenario Simulasi *Downstream* MSAN Terjauh (MRAZ)

Daya pancar yang diberikan pada *transmitter downstream* adalah 3 dBm. Total panjang serat optik 7,04 Km. Redaman serat optik G.652.D dengan panjang gelombang 1577 nm sebesar 0,273 dB/Km. Dispersi material fiber optik panjang gelombang 1577 nm adalah 16,75 ps/nm.Km. Konektor sejumlah 4 buah masing-masing diberikan redaman sebesar 0,2 dB. *Optical attenuator* sebanyak 5 buah dengan masing masing redaman 0,1 dB. *Passive splitter* 1:4 diberikan redaman sebesar 7,8 dB. Dan untuk *receiver* menggunakan fotodetektor jenis APD.

c. Skenario Simulasi *Upstream* MSAN Terdekat (MRH)

Daya pancar yang diberikan pada *transmitter upstream* (MSAN) adalah 0,5 dBm. Total panjang serat optik 3,181 Km. redaman serat optik G.652.D 1270 nm sebesar 0,47 dB/Km. Dispersi material fiber optik *downstream* 1270 nm adalah 13,86 ps/nm.Km. Konektor sejumlah 4 buah masing-masing diberikan redaman sebesar 0,2 dB. *Combiner* 1:4 diberikan redaman sebesar 7,8 dB. Dan untuk *receiver* menggunakan fotodetektor jenis APD.

d. Skenario Simulasi *Upstream* MSAN Terjauh (MRAZ)

Daya pancar yang diberikan pada *transmitter upstream* (MSAN) adalah 0,5 dBm. Total panjang serat optik 3,181 Km. Sedangkan redaman serat optik G.652.D 1270 nm sebesar 0,47 dB/Km untuk *downstream*. Dispersi material fiber optik *downstream* 1270 nm adalah 13,86 ps/nm.Km. Konektor sejumlah 4 buah masing-masing diberikan redaman sebesar 0,2 dB. *Optical attenuator* sejumlah 5 buah masing-masing diberikan redaman sebesar 0,1 dB. *Combiner* 1:4 diberikan redaman sebesar 7,8 dB. Dan untuk *receiver* menggunakan fotodetektor jenis APD.

4 Hasil Simulasi

a. *Downstream* MSAN Terdekat (MRH)

Setelah melakukan simulasi untuk skenario *downstream* pada jarak MSAN terdekat, nilai hasil simulasi di *optisystem* untuk daya terima adalah sebesar -12,489 dBm. Nilai hasil simulasi di *optisystem* yang terdapat pada BER Analyzer adalah 46,6874 untuk *Q factor* dan mendekati 0 untuk BER. Nilai *signal power* pada *electrical power meter visualizer* $44,063 \times 10^{-9}$ W dan nilai *noise power* $9,819 \times 10^{-12}$ W. Sehingga didapatkan nilai SNR sebesar 36,52 dB.

b. *Downstream* MSAN Terjauh (MRAZ)

Setelah melakukan simulasi untuk skenario *downstream* pada jarak MSAN terjauh, nilai hasil simulasi di *optisystem* untuk daya terima adalah sebesar -15,416 dBm. nilai hasil simulasi di *optisystem* yang terdapat pada BER Analyzer adalah 35,7025 untuk *Q factor* dan mendekati $1,68404 \times 10^{-279}$ untuk BER. Nilai *signal power* pada *electrical power meter visualizer* $21,537 \times 10^{-9}$ W dan nilai *noise power* $6,318 \times 10^{-12}$ W. Sehingga didapatkan nilai SNR sebesar 36,52 dB.

c. *Upstream* MSAN Terdekat (MRH)

Setelah melakukan simulasi untuk skenario *upstream* pada jarak MSAN terdekat, nilai hasil simulasi di *optisystem* untuk daya terima adalah sebesar -15,616 dBm. Nilai hasil simulasi di *optisystem* yang terdapat pada BER Analyzer adalah 31,9019 untuk *Q factor* dan mendekati $1,19867 \times 10^{-223}$ untuk BER. Nilai *signal power* pada *electrical power meter visualizer* $11,077 \times 10^{-9}$ W dan nilai *noise power* $5,133 \times 10^{-12}$ W. Sehingga didapatkan nilai SNR sebesar 33,34 dB.

d. *Upstream* MSAN Terjauh (MRAZ)

Setelah melakukan simulasi untuk skenario *upstream* pada jarak MSAN terjauh, nilai hasil simulasi di *optisystem* untuk daya terima adalah sebesar -17,930 dBm. Nilai hasil simulasi di *optisystem* yang terdapat pada BER Analyzer adalah 21,77771 untuk *Q factor* dan mendekati $1,855555 \times 10^{-105}$ untuk BER. nilai *signal power* pada *electrical power meter visualizer* $3,818 \times 10^{-9}$ W dan nilai *noise power* $3,754 \times 10^{-12}$ W. Sehingga didapatkan nilai SNR sebesar 30,073 dB.

5 Kesimpulan

Dari hasil simulasi pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil perhitungan kelayakan sistem dan hasil keluaran simulasi untuk *link power budget* arah *downstream*, didapatkan nilai total redaman pada perhitungan empiris 12,6684134 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 13,7292 dB untuk jarak MSAN terjauh. Nilai untuk total redaman pada simulasi didapatkan

- 15,489 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 17,043 dB untuk jarak MSAN terjauh. Untuk arah *upstream* didapatkan nilai total redaman pada perhitungan empiris 13,29507 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 15,1088 dB untuk jarak MSAN terjauh. Nilai untuk total redaman pada simulasi didapatkan 16,116 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 18,43 dB untuk jarak MSAN terjauh. Seluruh nilai redaman total yang didapatkan memenuhi syarat yang diberikan ITU-T dan PT. Telkom yaitu nilai total redaman tidak melebihi dari 28 dB.
2. Berdasarkan hasil perhitungan kelayakan sistem dan hasil keluaran simulasi untuk *signal to noise ratio* arah *downstream*, didapatkan nilai SNR pada perhitungan empiris 38,907044 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 37,7457 dB untuk jarak MSAN terjauh. Nilai SNR pada simulasi didapatkan 36,52 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 35,32 dB untuk jarak MSAN terjauh. Untuk arah *upstream* didapatkan nilai SNR pada perhitungan empiris 35,4088 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 33,2495 dB untuk jarak MSAN terjauh. Nilai untuk SNR pada simulasi didapatkan 33,34 dB untuk jarak MSAN terdekat dan 30,073 dB untuk jarak MSAN terjauh. Seluruh nilai SNR yang didapatkan memenuhi syarat yang diberikan ITU-T dan PT. Telkom yaitu nilai SNR lebih dari 22 dB.
 3. Berdasarkan hasil perhitungan kelayakan sistem dan hasil keluaran simulasi untuk *Q factor* arah *downstream*, didapatkan nilai *Q factor* pada perhitungan empiris 44,08818636 untuk jarak MSAN terdekat dan 38,570863 untuk jarak MSAN terjauh. Nilai *Q factor* pada simulasi didapatkan 46,6874 untuk jarak MSAN terdekat dan 35,7025 untuk jarak MSAN terjauh. Untuk arah *upstream* didapatkan *Q factor* pada perhitungan empiris 29,4723604 untuk jarak MSAN terdekat dan 22,985082892 untuk jarak MSAN terjauh. Nilai untuk *Q factor* pada simulasi didapatkan 31,9019 untuk jarak MSAN terdekat dan 21,7771 untuk jarak MSAN terjauh. Seluruh nilai *Q factor* yang didapatkan memenuhi syarat yang diberikan ITU-T dan PT. Telkom yaitu nilai *Q factor* lebih dari 6.
 4. Berdasarkan hasil perhitungan kelayakan sistem dan hasil keluaran simulasi untuk *bit error rate* arah *downstream*, didapatkan nilai BER pada perhitungan empiris $8,307 \times 10^{-424}$ untuk jarak MSAN terdekat dan $1,0208 \times 10^{-324}$ untuk jarak MSAN terjauh. Nilai BER pada simulasi didapatkan Mendekati 0 untuk jarak MSAN terdekat dan $1,684 \times 10^{-279}$ untuk jarak MSAN terjauh. Untuk arah *upstream* didapatkan BER pada perhitungan empiris $3,259 \times 10^{-191}$ untuk jarak MSAN terdekat dan $3,292 \times 10^{-117}$ untuk jarak MSAN terjauh. Nilai untuk BER pada simulasi didapatkan $1,199 \times 10^{-223}$ untuk jarak MSAN terdekat dan $1,856 \times 10^{-105}$ untuk jarak MSAN terjauh. Seluruh nilai BER yang didapatkan memenuhi syarat yang diberikan ITU-T dan PT. Telkom yaitu nilai BER lebih kecil dari 10^{-9} .
 5. Berdasarkan perhitungan kelayakan sistem untuk *rise time budget*, jenis pengkodean NRZ dan RZ dapat digunakan dalam perancangan ini. Pengkodean NRZ memiliki batas 70% dari kecepatan data yaitu 70 ps untuk *downstream* dan 35 ps untuk *upstream*. Pengkodean RZ memiliki batas 35% dari kecepatan data yaitu 280 ps untuk *downstream* dan 140 ps untuk *upstream*. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai t_{system} sebesar 69,7785 ps untuk arah *downstream* MSAN terdekat, dan 123,0356 ps untuk arah *downstream* MSAN terjauh serta 66,28582 ps arah *upstream* MSAN terdekat, dan 109,441 ps arah *upstream* terjauh. Nilai t_{system} *downstream* hanya memenuhi *rise time budget* NRZ, sedangkan nilai t_{system} *Upstream* memenuhi *rise time budget* NRZ dan RZ.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pencarian data yang lebih detail lagi seperti pernah berapa kali perbaikan selama jaringan FTTC itu telah dibangun, agar perhitungan dan simulasi lebih *real* dengan keadaan STO tersebut.

Daftar Pustaka :

- [1] Agrawal, G. P., 2002, "Fiber-Optic Communication Systems Ed. 3". New-York: John Willey & Son, Inc.
- [2] Amri, I. D. "Analisis Perbandingan Teknologi GPON Dan XGPON Untuk Perancangan Jaringan Fiber To The Home". Semarang: Universitas Diponegoro. 2016
- [3] Ghoniah, S. J. "Perancangan Arsitektur Jaringan Fiber To The Curb Di kawasan Bandung Centrum Dalam Proyek TITO di PT. Industri Telekomunikasi Indonesia". Bandung: Universitas Telkom. 2016.
- [4] Hendratno, D. "Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Curb (FTTC) Menggunakan Teknologi 10-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (XGPON) Studi Kasus STO Cempaka Putih Dengan Ducting Bersama". Bandung: Universitas Telkom. 2016.
- [5] ITU-T Recommendation G.652. "Characteristics of a single-mode optical fibre and cable", 2009
- [6] ITU-T Recommendation G.987. "10-Gigabit-Capable Passive Optical Network (XG-PON) Systems: Definitions, Abbreviations and Acronyms", 2012
- [7] Keiser, G. 2000. "Optical Fiber Communication, 3rd ed". Singapore: McGraw-Hill.
- [8] Keiser, G. 2006. "FTTX Concepts And Applications". Haboken: John Willey & Son, Inc.

- [9] Marcatili, E.A.J., Objectives of early fibers: Evolution of fiber types, in S.E. Miller and A.G. Chynoweth, eds., Optical Fiber Telecommunication, Academic, New York, 1979.
- [9] ZTE Corporation. '*ZTE ZX A C320 V1.1 Technical Manual*'. Nanshan District: ZTE Plaza. 2011.
- [10] ZTE Corporation. '*ZTE ZXMSG 5200 V3.1 Technical Manual*'. Nanshan District: ZTE Plaza. 2011.

