

SIMULASI PERFORMANSI TERHADAP EVOLUSI TEKNOLOGI GPON KE NGPON2 DENGAN MENGACU PADA STANDAR ITU-T

*Simulation of performances on the technology evolution of GPON to NGPON2 by refer to
standard ITU-T*

Muhammad Etfrawan S¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T.², Brian Pamukti, S.T., M.T.³

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

¹ muhammad.etfrawan@gmail.com , ² bphambali@yahoo.com , ³ brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Adanya pembaruan evolusi teknologi GPON ke NGPON2 diharapkan dapat meningkatkan kebutuhan akses yang cepat dengan *bandwidth* 40 Gbps yang diberikan, serta jarak panjang kabel optik dapat dicapai 10-60 km, dan *split ratio* ODN yang diberikan pada NGPON2 secara teknis dapat mencapai maksimal 1:256.

Pada NGPON2 *bitrate* diberikan sebesar 40 Gbps arah *downstream* dan 10 Gbps arah *upstream*, dengan mengganti sistem pada perangkat server yaitu single OLT menjadi stacking 4 OLT. Kedua jaringan GPON maupun NGPON2 bersifat *bidirectional*. Untuk GPON diberikan panjang gelombang 1480 nm untuk arah *downstream* dan 1260 nm untuk arah *upstream*. Untuk NGPON2 diberikan panjang gelombang dengan rentang 1596-1598.4 nm untuk arah *downstream* dan 1524-1526.4 nm untuk arah *upstream*, spasi kanal yang digunakan adalah 0.8 nm. panjang link tiap masing-masing yaitu 10, 20, 30 km dengan daya kirim kedua jaringan sebesar 0 dBm. Kedua jaringan menggunakan 1 *stage passive splitter* dengan ukuran 1:16, 1:32, 1:64, 1:128 *user*.

Berdasarkan hasil uji analisa yang dilakukan berdasarkan acuan ITU-T, terbukti bahwa jaringan NGPON lebih baik dari GPON. Dengan nilai *power link budget* -16,08 dBm serta -29,28 dBm, untuk nilai minimum dari 16 ONU dengan jarak 10 km, serta nilai maksimum dari 128 ONU dengan jarak 30 km. Dan memperoleh nilai margin daya di atas 0. Serta nilai *Q-Factor* berada diatas > 6 untuk semua skenario. Sedangkan pada GPON, terdapat nilai margin daya di bawah < 0 pada kondisi 32 ONU dengan jarak maksimum 30 km. Dan nilai *Q-Factor* di bawah < 6 serta nilai BER di diatas > 10⁻⁹ pada kondisi jarak 30 km pada *split ratio* 128 ONU.

Kata kunci : GPON, NGPON2, *Bandwidth*, *Link Power Budget*, *Q Factor*, BER

Abstract

An evolution of technology updates from GPON to NGPON2 is expected to increase the need for fast access with *bandwidth* of 40 Gbps are given, as well as the length of optical cable can be reached 10-60 km, and *split ODN ratio* given in NGPON2 technically can reach at least 1 : 256.

With 2.5 Gbps *downstream direction's bitrate* and 1.25 Gbps *upstream's direction* for GPON. In NGPON2, the *bitrate* is given 40 Gbps *downstream's direction* and 10 Gbps *upstream's direction*, by replacing the system on the server device from single OLT to stacking 4 OLT. Both GPON and NGPON2 networks are *bidirectional*. For GPON is given 1480 nm *wavelength for downstream's direction* and 1260 nm *direction for upstream's direction*. For NGPON2 is given *wavelengths with range 1596-1598.4 nm for downstream direction* and 1524-1526.4 nm for *upstream direction*, *channel spacing that used* is 0.8 nm. The length of each link is 10, 20, 30 km with the *transmitter's power for both networks* is 0 dBm. Both networks use 1 *stage passive splitter with size 1:16, 1:32, 1:64, 1: 128 user*.

Based on the results of the analysis test conducted based on ITU-T reference, it is proven that NGPON network is better than GPON. With a *power link budget value* of -16.08 dBm and -29.28 dBm, for a minimum value of 16 ONU with distance of 10 km, as well as a maximum value of 128 ONU with a distance of 30 km. And obtain the *power margin value* above 0. And the *Q-Factor value* is above >6 for all scenarios. While in GPON, there is a *power margin value* below <0 on condition 32 ONU with maximum distance 30 km. And the value of *Q-Factor* is below <6 and the value of BER is above >10⁻⁹ at a distance of 30 km and condition at *split ratio* 128 ONU.

Keyword : GPON, NGPON2, *Bandwidth*, *Link Power Budget*, *Q Factor*, BER

1. Pendahuluan

Dalam era teknologi informasi dan komunikasi yang semakin maju ini, Kompetisi dalam dunia telekomunikasi modern seperti sekarang ini sangatlah ketat dan kompetitif seiring dengan kebutuhan user yang menginginkan layanan telekomunikasi dengan *bandwidth* dan kecepatan yang tinggi. Maka diperlukan pembaruan teknologi yang sudah ada dengan teknologi yang baru yang dapat memberikan layanan lebih pada

user. Untuk teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) sendiri sudah banyak diterapkan oleh operator-operator di Indonesia akan tetapi teknologi tersebut dinilai masih kurang dari segi performansi yang diberikan. Dengan adanya evolusi ke teknologi Next Generation Passive Optical Network 2 (NGPON2) diharapkan dapat memenuhi kebutuhan bandwidth yang lebih besar yang diinginkan user di masa mendatang.

Teknologi GPON merupakan teknologi dalam implementasi jaringan FTTH yang sudah mendukung aplikasi *triple play* (suara, data, dan video) pada layanan FTTH yang dilakukan melalui satu core fiber optik per pelanggan, akan tetapi dalam segi performansi *bandwidth* yang diberikan masih kurang untuk masa yang akan datang. Dalam hal tingkat *bandwidth* serta kecepatan data akses, teknologi XGPON adalah evolusi alami untuk jaringan GPON, namun kebutuhan untuk *bandwidth* yang lebih besar akan menyebabkan operator untuk berevolusi langsung ke NGPON2^[1]. Namun, dengan masih diterapkannya teknologi GPON saat ini, menjadi sebab teknologi dan biaya komponen optik akan menjadi faktor penentu^[1].

Pada tugas akhir ini akan dilakukan proses simulasi pada sistem GPON dan NGPON2 yang mengacu pada standar ITU-T dengan *software* simulasi. Arsitektur TWDM-PON telah muncul dalam beberapa tahun terakhir sebagai solusi yang paling diterima oleh operator dan vendor untuk menyediakan *bandwidth* sampai 40 Gbps untuk sistem FTTH^[5]. Dan metode TWDM PON, sekarang merupakan standar sebagai NGPON2 oleh ITU-T, yang diatur untuk menjadi generasi terkemuka PON teknologi^[9]. Dalam simulasi evolusi teknologi GPON ke NGPON2 ini akan diperoleh hasil dari performansi yang diberikan dari teknologi tersebut, berupa *link power budget*, dan q-factor.

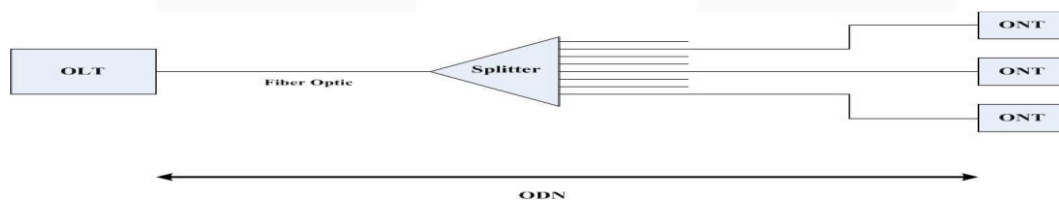
2. Teori

2.1 Prinsip Dasar GPON

Gigabit Passive Optical Network (GPON) merupakan pengembangan dari teknologi PON yang memiliki sistem *point to multipoint*. GPON menggunakan serat optik tunggal dalam pendistribusian *traffic Triple Play*. Sistem *point to multipoint* yang diterapkan dalam GPON dibantu oleh perangkat passive berupa splitter yang dapat mengirimkan ke beberapa ONT. Panjang gelombang operasi yang digunakan untuk *downstream* 1480 – 1500 nm dan panjang gelombang untuk *upstream* 1260 – 1360 nm^[6].

2.2 Komponen GPON

Berikut adalah konfigurasi GPON secara umum:



Gambar 2.2 Konfigurasi umum GPON^[8]

2.3 NGPON2

Persyaratan umum untuk NG-PON2 dalam mendukung setidaknya 40 Gbps kapasitas *downstream* untuk aplikasi perumahan dan komersial, *mobile backhaul* dan aplikasi lainnya. FSAN telah mempertimbangkan beberapa pilihan untuk NG-PON2. Di antara teknologi dipelajari untuk disarankan mendukung kebutuhan *bandwidth* 40 Gbps, ada pilihan berikut: WDM-PON, *coherent ultra-dense* WDM-PON (UDWDM PON), *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) PON, 40 Gbps TDM PON, dan TWDM-PON (TDM / WDM-PON), teknologi TWDM-PON oleh FSAN dianggap menjadi solusi untuk NG-PON2, karena di titik operator dianggap kurang berisiko, kurang mengganggu dan lebih murah dibandingkan dengan solusi lain yang memberikan kontribusi signifikan terhadap besar maju dalam standarisasi NG-PON2. Sistem baru ini akan meningkatkan kapasitas PON di setidaknya 40 Gbps dan menyediakan layanan 1 Gbps atau lebih, dengan platform yang dapat digulirkan pada tahun 2015^[1].

2.4 Syarat Lapisan Fisik NGPON 2

2.4.1 jangkauan kabel optik (pasif dan aktif)

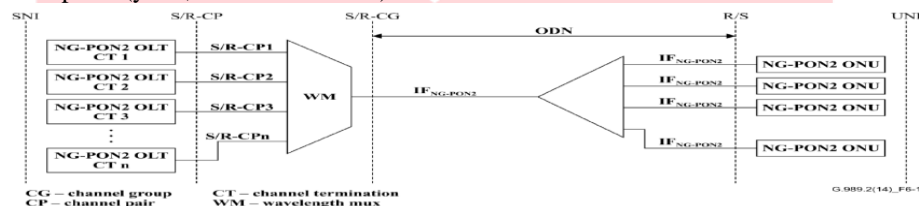
sistem NG-PON2 harus mendukung jangkauan kabel optik setidaknya 40 km tanpa pertengahan rentang jangkauan. sistem NG-PON2 juga perlu mendukung jarak kabel optik diferensial maksimal hingga 40 km, dengan dikonfigurasi maksimum jarak fiber diferensial 20 km dan 40 km. sistem NG-PON2 juga harus kompatibel dengan infrastruktur yang sudah diimplementasikan (lokasi CO, saluran, kabel serat, dll). sistem NG-PON2 juga harus mampu mencapai 60 km dengan pertengahan jangkauan jika diperlukan^[3].

2.4.2 rasio splitter (ONU per ODN)

jaringan distribusi kabel optik memanfaatkan *splitter* daya yang biasanya digunakan saat ini dengan rasio split di kisaran 1:16 sampai 1: 128. Sistem NG-PON2 harus cukup fleksibel untuk mendukung penyebaran hemat biaya melalui berbagai ODN. NG-PON2 harus mendukung *splitter* minimal 1: 256. pilihan aplikasi dan rekayasa jaringan tertentu mungkin memerlukan rasio *splitter* yang lebih tinggi; Oleh karena itu, desain inti OLT pada NG-PON2 seharusnya tidak menghalangi untuk mendukung rasio *splitter* yang lebih tinggi.

2.5 Arsitektur jaringan akses optik NGPON2

Gambar 2.5 merupakan referensi arsitektur logis untuk multi-panjang gelombang sistem NG-PON2. Sebuah multi-sistem OAN arsitektur untuk NG-PON2 hidup berdampingan dengan sistem teknologi terdahulu. Selama hidup berdampingan, teknik mitigasi mungkin diperlukan untuk menghindari gangguan antar-sistem. Arsitektur ini memungkinkan kedua konektivitas point-to-multipoint (yaitu, TWDM PON) dan virtual konektivitas point-to-point (yaitu, PTP WDM PON) [4].



Gambar 2.5 Arsitektur NGPON2 [4]

2.6 Parameter Kelayakan Perancangan

2.6.1 Link Power Budget (LPB)

Untuk menghitung *link power budget* dapat dihitung dengan rumus [11]:

$$atot = L.akabel + ncon.acon + nssplice.asplice + asplitter$$

$$Prx = Ptx - atot - SM$$

Bentuk persamaan untuk perhitungan margin daya adalah :

$$M = (Ptx - Prx) - atot - SM$$

Keterangan :

Ptx = Daya keluaran sumber optik (dBm)

Prx = Sensitivitas daya maksimum detektor (dBm)

SM = *Safety margin*, berkisar 6-8 Db

a tot = Redaman total sistem (dB)

L = Panjang serat optik (Km)

a c = Redaman konektor (dB/buah)

a s = Redaman sambungan (dB/sambungan)

a serat = Redaman serat optik (dB/Km)

Ns = Jumlah sambungan

Nc = Jumlah konektor

Sp = Redaman *Splitter* (dB)

2.6.2 Rise Time Budget (RTB)

Untuk menghitung Rise Time budget dapat dihitung dengan rumus [12]:

$$t_{system} = (ttx^2 + tmaterial^2 + tintermodal^2 + trx^2)^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan :

ttx = *Rise time transmitter* (ns)

trx = *Rise time receiver* (ns)

tintermodal = bernilai nol (untuk serat optik single mode)

tintramodal = $\Delta\sigma \times L \times Dm$

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

L = Panjang serat optik (Km)

Dm = Dispersi Material (ps/nm.Km)

2.7 Parameter Performansi Sistem

2.7.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal terhadap daya noise pada satu titik yang sama. Semakin besar nilai SNR maka sistem akan menandakan sistem tersebut bekerja dengan baik. [11]

SNR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SNR = \frac{\text{Signal power}}{\text{shot noise+thermal noise}}$$

$$SNR = \frac{(PRxRM)^2}{2qPRxRM^2 F(M)Be + \frac{4KBTB_e}{R_L}}$$

dengan persamaan F(M) (Noise Figure) = $kM + (2 - \frac{1}{M})(1 - k)$

Dimana, PRx adalah Daya yang diterima APD (watt), R adalah Responsivity (A/W), M adalah Avalanche Photodiode Gain, q adalah Electron Charge (1.69×10^{-19} C), F(M) adalah Noise Figure, Be adalah Receiver Electrical Bandwidth (Hz), KB adalah konstanta Boltzmann's (1.38×10^{-23} J/K), T adalah suhu ruangan (300 K), dan R adalah Resistansi (Ω)^[11]

2.7.2 Q Factor

Q Factor adalah faktor kualitas yang menentukan baik atau tidaknya kualitas suatu link TWDM. Minimal ukuran Q Factor yang baik dalam komunikasi serat optik adalah 6 atau 10-9 dalam Bit Error Rate (BER). Nilai Q Factor didapat dari persamaan berikut ini ^[11]:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 - \sigma_0} \text{ atau, } Q \text{ factor} = \frac{\frac{SNR}{10}}{2}$$

Keterangan :

- μ_1 = Level bit '1'
- μ_0 = Level bit '0'
- σ_1 = Standar Deviasi bit '1'
- σ_0 = Standar Deviasi bit '0'

2.7.3 Bit Error Rate (BER)

BER merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital. Dimana BER dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut ^[12]:

$$(S/N) = 20 \text{ Log } 2Q$$

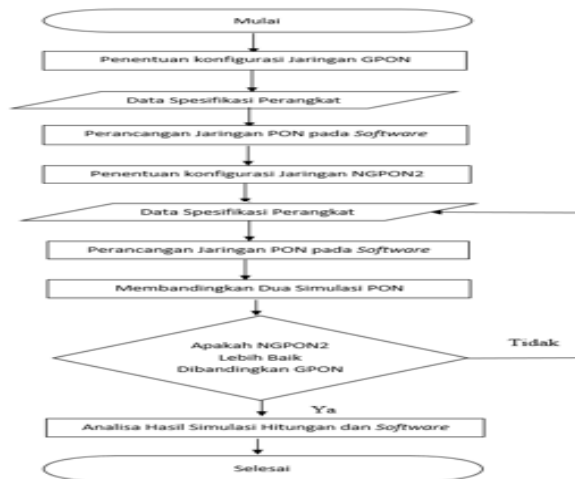
Sehingga diperoleh nilai pendekatan:

$$\text{❖ BER} = P e(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q}, \text{ atau } \text{BER} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times Q} e^{-\frac{Q^2}{2}}$$

Dimana,

Q = Quantum noise dan Pe = Probability Error

3. Perencanaan simulasi GPON dan NGPON2



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.1 Model Sistem GPON dan NGPON2

Diagram blok sistem pada jaringan GPON ini terbagi menjadi tiga kelompok blok yaitu blok pengirim, blok transmisi dan blok penerima. Blok pengirim terdiri dari Optical Source yaitu *Light Amplification Stimulated Emission of Radiation (LASER)* , *Bit Sequence Generator* yaitu *Pseudo Random Bit Sequence Generator (PRBS)* , *Optical Pulse Generator* yaitu *Non Return to Zero (NRZ)*, dan *Optical Modulator* yaitu *Mach-zehnder Modulator (MZM)*. Sedangkan untuk diagram blok sistem pada jaringan NGPON2, juga terbagi menjadi tiga kelompok blok yaitu blok pengirim, blok transmisi dan blok penerima. Blok pengirim terdiri dari

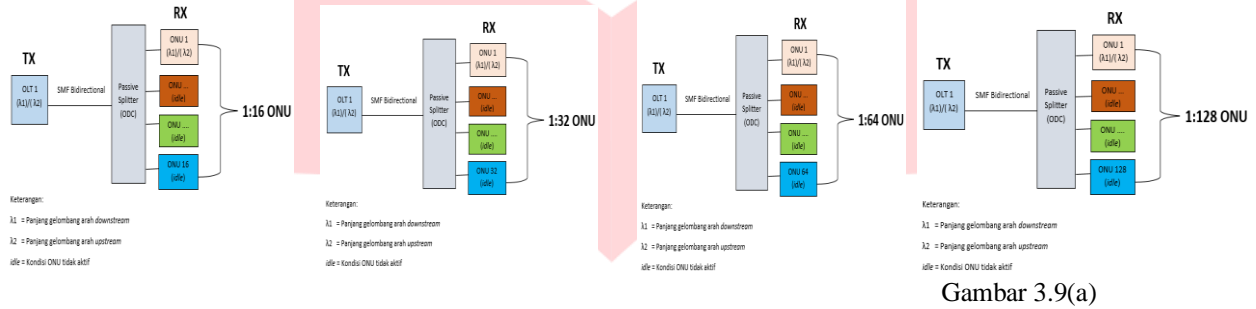
Optical Source yaitu *Light Amplification Stimulated Emission of Radiation (LASER)* , *Bit Sequence Generator* yaitu *Pseudo Random Bit Sequence Generator (PRBS)* , *Optical Pulse Generator* yaitu *Non Return to Zero (NRZ)*, *Optical Modulator* yaitu *Mach-zehnder Modulator (MZM)* dan *Optical Multiplexer* yaitu *Array Wave Guide (AWG)*.

3.2 Skenario Penelitian

Pada Tugas Akhir ini perancangan dilakukan menggunakan 4 skenario yang dibagi berdasarkan jumlah ONU yang ditentukan dengan *split ratio passive splitter* 1:16 ; 1:32 ; 1:64 ; 1:128 dengan 3 kasus panjang link yang berbeda yaitu 10 km ; 20 km ; 30 km untuk tiap masing-masing sistem jaringan GPON maupun NGPON2.

3.2.1 Model Skenario GPON

Untuk model Skenario GPON pada Tugas Akhir ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.6(a) Gambar 3.7(a) Gambar 3.8(a) dan Gambar 3.9(a)



Gambar 3.6(a)

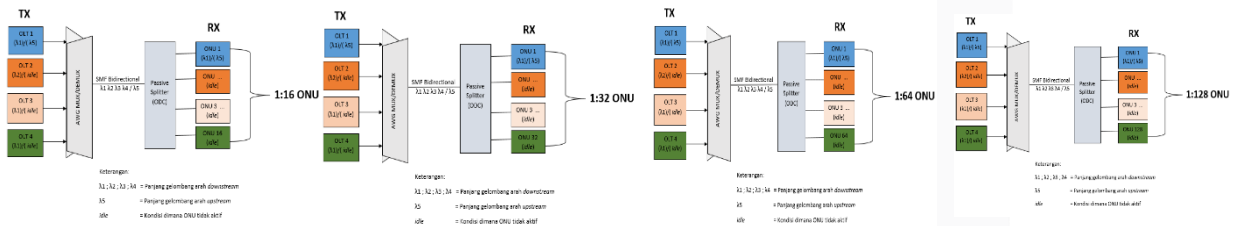
Gambar 3.7(a)

Gambar 3.8(a)

Gambar 3.9(a)

3.2.2 Model Skenario NGPON2

Untuk model Skenario NGPON2 pada Tugas Akhir ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.6(b) Gambar 3.7(b) Gambar 3.8(b) dan Gambar 3.9(b)



Gambar 3.6(b)

Gambar 3.7(b)

Gambar 3.8(b)

Gambar 3.9(b)

4. Analisa Hasil Simulasi

4.1 Skenario 1 (GPON 16 ONU & NGPON2 16 ONU)

Dalam sebuah skenario 1 ini merupakan jaringan GPON dan NGPON2 yang terdiri dari 1 *stage passive splitter* yaitu *passive splitter* yang memiliki *split ratio* 1:16 dengan total redaman *passive splitter* yang dihasilkan sebesar 12 dB. Untuk nilai redaman *passive splitter* ini tergolong kecil sehingga cukup dibutuhkan daya kirim yang kecil untuk mentransmisikan informasi secara *downstream* maupun *upstream*. Perhitungan *loss atot* serta daya terima PRx atau *power link budget* telah dilakukan pada proses perencanaan jaringan GPON dan NGPON2

Tabel 4.8 Skenario 1 GPON

Panjang (km)	Arah	Skenario 1 GPON (16 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	107,155	0	(-)22,1
	Upstream	106,548	0	
20 km	Downstream	68,009	0	(-)24,2
	Upstream	67,5882	0	
30 km	Downstream	42,7394	0	(-)26,3
	Upstream	42,5352	0	

Tabel 4.9 Skenario 1 NGPON2

Panjang (km)	Arah	Skenario 1 NGPON2 (16 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	218,207	0	(-)16,08
	Upstream	217,671	0	
20 km	Downstream	140,907	0	(-)18,18
	Upstream	140,779	0	
30 km	Downstream	87,1511	0	(-)20,28
	Upstream	89,7296	0	

4.2 Skenario 2 (GPON 32 ONU & NGPON2 32 ONU)

Skenario 2 merupakan jaringan GPON dan NGPON2 yang masih sama dengan skenario 1 dengan terdiri dari 1 *stage passive splitter*. Untuk *passive splitter* pada skenario 2 dengan *split ratio* 1:32. Dengan total redaman *passive splitter* yang dihasilkan sebesar 15 dB. Redaman *passive splitter* pada skenario 2 ini mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan skenario 1 dikarenakan jumlah *splitter* yang digunakan lebih besar. Akan tetapi tetap menggunakan power pada LASER yang sama seperti pada skenario 1 yaitu 0 dBm.

Tabel 4.10 Skenario 2 GPON

Panjang (km)	Arah	Skenario 2 GPON (32 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	55,6145	0	(-)25,1
	Upstream	55,3028	0	
20 km	Downstream	34,832	$3,85 \times 10^{-266}$	(-)27,2
	Upstream	34,6658	$1,28 \times 10^{-263}$	
30 km	Downstream	21,6929	$1,19 \times 10^{-104}$	(-)29,3
	Upstream	21,6076	$7,61 \times 10^{-104}$	

Tabel 4.11 Skenario 2 NGPON2

Panjang (km)	Arah	Skenario 2 NGPON2 (32 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	113,098	0	(-)19,08
	Upstream	112,818	0	
20 km	Downstream	72,2496	0	(-)21,18
	Upstream	72,0111	0	
30 km	Downstream	44,1803	0	(-)23,28
	Upstream	45,6142	0	

4.3 Skenario 3 (GPON 64 ONU & NGPON2 64 ONU)

Pada tahap skenario 3 untuk blok diagram jaringan GPON dan NGPON2 masih sama dengan skenario 1 dan skenario 2 dengan terdiri dari 1 *stage passive splitter* untuk *passive splitter* yang digunakan di skenario 3 dengan *split ratio* 1:64. Dengan total redaman *passive splitter* yang dihasilkan sebesar 18 dB. Redaman *passive splitter* pada skenario 3 ini mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan skenario 1 dan skenario 2 dikarenakan jumlah *splitter* yang digunakan lebih besar. Akan tetapi tetap menggunakan power pada LASER dengan nilai yang sama seperti pada skenario 1 dan skenario 2 yaitu 0 dBm. 19.202 dBm, dan PRx pada OLT 1 NGPON2 didapatkan nilai sebesar -25.207 dBm, pada jarak panjang *link* 10 km.

Tabel 4.12 Skenario 3 GPON

Panjang (km)	Arah	Skenario 3 GPON (64 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	28,3763	$2,32 \times 10^{-177}$	(-)28,1
	Upstream	28,239	$5,65 \times 10^{-176}$	
20 km	Downstream	17,6403	$6,04 \times 10^{-70}$	(-)30,2
	Upstream	17,5681	$2,42 \times 10^{-69}$	
30 km	Downstream	10,9323	$3,95 \times 10^{-28}$	(-)32,3
	Upstream	10,891	$6,33 \times 10^{-28}$	

Tabel 4.13 Skenario 3 NGPON2

Panjang (km)	Arah	Skenario 3 NGPON2 (64 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	57,6282	0	(-)22,08
	Upstream	57,5287	0	
20 km	Downstream	36,5117	$1,59 \times 10^{-292}$	(-)24,18
	Upstream	36,4885	$3,63 \times 10^{-292}$	
30 km	Downstream	22,266	$1,71 \times 10^{-110}$	(-)26,28
	Upstream	22,9609	$1,06 \times 10^{-116}$	

4.4 Skenario 4 (GPON 128 ONU & NGPON2 128 ONU)

Pada tahap terakhir skenario 4 untuk blok diagram jaringan GPON dan NGPON2 masih sama dengan skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 dengan terdiri dari 1 *stage passive splitter* untuk *passive splitter* yang digunakan di skenario 4 ini dengan *split ratio* 1:128. Dengan total redaman *passive splitter* yang dihasilkan sebesar 21 dB. Redaman *passive splitter* pada skenario 4 ini mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan skenario 1, skenario 2, dan skenario 3, dikarenakan jumlah *splitter* yang digunakan jauh lebih besar. Akan tetapi tetap menggunakan power pada LASER dengan nilai yang sama seperti pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 yaitu 0 dBm.

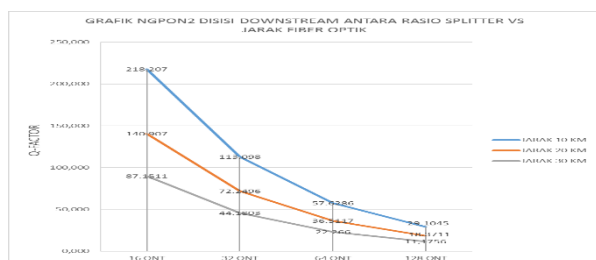
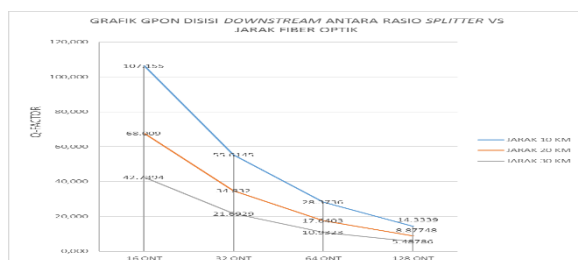
Tabel 4.14 Skenario 4 GPON

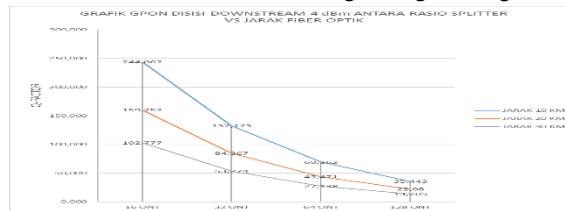
Panjang (km)	Arah	Skenario 4 GPON (128 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	14,3339	$6,68 \times 10^{-47}$	(-)31,1
	Upstream	14,2748	$1,56 \times 10^{-46}$	
20 km	Downstream	8,87748	$3,41 \times 10^{-19}$	(-)33,2
	Upstream	8,8421	$4,65 \times 10^{-19}$	
30 km	Downstream	5,48786	$2,03 \times 10^{-8}$	(-)35,3
	Upstream	5,46781	$2,26 \times 10^{-8}$	

Tabel 4.15 Skenario 4 NGPON2

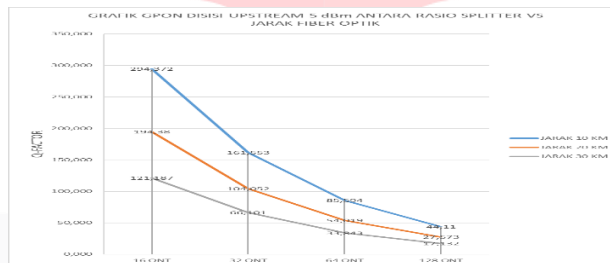
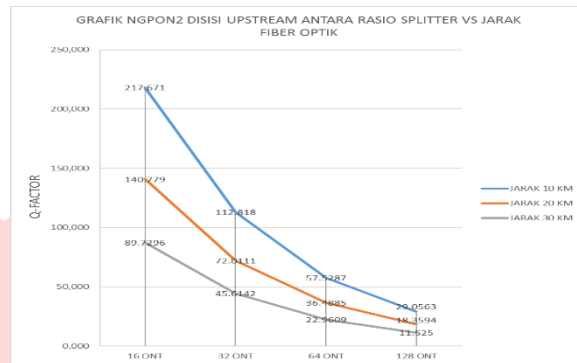
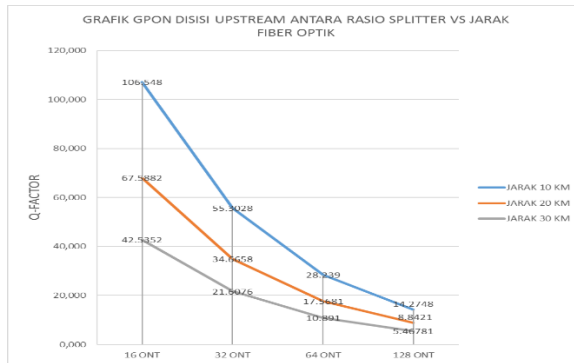
Panjang (km)	Arah	Skenario 4 NGPON2 (128 ONU)		
		Q-Factor	BER	Power Link Budget (dBm)
10 km	Downstream	29,1045	$5,81 \times 10^{-187}$	(-)25,08
	Upstream	29,0563	$5,33 \times 10^{-186}$	
20 km	Downstream	18,3711	$1,11 \times 10^{-75}$	(-)27,18
	Upstream	18,3594	$1,38 \times 10^{-75}$	
30 km	Downstream	11,1756	$2,68 \times 10^{-29}$	(-)29,28
	Upstream	11,525	$4,93 \times 10^{-31}$	

4.5 Hasil Grafik Downstream Pada GPON & NGPON2





4.6 Hasil Grafik *Upstream* Pada GPON & NGPON2



5. Penutup

5.1 Kesimpulan

1. Jaringan NGPON2 dapat memberikan peningkatan *bitrate* transmisi sebesar 40/10 Gbps, dibandingkan GPON yang hanya mampu memberikan *bitrate* sebesar 2.5/1.25 Gbps.
2. Pada uji simulasi skenario 1 dengan Panjang *link* minimum adalah 10 km lalu ada panjang 20 km serta jarak terjauh 30 km untuk jaringan GPON dan NGPON2 dengan daya kirim pada LASER untuk kedua jaringan sebesar 0 dBm. menunjukkan bahwa pada jaringan GPON dan NGPON2 masih memenuhi kelayakan performansi sebuah jaringan berdasarkan standar ITU-T G.984.2 dan ITU-T G.989.2.
3. Pada uji simulasi skenario 2 dengan Panjang *link* minimum adalah 10 km lalu ada panjang 20 km serta jarak terjauh 30 km untuk jaringan GPON dan NGPON2 dengan daya kirim pada LASER untuk kedua jaringan sebesar 0 dBm. Juga masih menunjukkan bahwa pada jaringan GPON dan NGPON2 masih memenuhi kelayakan performansi sebuah jaringan berdasarkan standar ITU-T G.984.2 dan ITU-T G.989.2.
4. Pada uji simulasi skenario 3 dengan Panjang *link* minimum adalah 10 km lalu ada panjang 20 km serta jarak terjauh 30 km untuk jaringan GPON dan NGPON2 dengan daya kirim pada LASER untuk kedua jaringan sebesar 0 dBm. Masih tetap menunjukkan bahwa pada jaringan GPON dan NGPON2 masih memenuhi kelayakan performansi sebuah jaringan sama dengan skenario 1 dan 2, berdasarkan standar ITU-T G.984.2 dan ITU-T G.989.2.
5. Akan tetapi pada kasus untuk skenario 4 dengan Panjang *link* dan daya kirim yang sama seperti skenario 1,2, dan 3. Terlihat bahwa pada kasus jaringan GPON di panjang *link* fiber optik sejauh 30 km dengan 128 ONU di arah *downstream* maupun *upstream* menunjukkan tidak layak sebuah sistem jaringan dengan nilai Q-Factor dibawah <6, serta nilai BER diatas >10⁻⁹ berdasarkan standar ITU-T G.984.2. Akan tetapi saat dilakukan analisa tambahan dengan menaikkan *power* atau daya pada laser di sisi *downstream* maupun *upstream* sebesar max 4 dBm, serta 5 dBm, sistem menunjukkan kelayakan sebuah jaringan dengan nilai Q-factor diatas 6 sesuai standar ITU-T G.984.2. Sedangkan untuk jaringan NGPON2 di kasus yang sama masih menunjukkan kelayakan sebuah sistem jaringan.

5.2 Saran

1. Melakukan uji performansi kelayakan sistem pada GPON dan NGPON2 dengan percobaan menggunakan two stage splitter pada masing-masing blok jaringan.
2. Melakukan uji performansi pada generasi selanjutnya antara XGPON dengan NGPON2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Altice Labs. “*Evolution of FTTH Networks for NG-PON2*”[Paper].Portugal,2013.
- [2] HUAWEI TECHNOLOGIES, GPON & FTTH Fundamental, Basic O&M, Malaysia Global Training Center, Cyberjaya Selangor Darul Ehsan, 2013.
- [3] ITU-T Recommendation G.989.1 (2013), 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements.
- [4] ITU-T Recommendation G.989.2 (2014), 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG- PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification.
- [5] Juan Camilo Velasquez Micolta. “*Analysis of performance and tolerances of the second generation passive optical network (NG-PON2) for FTTH systems*”[Thesis].Spain,2014.
- [6] Mutaharrik, Muhammad Ihsan, “PERANCANGAN JARINGAN FIBER TO THE HOME (FTTH) MENGGUNAKAN TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON) DI CENTRAL KARAWACI”, TELKOM UNIVERSITY, Bandung, 2015.
- [7] Muttaqien, Rizky Mauludy. “Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) Menggunakan Teknologi 10-Gigabit passive optical network (XGPON) Untuk Perumahan Graha Yasa Asri dengan Ducting Bersama”, Telkom University, Bandung, 2016.
- [8] Prastiwi, Ignatia Gita Dewi. “Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) dengan Teknologi Gigabit passive optical network (GPON) di Private Village Cikoneng”, Telkom University, Bandung, 2015.
- [9] Robert Murano. “*Optical Component Technology Options for NGPON2 Systems*”[Paper]. Fujian, 350014, China,2014
- [10] Sari, Velessitas Mega Puspita, “PERANCANGAN JARINGAN AKSES FIBER TO THE HOME (FTTH) DENGAN TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON) DI WILAYAH PERMATA BUAH BATU 1 DAN II”, TELKOM UNIVERSITY, Bandung, 2015.
- [11] Sirait, Meilki Riyanto Darwaman. “Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) Menggunakan Teknologi 10-Gigabit passive optical network (XGPON) Untuk Perumahan Puri Pamulang dengan Ducting Bersama”, Telkom University, Bandung, 2016.
- [12] Yulizar, Nur Rizki. “Analisis Perancangan Teknologi Hybrid GPON dan XGPON pada jaringan FTTH di perumahan BatuNunggal”, Telkom University, Bandung, 2015.
- [13] “*Understanding Passive Optical Network Testing*,” JDS Uniphase Corporation, 2010. [Online]. Available: www.jdsu.com/fttx. [Accessed 31 October 2016].
- [14] ITU-T Recommendation G.984.2 (2003), Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification.