

## ANALISIS PERFORMANSI TEKNOLOGI XG-PON MENGGUNAKAN *SPLITTER*

### *PERFORMANCE ANALYSIS OF TECHNOLOGY XG-PON WITH SPLITTER*

Nugraha Septiana Pamungkas<sup>1</sup>, Ir. Akhmad Hambali, M.T.<sup>2</sup>, Desti Madya Saputri, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>nugraha0994@gmail.com, <sup>2</sup>ahambali@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>Destimadyasaputri@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

XG-PON diharapkan mampu mengakomodasi layanan broadband yang semakin meledak di masa depan untuk melayani kebutuhan pelanggan yang meningkat baik di layanan *data*, *voice*, dan *television*. Pada penelitian ini berbeda dengan peneliti sebelumnya yang membahas mengenai analisis performansi XGPON menggunakan *splitter* 1:64. Dalam penelitian ini penulis ingin mengembangkan penelitian dengan cara menganalisa performansi teknologi XG-PON pada berbagai jenis rasio *splitter* optik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan performansi XG-PON menggunakan *splitter* 1:2 sampai 1:64 menunjukkan jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi *upstream* jarak 20 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, *splitter* 1:2 sampai 1:16 jarak 40 km menggunakan daya sebesar 2 dBm dan daya 4 dBm untuk *splitter* 1:32. Kemudian jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 sampai 1:4 data *upstream* jarak 60 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, daya 4 dBm untuk *splitter* 1:8 dan daya 6 dBm untuk *splitter* 1:16. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 data *upstream* pada jarak 80 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, daya 4 dBm untuk *splitter* 1:4 dan daya 7 dBm untuk *splitter* 1:8. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi *downstream* *splitter* 1:4 sampai 1:64 dapat menggunakan daya 4 dBm. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 sampai 1:16 *downstream* jarak 40 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, 5 dBm untuk *splitter* 1:32 dan 6 dBm 1:64 jarak 40 km. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 sampai 1:8 *downstream* dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm jarak 60 km. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 *downstream* menggunakan daya sebesar 4 dBm jarak 80 km.

**Kata Kunci:** XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network), *splitter*, *software* simulasi optik.

#### Abstract

XG-PON is expected to accommodate an increasingly burgeoning broadband service in the future to cater to increasing customer needs in data, voice and television services. In this study different from previous researchers who discussed the performance of XGPON analysis using a 1:64 splitter. In this study the authors want to develop research by analyzing the performance of XG-PON technology on various types of optical splitter ratio. The results of this study show that XG-PON performance using 1: 2 to 1:64 splitter shows a decent network implemented for upstream transmission distance of 20 km can use power of 2 dBm, splitter 1: 2 to 1:16 distance 40 km using power equal to 2 dBm and 4 dBm power for 1:32 splitter. Then a decent network is implemented for 1: 2 to 1: 4 splitter up to 60 km distance data can use 2 dBm of power, 4 dBm power for 1: 8 splitter and 6 dBm power for 1:16 splitter. A decent network implemented for 1: 2 splitter of upstream data at a distance of 80 km can use 2 dBm of power, 4 dBm power for 1: 4 splitter and 7 dBm power for 1: 8 splitter. A decent network implemented for downstream splitter transmission 1: 4 to 1:64 can use 4 dBm power. A decent network implemented for 1: 2 splitters up to 1:16 downstream distance of 40 km can use power of 2 dBm, 5 dBm

*for 1:32 splitter and 6 dBm 1:64 distance 40 km. A decent network implemented for 1: 2 to 1: 8 downstream splitters can use 2 dBm of power at a distance of 60 km. A decent network is implemented for a 1: 2 downstream splitter using 4 dBm of power at a distance of 80 km.*

**Keywords :** *XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network), splitter, Optical simulation software .*

## **I. Pendahuluan**

XG-PON merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan oleh ITU-T (*International Telecommunication Union*). XG-PON diharapkan mampu mengakomodasi layanan broadband yang semakin meledak di masa depan untuk melayani kebutuhan pelanggan yang meningkat baik di layanan *data*, *voice*, dan *television*. Pada jurnal sebelumnya milik *research group* Institute Teknologi Bandung telah dilakukan penelitian yang membahas mengenai analisis performansi *10-Gigabit-capable Passive Optical Network* (XGPON) menggunakan *splitter* 1:64 [6]. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa desain sistem komunikasi optik dengan menggunakan teknologi XGPON menggunakan *splitter* 1:64 disarankan untuk diimplementasikan karena kinerja yang baik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa analisis *link budget* menunjukkan bahwa daya disisi penerima baik *downstream* dan *upstream* lebih besar dari sensitivitas dari komponen penerima dan analisis BER juga menunjukkan tanda-tanda memiliki distorsi sangat kecil dan mudah untuk membaca *eye diagram*. Kemudian pada jurnal yang dilakukan oleh amandeep kaur di Guru Nanak Dev University India mengenai analisis performansi *10G/2.5G Asymmetric XG-PON Transmission* menggunakan data format RZ dan NRZ menghasilkan kesimpulan bahwa jaringan XG-PON baik digunakan hingga jarak 80 km [9]. Selain itu jurnal dengan judul *A configurable transmitter architecture & organization for XG-PON OLT/ONU/ONT network elements* yang dilakukan oleh G.Menoutis di *National and Kapodistrian University of Athens* juga menghasilkan kesimpulan berupa verifikasi konfigurasi arsitektur jaringan XG-PON yang dapat digunakan [10]. Pada penelitian ini berbeda dengan peneliti sebelumnya. Dalam penelitian ini penulis ingin mengembangkan penelitian dengan cara menganalisa performansi *splitter* dengan cara melihat performansi jaringan pada teknologi XG-PON menggunakan berbagai jenis rasio *splitter* yang akan di simulasikan menggunakan *software* simulasi optik dengan mengubah parameter jarak dan *daya transmisi*.

## **II. Dasar Teori**

### **A. Fiber Optik**

Fiber optik atau serat optik adalah saluran transmisi sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan ukurannya lebih kecil dari sehelai rambut, dengan cara mentransmisikan cahaya dari suatu tempat ke tempat lain [7].

#### **a. Struktur Fiber Optik**

Fiber optik mempunyai bagian struktur yang dibagi menjadi 3 [7]:

1. *Core* (Inti)
2. *Cladding* (Kulit)
3. *Coating* (Pelindung)

#### **b. Jenis Kabel Fiber Optik**

Kabel fiber optik dibagi menjadi 2 jenis yaitu *single-mode* dan *multimode*, lalu *multimode* dibagi lagi menjadi *multimode step index* dan *multimode graded index*. *Single-mode* memiliki inti yang lebih kecil yang berfungsi mengirimkan sinar laser inframerah (panjang gelombang 1300 – 1550 nm) yang memungkinkan hanya

satu mode menyebarkan cahaya melalui inti pada suatu waktu. Sedangkan *multimode* mempunyai diameter dan inti serat yang lebih besar dari *single-mode* memungkinkan ratusan modus cahaya tersebar melalui serat secara bersamaan *multimode* juga mengirimkan sinar laser inframerah (panjang gelombang 850 -1300 nm). Di penelitian kali ini yang digunakan adalah fiber optik *single-mode* yang hanya terdiri dari satu mode selama propagasi [7].

## B. Splitter

*Splitter* merupakan komponen pasif yang dapat membagi daya optik dari satu input serat ke dua atau beberapa output serat. *Splitter* pada PON dikatakan pasif sebab optimasi tidak dilakukan terhadap daya yang digunakan terhadap pelanggan yang jaraknya berbeda dari node *splitter*, sehingga sifatnya *idle* dan cara kerjanya membagi daya optik sama rata.

## C. Line Coding

### a. Kode NRZ (Non Return to Zero)

Format pengkodean NRZ yang paling sederhana adalah NRZ-level (NRZ-L) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.1 . Untuk setiap data *stream* yang dikirim *serial*, sebuah *on-off* (*unipolar*) sinyal direpresentasikan sebagai bit "1" dari masukan arus atau cahaya yang masuk pada periode bit dan bit "0" direpresentasikan sebagai tidak adanya pulsa yang ditransmisikan [3].

### b. Kode RZ (Return to Zero)

Pada format pengkodean RZ, transisi level sinyal timbul selama beberapa atau semua periode bit yang mengandung *timing* informasi. Pada *unipolar* RZ ,bit "1" direpresentasikan oleh setengah periode bit pertama atau kedua. Bit "0" direpresentasikan pada saat tidak adanya sinyal yang masuk selama periode bit [3].

## D. Teknologi PON

XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network) dalam konteks pengembangan standard ITU-T, merupakan istilah umum untuk referensi sistem evolusi PON setelah GPON. Konsep NG-PON saat ini meliputi NG-PON1, dimana ODN di-maintain dari B-PON dan G-PON, dan dan NG-PON2, di mana redefinisi ODN diperbolehkan dari yang didefinisikan dalam B-PON dan G-PON [2]. XG-PON adalah sistem PON yang mendukung nominal rate transmisi minimum 10 Gbps dalam satu arah, dan mengimplementasikan rangkaian protocol yang dispesifikasikan didalam rekomendasi ITU seri ITU-T G.987.x. XG-PON adalah subclass dari NG-PON1 [1].

Prinsip kerja dari XG-PON sendiri sama dengan prinsip kerja GPON, hanya ada pengembangan pada kapasitasnya saja, yaitu untuk XGPON memiliki kapasitas *downstream* sebesar 10 Gbps dan kapasitas *upstream* sebesar 2.5 Gbps untuk XG-PON1 dan *upstream* sebesar 10 Gbps untuk XG-PON2. 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 ini tetapi masih dengan fungsi yang sama, seperti contohnya pada OLT dan ONT [5].

## E. Perhitungan Analisa Link

### a. Link Power Budget

Untuk menghitung *Link power budget* dapat dihitung dengan rumus total redaman sebagai berikut:

$$at_{ot} = L. a_{serat} + N_c . a_c + N_s. a_s + S_p \quad (1)$$

Keterangan :

$\alpha_{tot}$  = Redaman Total sistem (dB)

L = Panjang serat optik ( Km)

$\alpha_c$  = Redaman Konektor (dB/buah)

$\alpha_s$  = Redaman sambungan ( dB/sambungan)

$\alpha_{serat}$  = Redaman serat optik ( dB/ Km)

Ns = Jumlah sambungan

Nc = Jumlah konektor

Sp = Redaman Splitter (dB)

Sedangkan untuk mencari nilai daya yang diterima di *photodetector* atau disisi pelanggan dapat dihitung dengan persamaan:

$$PRX = PTX - \alpha_{tot} \quad (2)$$

Keterangan :

$\alpha_{tot}$  = Redaman total sistem (dB)

PRx = Daya terima, sensitivitas penerima (dBm)

PTX = Daya kirim (dBm)

#### b. Rise Time Budget

*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 (*returnto-zero*). [4] Satu periode *bit* didefinisikan sebagai resiprokal dari *data rate*. Untuk menghitung *Rise Time budget* dapat dihitung dengan rumus :

$$t_{system} = \sqrt{(t_{tx}^2 + t_{intramodal}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx}^2)} \quad (3)$$

Keterangan :

Ttx = Rise time transmitter (ns)

Trx = Rise time receiver (ns)

T<sub>intermodal</sub> = 0 (untuk single mode)

T<sub>intramodal</sub> = t<sub>material</sub> + t<sub>waveguide</sub>

T<sub>material</sub> =  $\Delta\sigma \times L \times D_m$

T<sub>waveguide</sub> =  $t_w = [n_2 + n_2 \cdot \Delta \cdot (v b d v)]$

$\Delta\sigma$  = Lebar Spektral (nm)

L = Panjang serat optik (Km)

Dm = Dispersi Material (ps/nm.Km)

N2 = Indeks bias selubung

c = kecepatan rambat cahaya  $3 \times 10^8$  m/s

v =  $\sqrt{2} \cdot a \cdot n_1 / \lambda$ . (2Δs) m/s

a = Jari-jari inti (m)

n1 = indeks bias inti

n2 = indeks bias selubung

#### c. Bit Error Rate

BER adalah perbandingan banayaknya bit yang error terhadap total bit yang ditransmisikan dalam selang waktu satu detik dengan rentang 0 hingga 1. Persamaan BER secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$BER = Ne/Nt \quad (4)$$

$$BER = Pe(Q) = 1/2[1 - \text{erf}(Q/\sqrt{2})] \approx 1/\sqrt{2\pi} \cdot e^{-Q^2/2} \quad (5)$$

$$Q = (VH - VL) / \sigma_x \quad (6)$$

Keterangan :

BER = nilai *Bit Error Rate*

$Pe$  = probabilitas eror

$Ne$  = jumlah bit yang eror

$Nt$  = jumlah bit yang dikirim

$Q$  = kualitas

$VL$  = threshold atas

$VH$  = threshold bawah

$\sigma_x$  = standar deviasi

#### d. *Optical Signal to Noise Ratio (OSNR)*

*Optical Signal to Noise Ratio (OSNR)* adalah perbandingan antara tingkat daya sinyal dengan daya *noise* dalam bentuk desibel (dB). OSNR dapat dirumuskan pada persamaan 2.8

$$OSNR = \frac{\text{Signal Power}}{\text{Shot noise} + \text{noise dark current} + \text{thermal noise}} \quad (7)$$

Keterangan :

OSNR = *Optical Signal to Noise Ratio*

$Pr$  = Daya Sinyal yang diterima detector (W)  $(\eta q) / (h\nu)$

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

$\eta$  = efisiensi quantum (%)

$h\nu$  = energi photon (kWh)

Noise dark current =  $2qI_D B$

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

$I_D$  = arus gelap (A)

Thermal Noise =  $\frac{4kT_{eff} B}{R1}$

$B$  = *bandwidth* detector cahaya (Hz)

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

$R1$  = *equivalent resistance* ( $\Omega$ )

Short Noise =  $2q \left( 2Pr \frac{\eta q}{h\nu} \right) BM^2 F(M)$

$R$  = Responsivitas (A/W)

$M$  = Tambahan daya sinyal pada detektor cahaya APD

$k$  = konstanta Boltzman

=  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K

$F(M)$  = *noise figure*

#### e. *Q factor*

*Q factor* adalah *signal-to-noise ratio (SNR)* pada *decision circuit* dalam bentuk tegangan atau arus, yang dapat dinyatakan dengan persamaan 2.9.

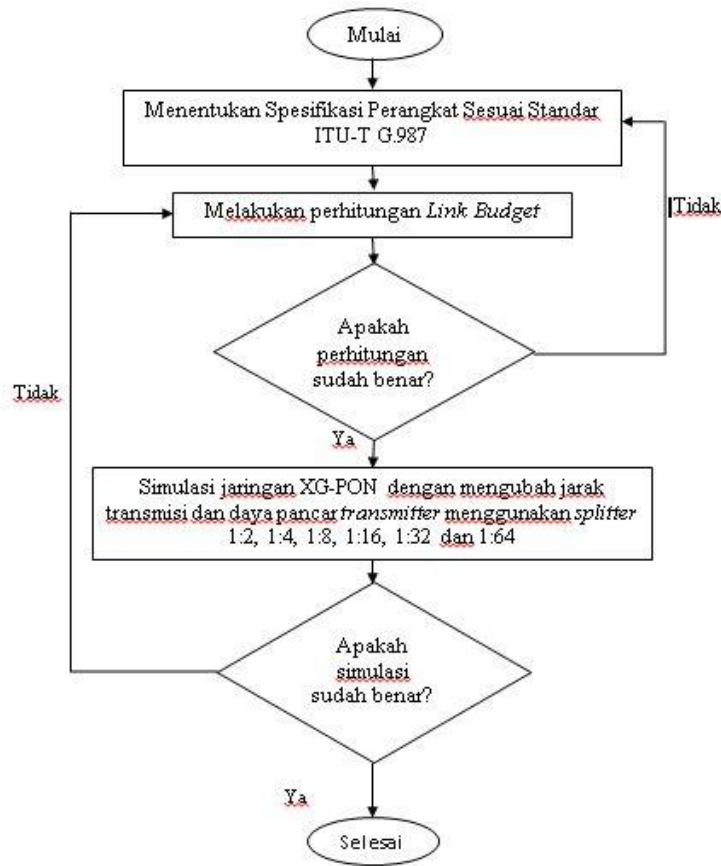
$$Q = \frac{(\mu_1 - \mu_0)}{(\sigma_1 + \sigma_0)} \quad (8)$$

Dimana  $\mu_1$  dan  $\mu_0$  adalah nilai rata-rata dari tegangan atau arus yang terbaca pada *decision circuit*,  $\sigma_1$  dan  $\sigma_0$  adalah standar deviasi dari masing-masing [8][9].

Standar deviasi adalah nilai tengah yang menjadi ukuran kecenderungan simpangan data dari nilai rata-rata sekelompok data yang mengacu pada jumlah entrinya.

### III. Perancangan Jaringan XG-PON

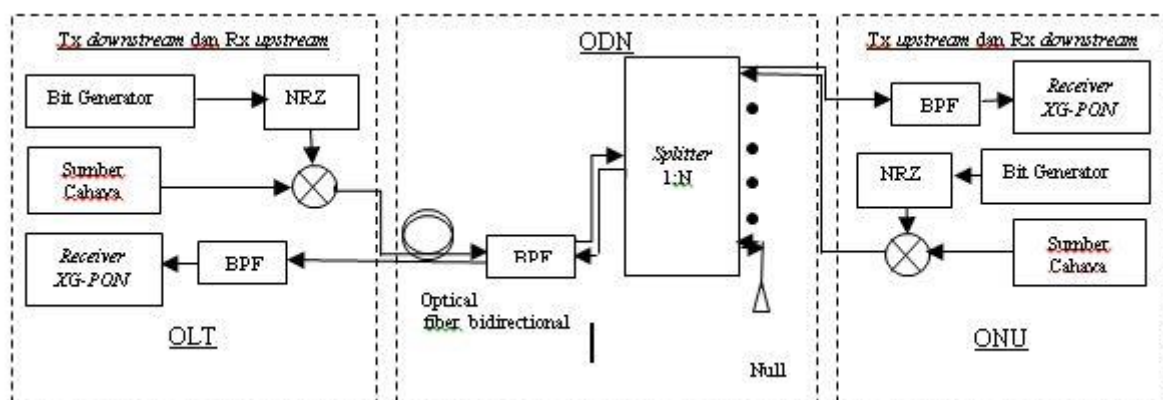
#### A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

#### B. Model Sistem

Pada perancangan sistem yang akan diuji dibentuk diagram model sistem seperti gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 2 Model Sistem

#### IV. Simulasi Jaringan XG-PON Menggunakan *Splitter*

##### A. Jaringan XG-PON Menggunakan *Splitter* 1:64

Performansi untuk jaringan XG-PON menggunakan *splitter* 1:64 menunjukkan bahwa jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi data *upstream* hanya layak pada jarak 20 km dan dapat menggunakan minimal daya *transmitter* sebesar 2 dBm. Sedangkan untuk transmisi data *downstream* jaringan yang layak diimplementasikan adalah jaringan pada jarak 20 km dengan daya *transmitter* minimal sebesar 4 dBm dan minimal daya *transmitter* sebesar 6 dBm untuk transmisi data *downstream* pada jarak 40 km.

##### B. Jaringan XG-PON Menggunakan *Splitter* 1:32

Performansi untuk jaringan XG-PON menggunakan *splitter* 1:32 menunjukkan bahwa jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi data *upstream* pada jarak 20 km dapat menggunakan minimal daya *transmitter* sebesar 2 dBm dan minimal daya *transmitter* sebesar 4 dBm untuk transmisi data *upstream* pada jarak 40 km. Sedangkan untuk transmisi data *downstream* jaringan yang layak diimplementasikan adalah jaringan pada jarak 20 km dengan daya *transmitter* minimal sebesar 4 dBm dan minimal daya *transmitter* sebesar 5 dBm untuk transmisi data *upstream* pada jarak 40 km..

##### C. Jaringan XG-PON Menggunakan *Splitter* 1:16

Performansi untuk jaringan XG-PON menggunakan *splitter* 1:16 menunjukkan bahwa jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi data *upstream* pada jarak 20 km sampai 40 km dapat menggunakan minimal daya *transmitter* sebesar 2 dBm dan minimal daya *transmitter* sebesar 6 dBm untuk transmisi data *upstream* pada jarak 60 km. Sedangkan untuk transmisi data *upstream* pada jarak 80 km tidak layak untuk diimplementasikan. Kemudian untuk transmisi data *downstream* jaringan yang layak diimplementasikan adalah jaringan pada jarak 20 km sampai 40 km dengan daya *transmitter* minimal sebesar 4 dBm.

##### D. Jaringan XG-PON Menggunakan *Splitter* 1:8

Performansi untuk jaringan XG-PON menggunakan *splitter* 1:8 menunjukkan bahwa jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi data *upstream* pada jarak 20 km sampai 40 km dapat menggunakan minimal daya *transmitter* sebesar 2 dBm dan minimal daya *transmitter* sebesar 4 dBm untuk transmisi data *upstream* pada jarak 60 km. Sedangkan untuk transmisi data *upstream* pada jarak 80 km dapat menggunakan minimal daya *transmitter* sebesar 7 dBm. Kemudian untuk transmisi data *downstream* jaringan yang layak diimplementasikan adalah jaringan pada jarak 20 km sampai 60 km dengan daya *transmitter* minimal sebesar 4 dBm.

##### E. Jaringan XG-PON Menggunakan *Splitter* 1:4

Performansi untuk jaringan XG-PON menggunakan *splitter* 1:4 menunjukkan bahwa jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi data *upstream* pada jarak 20 km sampai 60 km dapat menggunakan minimal daya *transmitter* sebesar 2 dBm dan minimal daya *transmitter* sebesar 4 dBm untuk transmisi data *upstream* pada jarak 80 km. Sedangkan untuk transmisi data *downstream* jaringan yang layak diimplementasikan adalah jaringan pada jarak 20 km sampai 60 km dengan daya *transmitter* minimal sebesar 4 dBm.

#### F. Jaringan XG-PON Menggunakan *Splitter* 1:2

Performansi untuk jaringan XG-PON menggunakan *splitter* 1:2 menunjukkan bahwa jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi data *upstream* pada jarak 20 km sampai 80 km dapat menggunakan minimal daya *transmitter* sebesar 2 dBm. Sedangkan untuk transmisi data *downstream* jaringan yang layak diimplementasikan hanya baik pada jarak 40 km sampai 60 km dengan daya *transmitter* minimal sebesar 4 dBm dan daya *transmitter* minimal sebesar 5 dBm untuk jarak 80 km.

#### V. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini menunjukkan performansi XG-PON menggunakan *splitter* 1:2 sampai 1:64 menunjukkan jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi *upstream* jarak 20 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, *splitter* 1:2 sampai 1:16 jarak 40 km menggunakan daya sebesar 2 dBm dan daya 4 dBm untuk *splitter* 1:32. Kemudian jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 sampai 1:4 data *upstream* jarak 60 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, daya 4 dBm untuk *splitter* 1:8 dan daya 6 dBm untuk *splitter* 1:16. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 data *upstream* pada jarak 80 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, daya 4 dBm untuk *splitter* 1:4 dan daya 7 dBm untuk *splitter* 1:8. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk transmisi *downstream* *splitter* 1:4 sampai 1:64 dapat menggunakan daya 4 dBm. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 sampai 1:16 *downstream* jarak 40 km dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm, 5 dBm untuk *splitter* 1:32 dan 6 dBm 1:64 jarak 40 km. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 sampai 1:8 *downstream* dapat menggunakan daya sebesar 2 dBm jarak 60 km. Jaringan yang layak diimplementasikan untuk *splitter* 1:2 *downstream* menggunakan daya sebesar 4 dBm jarak 80 km.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Recommendation ITU-T G.987 (06/2012), 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms.
- [2] B. Zhu et al., *Coexistence of 10G-PON and GPON Reach Extension to 50-km with REntirely Passive Fiber Plant*, Amerika Serikat: Optical Society of America, 2011.
- [3] 14. Keiser, G. *Optical Fiber Communications* (3rd Ed.). Singapore: Mc Graw Hill. 2000.
- [4] Y. Lee et al., "Fast Management of ONUs Based on Broadcast Control Channel for a 10 Gigabit-Capable Passive Optical Network (XG-PON) System," J.Communications and Networks, vol 15.
- [5] SPPS-27-48F-N2-IDFA Data Sheet (xgpon).
- [6] Nana R. Syambas dan Rahadian Farizi, "Performance analysis of 10-Gigabit-capable Passive Optical Network (XGPON) with splitting ratio of 1:64", 2015 9th International Conference on Telecommunication Systems Service and Applications (TSSA).
- [7] Keiser, Gerd. "Optical Fiber Communications" second Edition. : McGRAW-HILL, 1991.
- [8] Telkom Indonesia, PT. 2012. "Modul 1 - Overview Jaringan FTTx". PT. Telkom Indonesia
- [9] Amandeep Kaur, "Performance Analysis of 10G/2.5G Asymmetric XG-PON Transmission using RZ and NRZ Data Formats", 2013 International Journal of Computer Applications.
- [10] G.Menoutis, "A configurable transmitter architecture and organization for XG-PON OLT/ONU/ONT network elements", 2015 IEEE International Conference.