

ANALISIS TEKNOLOGI GPON DAN XGS-PON PADA PERANCANGAN JARINGAN AKSES FIBER TO THE HOME PERUMAHAN TAMAN ANGGREK GRAHA PADMA

Eric Yosua Kusumawijaya ^{*)}, Imam Santoso dan Ajub Ajulian Zahra

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: ericyosua98@gmail.com@yahoo.co.id

Abstrak

Kebutuhan layanan jaringan internet akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan beragam layanan data seperti Triple Play. PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. menggunakan teknologi *Gigabit-capable Passive Optical Network* (GPON) pada infrastruktur jaringan fiber optik dan berencana untuk menerapkan teknologi *10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network* (XGS-PON) untuk meningkatkan kualitas layanan internet. Berdasarkan rekomendasi ITU-T G.984, GPON memiliki laju *downstream* sebesar 2,5 Gbps dan *upstream* sebesar 1,25 Gbps sedangkan berdasarkan rekomendasi ITU-T 9807, XGS-PON memiliki laju *downstream* dan *upstream* sebesar 10 Gbps. Simulasi pada hasil perancangan jaringan *Fiber-To-The-Home* (FTTH) bertujuan untuk memastikan kelayakan hasil rancangan dengan standar yang ada. Simulasi dilakukan menggunakan Optisystem 7.0 dengan parameter yang diuji berupa *link power budget*, *Q-factor*, BER, dan *rise time budget* yang disesuaikan dengan rekomendasi ITU-T dan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Hasil simulasi untuk jarak ONT terjauh GPON menunjukkan nilai *link power budget* pada arah *downstream* dan *upstream* sebesar 21,83 dB dan 21,94 dB, sedangkan XGS-PON sebesar 22,04 dB dan 21,98 dB. Seluruh hasil simulasi untuk teknologi GPON dan XGS-PON telah memenuhi standar yang digunakan dan layak untuk diimplementasikan.

Kata Kunci: FTTH, GPON, XGS-PON, Optisystem, link power budget, Q-factor, BER, rise time budget.

Abstract

Internet network services needs will continue to increase along with the population and demand for various data services such as Triple Play. PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. uses Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON) technology in current fiber optic network infrastructure and plans to implement 10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network (XGS-PON) technology to improve the quality of internet services. Based on ITU-T G.984 recommendations, GPON has a downstream rate of 2.5 Gbps and upstream of 1.25 Gbps while based on ITU-T 9807 recommendations, XGS-PON has a downstream and upstream rate of 10 Gbps. The simulation on the results of Fiber-to-The-Home (FTTH) network design aims to ensure the feasibility of the design output with the existing standards. The simulation is done using Optisystem 7.0 with the parameters tested in the form of a link power budget, Q-factor, BER, and rise time budget adjusted to ITU-T recommendations and PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. standard. The simulation results for the farthest ONT distance of GPON show the value of the link power budget in the downstream and upstream direction are 21.83 dB and 21.94 dB, while the XGS-PON are 21.04 dB and 21.98 dB. All simulation results for GPON and XGS-PON technology meet the standards used and are feasible to be implemented.

Keyword: FTTH, GPON, XGS-PON, Optisystem, link power budget, Q-factor, BER, rise time budget.

1. Pendahuluan

Saat ini hampir seluruh aspek kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dari internet mulai dunia bisnis, pendidikan, hingga hiburan. Permintaan masyarakat dalam layanan telekomunikasi yang mencakup suara, data dan video (*triple play*) semakin meningkat setiap tahunnya. Dalam rangka memenuhi kebutuhan pasar tersebut banyak penyelenggara jasa telekomunikasi secara bertahap terus

membangun infrastruktur jaringan *Fiber-To-The-Home* (FTTH) secara bertahap. Peningkatan kapasitas, perbaikan layanan dan juga kualitas jaringan terus dilakukan dengan mengikuti peningkatan kebutuhan pelanggan dan adaptasi teknologi baru.

Berdasarkan *Cisco Annual Internet Report, 2018-2023*, laju transmisi *broadband* berkabel secara global akan meningkat 23% setiap tahun, dimulai dari tahun 2018

dengan nilai 45.9 Mbps hingga mencapai nilai 110.4 Mbps pada tahun 2023 [1]. Perusahaan layanan telekomunikasi harus terus meningkatkan kualitas layanan agar dapat memenuhi kebutuhan layanan internet pada masa sekarang dan beberapa tahun mendatang. Salah satu investasi yang dapat dipertimbangkan demi memenuhi kebutuhan tersebut adalah penggunaan teknologi *10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network* (XGS-PON) yang dapat menggantikan penggunaan *Gigabit-capable Passive Optical Network* (GPON) yang digunakan oleh perusahaan layanan telekomunikasi di Indonesia saat ini.

Salah satu penyelenggara internet yang menawarkan layanan FTTH di Indonesia saat ini dengan teknologi GPON adalah PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Sesuai dengan standar ITU-T G.984.x [2]-[5] teknologi GPON menawarkan kecepatan layanan sebesar 2,4 Gbps untuk *downstream* dan 1,2 Gbps untuk *upstream*. Sedangkan teknologi XGS-PON yang merupakan penerus GPON mampu menawarkan kecepatan layanan sebesar 10 Gbps untuk *downstream* dan *upstream*. Standard yang mengatur mengenai XGS-PON didasarkan pada G.9807.x [6]-[8].

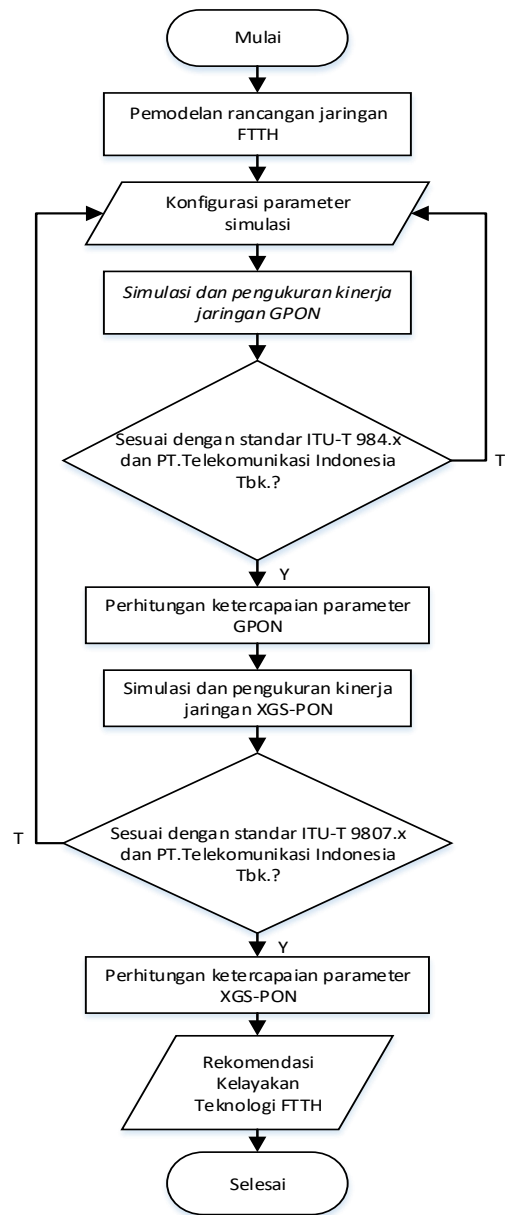
Penelitian ini berfokus pada pemodelan dan simulasi dari hasil perancangan jaringan akses FTTH pada Perumahan Taman Anggrek Graha Padma [9] menggunakan teknologi GPON dan XGS-PON. Rancangan akan disimulasikan menggunakan software Optisystem 7.0. Pamameter yang digunakan untuk menentukan kelayakan dan kualitas jaringan FTTH meliputi *link power budget*, *Q-factor*, Bit Error Rate (BER), dan *rise time budget* berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh PT.Telekomunikasi Indonesia Tbk [10],[11], dan rekomendasi ITU-T [2]-[8].

2. Metode

2.1. Pemodelan Jaringan

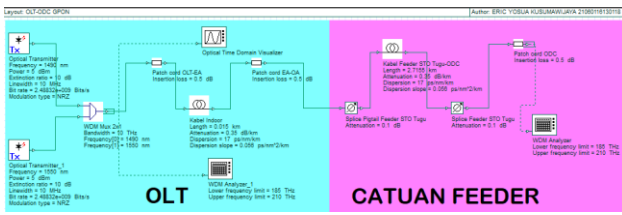
Pembuatan simulasi pada tugas akhir ini berdasarkan hasil perancangan jaringan FTTH Perumahan Taman Anggrek Graha Padma [9]. Simulasi jaringan akan dilakukan dengan *software* Optisystem 7.0. Terdapat dua teknologi yang akan disimulasikan, yaitu GPON dan XGS-PON. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui kelayakan hasil perancangan jaringan FTTH dengan teknologi GPON yang sudah digunakan sekarang dan teknologi XGS-PON yang akan datang.

Parameter-parameter yang digunakan untuk pengukuran kinerja jaringan yaitu, *link power budget*, *Q-factor*, BER, dan *rise time budget* dengan standar acuan yang digunakan adalah milik PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. dan ITU-T. Nilai parameter yang tidak diperoleh saat pengumpulan data lapangan akan disesuaikan dengan standar/nilai bawaan yang digunakan dalam *software* Optisystem 7.0. Diagram alir perancangan simulasi secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

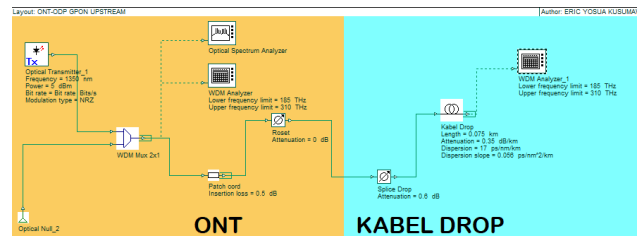


Gambar 1. Diagram Alir Simulasi

Pemodelan rancangan jaringan FTTH pada simulasi ini dilakukan dengan dua teknologi yang berbeda yaitu teknologi GPON dan XGS-PON pada arah *downstream* dan *upstream* dengan membagi jaringan ke dalam tiga segmen untuk memperoleh hasil yang optimal, yaitu segmen OLT-ODC, ODC-ODP, ODP-ONT. Simulasi teknologi GPON dan XGS-PON pada dasarnya memiliki arsitektur jaringan yang sama dengan nilai parameter yang berbeda.



a. Downstream



b. Upstream

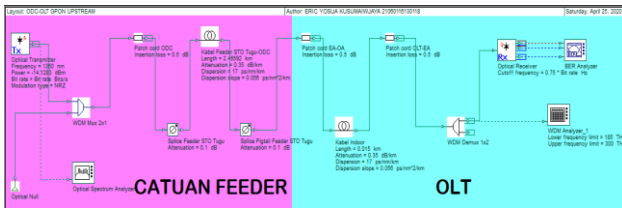
Gambar 4. Pemodelan simulasi jaringan ODP-ONT

2.2. Konfigurasi Parameter Simulasi

2.2.1. GPON

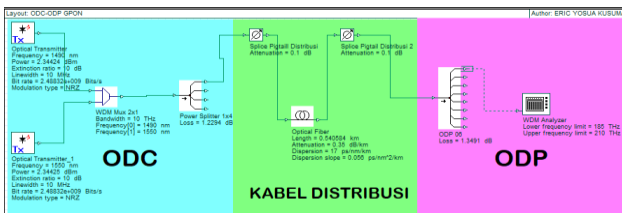
Tabel 1. Konfigurasi perangkat simulasi GPON.

Perangkat	Komponen	Parameter	Nilai		
OLT	Optical Transmitter	Frequency	Data dan Suara=1490 nm Video = 1550 nm		
		Power	5 dBm		
		Extinction ratio	10 dB		
		Reference bit rate	2,48832 Gbps		
		Modulation type	NRZ		
		Transmitter type	EML		
		Optical Receiver	Frequency	1350 nm	
			Bandwidth	10 Thz	
			WDM Multiplexer	Insertion loss	0 dB
				Depth	100 dB
				Filter type	Bessel
		Filter order	2		
		WDM Demultiplexer	Frequency (0)	1490 nm	
			Frequency (1)	1550 nm	
			Frequency (0)	1350 nm	
Connector	Insertion loss	OLT-EA	0,5 dB		
		EA-OA	0,5 dB		
ODC	Splitter 1x4	Insertion loss	6,0206+1,22994 dB		
		Insertion loss	0,5 dB		
ODP	Splitter 1x8	Insertion loss	9,45 + 1,3491 dB		
		Photodetector	PIN		
ONT	Optical Receiver	Gain	3		
		Responsivity	1 AW		
		Dark current	10 nA		
		Insertion loss	0 dB		
		Reference bit rate	2,48832 Gbps		
		Reference bit rate	1,24416 Gbps		
		Optical Transmitter	WDM Demultiplexer	Bandwidth	10 Thz
				Insertion loss	0 dB
				Depth	100 dB
				Filter type	Bessel
Filter order	2				
WDM Multiplexer	Connector	Frequency (0)	1490 nm		
		Frequency (1)	1550 nm		
		Frequency (0)	1350 nm		
Attenuator	Insertion loss	0,5 dB			
		Splice drop (OTP)	0,6 dB		
Optical Fiber	Optical Fiber	Roset	0 dB		
		Reference wavelength	1550 nm		
		Attenuation	0,35 dB/km		
		Dispersion	17 ps/nm/km		
		Dispersion slope	0,056 ps/nm ² /km		
		PMD coefficient	0,2 ps/√km		

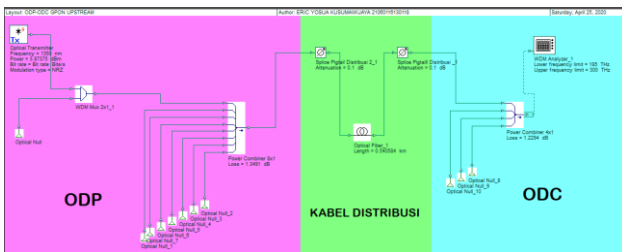


b. Upstream

Gambar 2. Pemodelan simulasi jaringan OLT-ODC

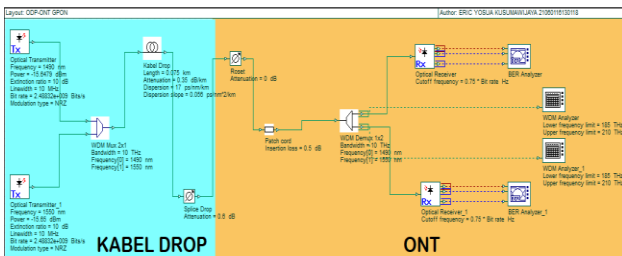


a. Downstream



b. Upstream

Gambar 3. Pemodelan simulasi jaringan ODC-ODP



a. Downstream

Perancangan jaringan FTTH dengan teknologi GPON mengacu pada standar ITU-T G.984.x [2]-[5]. Berdasarkan ITU-T G.984.2, *bit rate* untuk *downstream* pada GPON adalah 2,48832 Gbps dan 1,24416 Gbps untuk *upstream*. Kabel fiber optik yang digunakan menggunakan standar ITU-T G.652.D [12] dan ITU-T G.657.A1 [13]. Panjang kabel fiber optic menyesuaikan hasil perancangan [9].

2.2.2. XGS-PON

Perancangan jaringan FTTH dengan teknologi XGS-PON mengacu pada standar ITU-T G.9807.x [6]-[8] dengan *bit rate* untuk *downstream* dan *upstream* adalah 9,95328 Gbps. Fiber optik yang digunakan sama dengan GPON.

Tabel 2. Konfigurasi perangkat simulasi XGS-PON

Perangkat	Komponen	Parameter	Nilai	
OLT	Optical Transmitter	Frequency	1580 nm	
		Power	5 dBm	
		Extinction ratio	10 dB	
		Reference bit rate	9,95328 Gbps	
		Modulation type	NRZ	
		Transmitter type	EML	
	Optical Receiver	Frequency	1280 nm	
		WDM	Bandwidth	10 Thz
		Multiplexer	Insertion loss	0 dB
	Depth		100 dB	
	Filter type		Bessel	
	Filter order		2	
	WDM	Frequency (0)	1580 nm	
Frequency (0)		1280 nm		
Demultiplexer	Connector	Insertion loss	OLT-EA= 0,5 dB EA-OA= 0,5 dB	
		Insertion loss	6,0206 + 1,22994 dB	
ODC	Splitter 1x4	Insertion loss	0,5 dB	
ODP	Splitter 1x8	Insertion loss	9,45 + 1,3491 dB	
ONT	Optical Receiver	Photodetector	PIN	
		Gain	3	
		Responsitivity	1 A/W	
		Dark current	10 nA	
		Insertion loss	0 dB	
		Reference bit rate	9,95328 Gbps	
	Optical Transmitter	Reference bit rate	9,95328 Gbps	
		WDM	Bandwidth	10 Thz
			Demultiplexer	Insertion loss
	Depth	100 dB		
	Filter type	Bessel		
	Filter order	2		
	WDM	Frequency (0)	1580 nm	
Frequency (0)		1280 nm		
Multiplexer	Connector	Insertion loss	0,5 dB	
		Attenuator	Splice drop (OTP)=0,6 dB Roset = 0 dB	
Optical Fiber	Optical Fiber	Reference wavelength	1550 nm	
		Attenuation	0,35 dB/km	
		Dispersion	17 ps/nm/km	
		Dispersion slope	0,056 ps/nm ² /km	
		PMD coefficient	0,2 ps/√km	

3. Analisis Hasil Simulasi

3.1. Pengujian Parameter Kinerja Jaringan

Parameter kinerja jaringan yang akan diuji adalah *link power budget*, *Q-factor*, *bit error rate*, dan *rise time budget*. Setelah dilakukan pengujian simulasi, selanjutnya akan dilakukan analisis hasil simulasi untuk diuji kelayakannya dengan standar yang telah ditetapkan oleh PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. dan ITU-T. Hasil analisis nantinya dapat dijadikan rekomendasi kelayakan untuk dapat diimplementasikan oleh PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk.

3.1.1. Link power budget

Link power budget adalah parameter utama yang harus dipertimbangkan dalam proses perencanaan jaringan serat optik. Perhitungan *link power budget* dimaksudkan agar jaringan yang dirancang memiliki daya yang berada diatas ambang batas sehingga informasi yang dibawa tidak hilang pada sisi penerima. Pada subbab ini akan dilakukan simulasi pada jarak OLT-ONT terdekat dan terjauh dari 4 jalur distribusi yang dirancang sehingga total sampel yang disumulasikan adalah 8. Tabel 3 menunjukkan perhitungan *link power budget* dari 8 sampel pada perancangan FTTH pada Perumahan Taman Anggrek Graha Padma [9] yang diurutkan berdasarkan jarak.

Tabel 3. Hasil perhitungan *link power budget*.

Nama ODP	Jarak OLT-ONT (km)	Link power budget (dB)
ODP 44	3,089491	21,70607
ODP 12	3,099523	21,70958
ODP 33	3,218246	21,75114
ODP 01	3,342084	21,79448
ODP 22	3,355603	21,79921
ODP 34	3,363798	21,80208
ODP 13	3,550831	21,86754
ODP 23	3,581697	21,87834

A. GPON

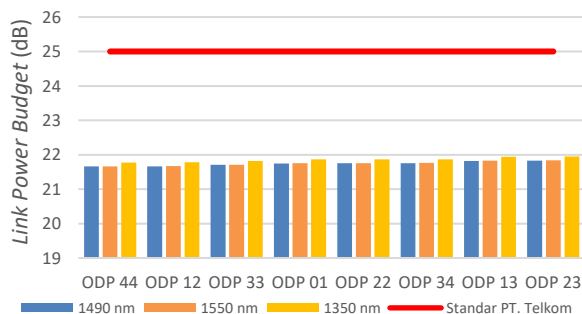
Tabel 4. Perbandingan *link power budget* GPON.

Nama ODP	StandarT elkom (dB)	P_T Perhitungan (dB)	P_T simulasi (dB)		
			Downstream 1490 nm	1550 nm	Upstream 1490 nm
ODP 44	25	21,7060	21,65859	21,66301	21,77392
ODP 12	25	21,7095	21,66211	21,66652	21,77743
ODP 33	25	21,7511	21,70366	21,70807	21,81898
ODP 01	25	21,7944	21,74700	21,75136	21,86233
ODP 22	25	21,7992	21,75173	21,75615	21,86706
ODP 33	25	21,8020	21,75460	21,75902	21,86993
ODP 13	25	21,8675	21,82006	21,82448	21,93539
ODP 23	25	21,8783	21,83087	21,83528	21,94620

Simulasi jaringan FTTH dengan teknologi GPON menggunakan dua panjang gelombang pada arah *downstream*, yaitu 1490 nm dan 1550 nm serta 1350 nm pada arah *upstream*. Tabel 4 menunjukkan perbandingan antara nilai *link power budget* hasil perhitungan dengan

simulasi dengan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk.

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai *link power budget* perhitungan dengan simulasi memiliki selisih nilai yang relatif kecil yaitu dengan margin perbedaan kurang dari 0,31%. Nilai *link power budget* sebanding dengan jarak antara OLT-ONT. Semakin jauh jarak total antara OLT-ONT maka semakin besar pula nilai *link power budget*. Hal ini terjadi karena semakin panjang kabel serat optik yang digunakan maka semakin besar pula redaman yang dialami *link* tersebut. Gambar 5 menunjukkan perbandingan hasil simulasi *link power budget* GPON dengan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. pada perancangan jaringan FTTH pada Perumahan Taman Anggrek Graha Padma.



Gambar 5. Perbandingan *link power budget* GPON.

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa *link power budget* jaringan FTTH dengan GPON telah memenuhi standar yang ditentukan oleh PT Telekomunikasi Indonesia Tbk. yaitu ≤ 25 dB. Nilai margin rata-rata *link power budget* hasil perancangan jaringan FTTH GPON dengan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. pada arah *downstream* adalah 13,03% untuk panjang gelombang 1490 nm dan 13,01% untuk panjang gelombang 1550 nm sedangkan pada arah *upstream* sebesar 12,57%.

B. XGS-PON

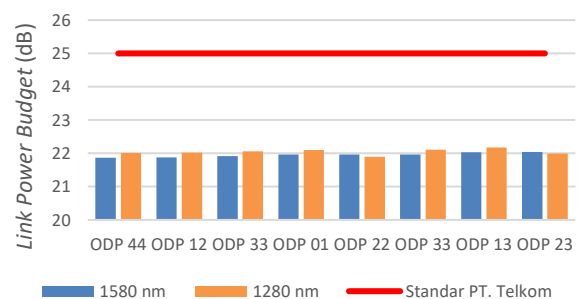
Simulasi jaringan FTTH dengan teknologi XGS-PON menggunakan panjang gelombang 1580 nm pada arah *downstream* dan 1280 nm pada arah *upstream*. Tabel 5 menunjukkan perbandingan antara nilai *link power budget* hasil perhitungan dengan simulasi dengan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk.

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai *link power budget* perhitungan dengan simulasi memiliki selisih nilai yang relatif kecil yaitu kurang 1,18%. Semakin jauh jarak total antara OLT-ONT maka semakin besar pula nilai *link power budget*. Hal ini terjadi karena semakin panjang kabel serat optik yang digunakan maka semakin besar pula redaman yang dialami *link* tersebut. Gambar 6 menunjukkan perbandingan hasil simulasi *link power budget* XGS-PON dengan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. pada perancangan jaringan FTTH pada Perumahan Taman Anggrek Graha Padma.

menunjukkan perbandingan hasil simulasi *link power budget* XGS-PON dengan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. pada perancangan jaringan FTTH pada Perumahan Taman Anggrek Graha Padma.

Tabel 5. Perbandingan *link power budget* XGS-PON.

Nama ODP	Standar Telkom (dB)	P_T Perhitungan (dB)	P_T simulasi (dB)	
			Downstream 1490 nm	Upstream 1550 nm
ODP 44	25	21,7060	21,87068	22,01448
ODP 12	25	21,7095	21,87420	22,01783
ODP 33	25	21,7511	21,91575	22,05954
ODP 01	25	21,7944	21,95909	22,10288
ODP 22	25	21,7992	21,96382	21,89700
ODP 33	25	21,8020	21,96669	22,11048
ODP 13	25	21,8675	22,03215	22,17595
ODP 23	25	21,8783	22,04295	21,98979



Gambar 6. Perbandingan *link power budget* XGS-PON.

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 6 hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa nilai *link power budget* jaringan FTTH dengan XGS-PON telah memenuhi standar baik yang ditentukan oleh PT Telekomunikasi Indonesia Tbk. yaitu sebesar ≤ 25 dB. Nilai margin rata-rata *link power budget* rancangan jaringan FTTH XGS-PON dengan standar PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. pada arah *downstream* adalah 12,18% untuk panjang gelombang 1580 nm dan 11,81% pada arah *upstream* dengan panjang gelombang 1280 nm.

3.1.2 Q-factor

Q-factor adalah parameter yang digunakan untuk menganalisis kualitas dari suatu jaringan FTTH yang dirancang. Semakin tinggi nilai *Q-factor* yang didapat maka semakin bagus pula kualitas sinyal yang diterima.

A. GPON

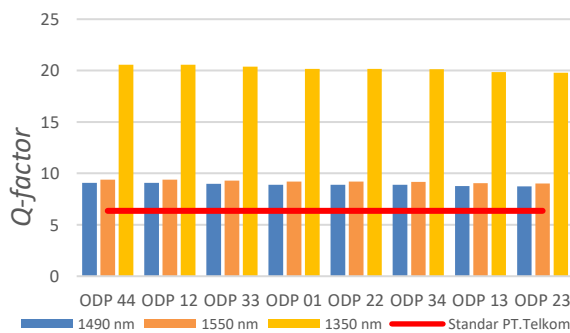
Suatu jaringan FTTH berteknologi GPON dikatakan baik jika memiliki *Q-factor* sama dengan atau lebih dari 6,36 pada sinyal arah *downstream* dan *upstream* sesuai dengan standar ITU-T 984.2. Tabel 4 menunjukkan perbandingan nilai *Q-factor* hasil simulasi dengan standar ITU-T.

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai *Q-factor* dari hasil simulasi arah *downstream* sebesar 8,74018 sampai

dengan 9,08794 untuk panjang gelombang 1490 nm dan 9,03047 sampai dengan 9,38997 untuk panjang gelombang 1550 nm. Pada simulasi GPON arah *upstream* didapatkan nilai *Q-factor* sebesar 19,8074 sampai dengan 20,58. Semakin tinggi *bit rate* yang digunakan maka semakin kecil nilai *Q-factor* yang didapat. Semakin jauh jarak antara OLT-ONT maka semakin kecil pula nilai maksimum *Q-factor* yang didapatkan. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak antara ONT dan OLT maka semakin besar pula redaman yang dialami oleh sinyal, sehingga kualitas sinyal akan menurun. Gambar 7 menunjukkan perbandingan hasil simulasi *Q-factor* pada perancangan jaringan GPON untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan standar ITU-T.

Tabel 6. Perbandingan *Q-factor* GPON.

Nama ODP	Standar ITU-T	Hasil Simulasi		
		Downstream		Upstream
		1490 nm	1550 nm	1350 nm
ODP 44	6,36	9,08794	9,38997	20,58000
ODP 12	6,36	9,08072	9,38250	20,56390
ODP 33	6,36	8,99567	9,29459	20,37520
ODP 01	6,36	8,90780	9,20386	20,18000
ODP 22	6,36	8,89826	9,19389	20,15880
ODP 33	6,36	8,89244	9,18791	20,14600
ODP 13	6,36	8,76160	9,05261	19,85510
ODP 23	6,36	8,74018	9,03047	19,80740



Gambar 7. Perbandingan *Q-factor* GPON.

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa nilai *Q-factor* pada hasil perancangan jaringan FTTH dengan teknologi GPON pada perumahan Taman Angrek Graha Padma telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T 984.2 yaitu ³ 6,36. Nilai margin rata-rata *Q-factor* rancangan jaringan FTTH GPON dengan standar ITU-T 984.2 pada arah *downstream* adalah 40,26% untuk panjang gelombang 1490 nm dan 44,92% untuk panjang gelombang 1550 nm sedangkan pada arah *upstream* sebesar 217,74% untuk panjang gelombang 1350 nm.

B. XGS-PON

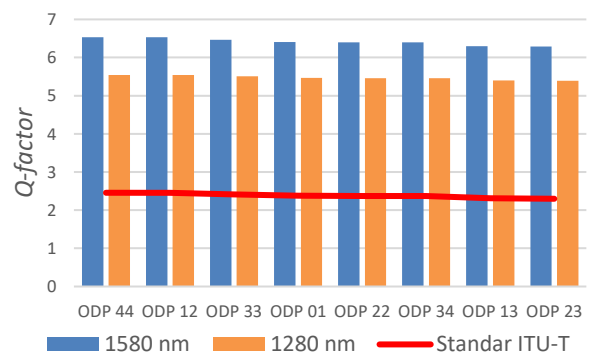
Suatu jaringan FTTH berteknologi XGS-PON dikatakan baik jika memiliki *Q-factor* sama dengan atau lebih dari <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>

3,09 pada arah *downstream* dan *upstream* sesuai dengan standar ITU-T 9807.1. Tabel 7 menunjukkan perbandingan hasil simulasi *Q-factor* pada perancangan jaringan XGS-PON untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T.

Tabel 7. Perbandingan *Q-factor* XGS-PON.

Nama ODP	Standar ITU-T	Hasil Simulasi	
		Downstream 1580 nm	Upstream 1280 nm
ODP 44	3,09	6,53513	5,54687
ODP 12	3,09	6,52994	5,54379
ODP 33	3,09	6,46887	5,50545
ODP 01	3,09	6,40576	5,46570
ODP 22	3,09	6,39891	5,46137
ODP 33	3,09	6,39475	5,45874
ODP 13	3,09	6,30074	5,39892
ODP 23	3,09	6,28536	5,38907

Berdasarkan Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antara OLT-ONT maka semakin kecil pula nilai *Q-factor* yang didapatkan. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak antara ONT dan OLT maka semakin besar pula redaman yang dialami oleh sinyal, sehingga kualitas sinyal akan menurun. Nilai *Q-factor* hasil simulasi pada arah *downstream* sebesar 6,28536 sampai dengan 6,53513 untuk panjang gelombang 1580 nm. Pada simulasi XGS-PON arah *upstream* didapatkan nilai *Q-factor* sebesar 5,38907 sampai dengan 5,54687 dengan panjang gelombang 1280 nm. Gambar 8 menunjukkan perbandingan hasil simulasi *Q-factor* pada perancangan jaringan XGS-PON untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T.



Gambar 8. Perbandingan *Q-factor* XGS-PON.

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa nilai *Q-factor* pada hasil perancangan jaringan FTTH dengan teknologi XGS-PON pada perumahan Taman Angrek Graha Padma telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T 9807.1 yaitu ³ 3,09 pada arah *downstream* dan *upstream*. Nilai margin rata-rata *Q-factor* rancangan jaringan FTTH XGS-PON dengan standar ITU-T 9807.1 pada arah *downstream* adalah 107,6% untuk

panjang gelombang 1580 nm dan pada arah *upstream* sebesar 77,06% untuk panjang gelombang 1280 nm.

3.1.3. BER

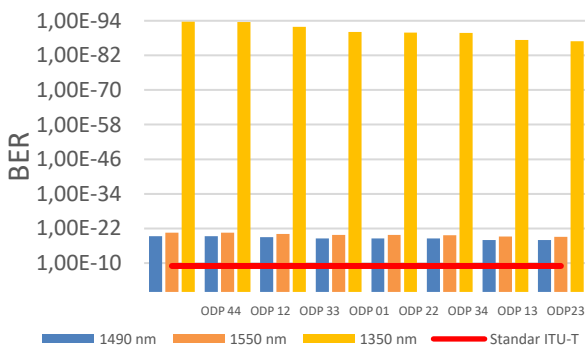
Bit Error Rate (BER) adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui presentase kesalahan bit yang diterima relatif terhadap jumlah total bit yang dikirimkan. Semakin kecil nilai BER maka semakin bagus pula kualitas suatu jaringan karena tingkat kesalahan bit yang rendah.

A. GPON

Suatu jaringan FTTH berteknologi GPON dikatakan baik jika memiliki BER maksimal sebesar 10^{-10} pada arah *downstream* dan *upstream* sesuai dengan standar ITU-T 984.2. Tabel 8 menunjukkan perbandingan hasil simulasi BER pada perancangan jaringan GPON untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T.

Tabel 8. Perbandingan BER GPON.

Nama ODP	Standar ITU-T	Hasil Simulasi		
		Downstream		Upstream
		1490 nm	1550 nm	1350 nm
ODP 44	10^{-10}	$5,04 \times 10^{-20}$	$3,00 \times 10^{-21}$	$2,07 \times 10^{-94}$
ODP 12	10^{-10}	$5,39 \times 10^{-20}$	$3,22 \times 10^{-21}$	$2,88 \times 10^{-94}$
ODP 33	10^{-10}	$1,17 \times 10^{-19}$	$7,39 \times 10^{-21}$	$1,38 \times 10^{-92}$
ODP 01	10^{-10}	$2,60 \times 10^{-19}$	$1,73 \times 10^{-20}$	$7,33 \times 10^{-91}$
ODP 22	10^{-10}	$2,83 \times 10^{-19}$	$1,89 \times 10^{-20}$	$1,12 \times 10^{-90}$
ODP 33	10^{-10}	$2,99 \times 10^{-19}$	$2,00 \times 10^{-20}$	$1,45 \times 10^{-90}$
ODP 13	10^{-10}	$9,62 \times 10^{-19}$	$6,98 \times 10^{-20}$	$4,98 \times 10^{-88}$
ODP 23	10^{-10}	$1,16 \times 10^{-18}$	$8,55 \times 10^{-20}$	$1,28 \times 10^{-87}$



Gambar 9. Perbandingan BER GPON.

Berdasarkan Tabel 8 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *bit rate* yang digunakan maka semakin besar nilai BER yang didapat. Semakin jauh jarak antara OLT-ONT maka semakin besar pula nilai maksimum BER yang didapatkan. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak antara ONT dan OLT maka semakin besar pula redaman yang dialami oleh sinyal, sehingga kualitas sinyal akan menurun. Nilai BER dari hasil simulasi arah *downstream* <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>

sebesar $5,04 \times 10^{-20}$ sampai dengan $1,16 \times 10^{-18}$ untuk panjang gelombang 1490 nm dan 3×10^{-21} sampai dengan $8,55 \times 10^{-20}$ untuk panjang gelombang 1550 nm. Pada simulasi GPON arah *upstream* didapatkan nilai sebesar $2,07 \times 10^{-94}$ sampai dengan $1,28 \times 10^{-87}$. Gambar 9 menunjukkan perbandingan hasil simulasi BER pada perancangan jaringan GPON untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan rekomendasi oleh ITU-T.

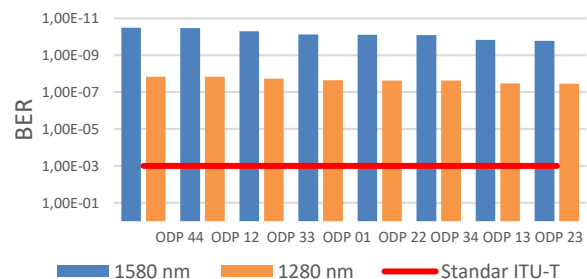
Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa nilai BER pada hasil perancangan jaringan FTTH dengan teknologi GPON pada perumahan Taman Anggrek Graha Padma telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T 984.2 yaitu $\leq 10^{-10}$.

B. XGS-PON

Suatu jaringan FTTH berteknologi XGS-PON dikatakan baik jika memiliki BER maksimal sebesar 10^{-3} pada arah *downstream* dan *upstream* sesuai dengan standar ITU-T 9807.1. Tabel 9 menunjukkan perbandingan hasil simulasi BER pada perancangan jaringan XGS-PON untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T.

Tabel 9. Perbandingan BER XGS-PON.

Nama ODP	Standar ITU-T	BER	
		Downstream 1490 nm	Upstream 1310 nm
ODP 44	10^{-3}	$3,18 \times 10^{-11}$	$1,45 \times 10^{-8}$
ODP 12	10^{-3}	$3,29 \times 10^{-11}$	$1,47 \times 10^{-8}$
ODP 33	10^{-3}	$4,94 \times 10^{-11}$	$1,83 \times 10^{-8}$
ODP 01	10^{-3}	$7,48 \times 10^{-11}$	$2,29 \times 10^{-8}$
ODP 22	10^{-3}	$7,82 \times 10^{-11}$	$2,35 \times 10^{-8}$
ODP 33	10^{-3}	$8,04 \times 10^{-11}$	$2,38 \times 10^{-8}$
ODP 13	10^{-3}	$1,48 \times 10^{-10}$	$3,33 \times 10^{-8}$
ODP 23	10^{-3}	$1,64 \times 10^{-10}$	$3,52 \times 10^{-8}$



Gambar 10. Perbandingan BER XGS-PON.

Berdasarkan Gambar 8 dapat disimpulkan semakin jauh jarak antara OLT-ONT maka semakin besar pula nilai maksimum BER yang didapatkan. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak antara ONT dan OLT maka semakin besar pula redaman yang dialami oleh sinyal, sehingga kualitas sinyal akan menurun. Nilai BER dari hasil

simulasi arah *downstream* sebesar $3,18 \times 10^{-11}$ sampai dengan $1,64 \times 10^{-10}$ untuk panjang gelombang 1580 nm. Pada simulasi XGS-PON arah *upstream* didapatkan nilai BER sebesar $1,45 \times 10^{-8}$ sampai dengan $3,52 \times 10^{-8}$. Gambar 10 menunjukkan perbandingan hasil simulasi BER pada perancangan jaringan XGS-PON untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T.

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa nilai BER pada hasil perancangan jaringan FTTH dengan teknologi XGS-PON pada perumahan Taman Anggrek Graha Padma telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T 9807.1 yaitu $\leq 10^{-3}$ untuk arah *downstream* dan *upstream*.

3.1.4 Rise time budget

Nilai *rise time budget* pada suatu link digital tidak melebihi dari 70% periode bit NRZ dan 35% dari periode bit RZ. Jika nilai *rise time budget* sistem tidak memenuhi standar maka akan terjadi distorsi pada sinyal sehingga pada *receiver* nilai sinyal tidak dapat dibaca/loss. Single-Mode-Fiber (SMF) hanya mengalami dispersi intramodal sehingga nilai dispersi intermodal dapat diabaikan (no) [14],[15].

A. GPON

Pada simulasi jaringan FTTH dengan GPON, digunakan *bit rate* sebesar 2,48832 Gbps untuk *downstream* dan 1,24416 Gbps untuk *upstream*. Format skema pengkodean yang digunakan adalah *Non-Return-to-Zero* (NRZ) dengan nilai *rise time budget* adalah kurang dari sama dengan 70% satu periode bit seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1) [13]:

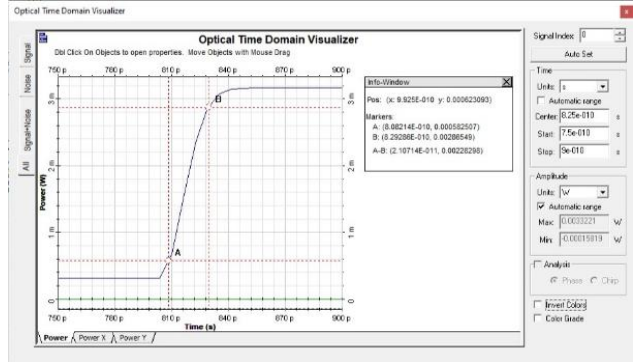
$$t_r \leq \frac{0,7}{\text{bitrate}} \quad (1)$$

Rise time budget sistem dapat dihitung setelah mengetahui nilai t_{cd} , t_{PMD} , dan t_{rx} terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2), (3), dan (4) [13]:

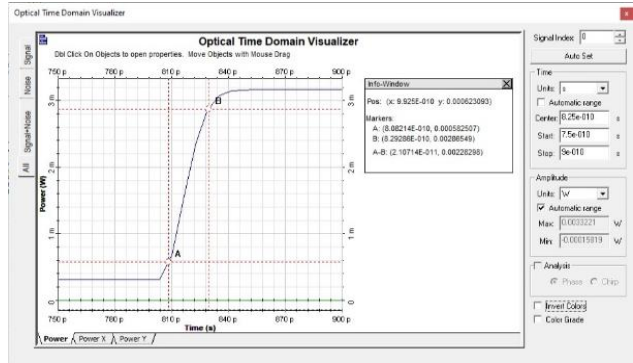
$$t_{cd} = \sigma_\lambda \times L \times |D_{mat}(\lambda)| \quad (2)$$

$$t_{PMD} = D_{PMD} \times \sqrt{L} \quad (2)$$

$$t_{rx} = \frac{350}{Brx} \quad (3)$$



Gambar 11. Waktu naik pada sisi GPON *downstream*.



Gambar 12. Waktu naik pada sisi GPON *upstream*.

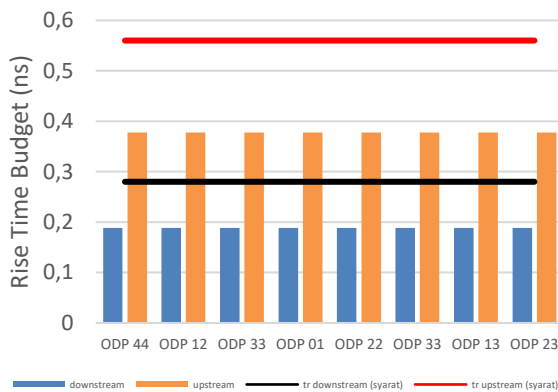
Nilai t_{tx} hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12 yaitu pada arah *downstream* sebesar 21,072 ps dan *upstream* sebesar 41,77 ps. Jaringan FTTH pada perancangan menggunakan *single mode fiber* (SMF), sehingga tidak ada dispersi intermodal dan nilai t_{mod} adalah 0 s. Oleh karena itu dapat dihitung t_{sistem} jaringan FTTH dengan persamaan (5) sebagai berikut [14],[15]:

$$t_{sistem} = [t_{tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{cd}^2 + t_{rx}^2]^{1/2} \quad (5)$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai *rise time system* untuk semua ODP, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 13. Pada Tabel 10 dapat dilihat bahwa nilai t_{sistem} pada hasil perancangan jaringan FTTH dengan teknologi GPON pada perumahan Taman Anggrek Graha Padma telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T 984.2 yaitu $\leq 0,28$ ns pada arah *downstream* dan $\leq 0,56$ ns pada arah *upstream*. Nilai *margin* rata-rata antara nilai t_{sistem} rancangan jaringan FTTH GPON dengan t_r syarat pada arah *downstream* adalah 32,59% dan pada arah *upstream* sebesar 32,6%.

Tabel 10. Perbandingan BER GPON.

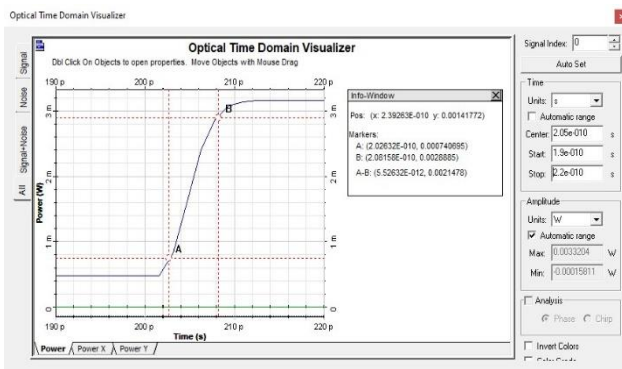
Nama ODP	t_r (ns)		t_{sistem} (ns)	
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
ODP 44	0,28	0,56	0.1887	0.3774
ODP 12	0,28	0,56	0.1887	0.3774
ODP 33	0,28	0,56	0.1887	0.3774
ODP 01	0,28	0,56	0.1887	0.3774
ODP 22	0,28	0,56	0.1887	0.3774
ODP 33	0,28	0,56	0.1887	0.3774
ODP 13	0,28	0,56	0.1887	0.3774
ODP 23	0,28	0,56	0.1887	0.3774



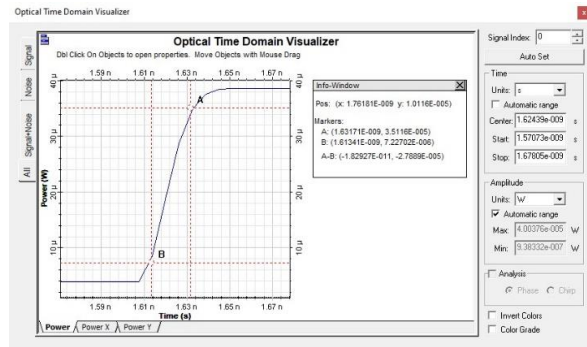
Gambar 13. Rise time budget GPON.

B. XGS-PON

Pada simulasi jaringan FTTH dengan XGS-PON, digunakan bit rate sebesar 9,95328 Gbps untuk downstream dan upstream. Format skema pengkodean yang digunakan adalah Non-Return-to-Zero (NRZ) dengan nilai rise time budget adalah kurang dari sama dengan 70% satu periode bit.



Gambar 14. Waktu naik pada sisi XGS-PON downstream.



Gambar 15. Waktu naik pada sisi XGS-PON upstream.

Nilai t_{tx} didapat hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15 yaitu pada arah downstream sebesar 55,26 ps dan upstream sebesar 51,1 ps. Jaringan FTTH pada perancangan menggunakan single mode fiber (SMF), sehingga tidak ada dispersi intermodal dan nilai t_{mod} adalah 0 s. Dengan cara yang sama dengan perhitungan XGS-PON, didapatkan nilai rise time system untuk semua ODP, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 16. Pada Tabel 11 dapat dilihat bahwa nilai t_{sistem} pada hasil perancangan jaringan FTTH dengan teknologi XGS-PON pada perumahan Taman Angrek Graha Padma telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh ITU-T 9807.x yaitu $\leq 0,07$ ns pada arah downstream dan upstream. Nilai margin rata-rata antara nilai t_{sistem} rancangan jaringan FTTH XGS-PON dengan t_r syarat pada arah downstream adalah 32,55% dan pada arah upstream sebesar 32,62%.

Tabel 11. Perbandingan BER XGS-PON.

Nama ODP	t_r (ns)		t_{sistem} (ns)	
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
ODP 44	0,07	0,07	0,0472	0,0471
ODP 12	0,07	0,07	0,0472	0,0471
ODP 33	0,07	0,07	0,0472	0,0471
ODP 01	0,07	0,07	0,0472	0,0471
ODP 22	0,07	0,07	0,0472	0,0471
ODP 33	0,07	0,07	0,0472	0,0471
ODP 13	0,07	0,07	0,0472	0,0471
ODP 23	0,07	0,07	0,0472	0,0471



Gambar 16. Rise time budget XGS-PON.

3.2. Ringkasan Hasil Analisis

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada bab ini, diperoleh hasil bahwa hasil perancangan jaringan FTTH pada Perumahan Taman Angrek Graha Padma telah layak untuk diimplementasikan baik dengan teknologi GPON maupun XGS-PON. Kelayakan tersebut mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh PT.Telekomunikasi Indonesia Tbk. dan juga standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T 984.x untuk GPON dan ITU-T 9807.x untuk XGS-PON.

Simulasi pada jaringan FTTH dengan teknologi GPON mengacu pada standar PT.Telekomunikasi Indonesia Tbk. untuk *link power budget*, sedangkan untuk parameter *Q-factor*, BER, dan *rise time budget* mengacu pada standar ITU-T 984.x. Simulasi teknologi GPON pada arah *downstream* menggunakan dua panjang gelombang yang berbeda yaitu 1490 nm dan 1550 nm, sedangkan pada arah *upstream* menggunakan panjang gelombang 1350 nm. Hasil simulasi pada jarak OLT-ONT terjauh pada jaringan FTTH dengan teknologi GPON dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil simulasi GPON pada ONT terjauh.

Parameter	Hasil Simulasi	
	Downstream	Upstream
Link power budget	21,83 dB	21,94 dB
Q-factor	8,74	19,8
Bit Error Rate	$1,16 \times 10^{-18}$	$1,28 \times 10^{-87}$
Rise Time Budget	0,1887 ns	0,3774 ns

Berdasarkan Tabel 12 dapat disimpulkan bahwa perancangan jaringan dengan teknologi GPON telah layak untuk diimplementasikan karena telah memenuhi syarat untuk keempat parameter yang diujikan, yaitu *link power budget*, *Q-factor*, BER, dan *rise time budget*. Nilai margin rata-rata *link power budget* untuk panjang gelombang 1490 nm sebesar 13,03% untuk dan 13,01% untuk panjang gelombang 1550 nm sedangkan pada arah *upstream* sebesar 12,57%. Nilai margin rata-rata *Q-factor* sebesar 40,26% untuk panjang gelombang 1490 nm dan 44,92% untuk panjang gelombang 1550 nm pada arah *downstream* serta 217,74% pada arah *upstream*. Nilai margin rata-rata *rise time budget* pada arah *downstream* sebesar 32,59% dan 32,6% pada arah *upstream*.

Hasil simulasi pada jarak OLT-ONT terjauh pada jaringan FTTH dengan teknologi XGS-PON dapat dilihat pada Tabel 13 yang mengacu pada standar PT.Telekomunikasi Indonesia Tbk. untuk *link power budget*, sedangkan untuk parameter *Q-factor*, BER, dan *rise time budget* mengacu pada standar ITU-T 9807.x. Simulasi teknologi XGS-PON menggunakan panjang gelombang 1580 nm pada arah *downstream* dan 1280 nm pada arah *upstream*.

Tabel 13. Hasil simulasi XGS-PON pada ONT terjauh.

Parameter	Hasil Simulasi	
	Downstream	Upstream
Link power budget	22,04 dB	21,98 dB
Q-factor	6,28	5,38
Bit Error Rate	$1,64 \times 10^{-10}$	$3,25 \times 10^{-8}$
Rise Time Budget	0,0472 ns	0,0471 ns

Berdasarkan Tabel 13 dapat disimpulkan bahwa perancangan jaringan dengan teknologi XGS-PON telah layak untuk diimplementasikan karena telah memenuhi syarat untuk keempat parameter yang diujikan, yaitu *link power budget*, *Q-factor*, BER, dan *rise time budget*. Nilai margin rata-rata *link power budget* sebesar 12,18% pada arah *downstream* dan 11,81% pada arah *upstream*. Nilai margin rata-rata *Q-factor* sebesar 117,6% pada arah *downstream* dan 77,06% pada arah *upstream*. Nilai margin rata-rata *rise time budget* pada arah *downstream* sebesar 32,55% dan 32,62% pada arah *upstream*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis terhadap keempat parameter kinerja jaringan yang diujikan, yaitu *link power budget*, *Q-factor*, *Bit Error Rate* (BER), dan *rise time budget* dapat disimpulkan bahwa teknologi GPON dan XGS-PON layak untuk diimplementasikan karena telah memenuhi standar yang digunakan PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. dan rekomendasi ITU-T. Hasil simulasi untuk jarak ONT terjauh GPON menunjukkan nilai *link power budget* pada arah *downstream* dan *upstream* sebesar 21,83 dB dan 21,94 dB, sedangkan XGS-PON sebesar 22,04 dB dan 21,98 dB. Hasil simulasi *Q-factor* GPON pada arah *downstream* dan *upstream* sebesar 8,74 dan 19,8, sedangkan XGS-PON sebesar 6,28 dan 5,38. Hasil simulasi BER GPON pada arah *downstream* dan *upstream* sebesar $1,16 \times 10^{-18}$ dan $1,28 \times 10^{-87}$, sedangkan XGS-PON sebesar $1,64 \times 10^{-10}$ dan $3,25 \times 10^{-8}$. Hasil simulasi *rise time budget* GPON pada arah *downstream* dan *upstream* sebesar 0,1887 ns dan 0,3774 ns, sedangkan XGS-PON sebesar 0,0472 ns dan 0,0471 ns.

Referensi

- [1]. Cisco, "Cisco Annual Internet Report, 2018-2023," White Paper Cisco public, 2019.
- [2]. *Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON): General characteristics*, ITU-T Recommendation G.984.1, 2008.
- [3]. *Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON): General characteristics*, ITU-T Recommendation G.984.1 Amendment 2, 2012.
- [4]. *Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification*, ITU-T Recommendation G.984.2, 2019.
- [5]. *Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification*, ITU-T Recommendation G.984.2, 2003.

- [6]. *10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network (XGS-PON)*, ITU-T Recommendation G.9807.1, 2017.
- [7]. *10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network (XGS-PON)*, ITU-T Recommendation G.9807.1 Amendment 1, 2017.
- [8]. *10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network (XGS-PON); Reach Extension*, ITU-T Recommendation G.9807.2, 2017.
- [9]. J. F. Salsabila, "Perancangan jaringan akses fiber to the home dengan algoritma K-means clustering pada Perumahan Taman Angrek Graha Padma," Laporan Tugas Akhir, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2020.
- [10]. *Panduan Desain FTTH*, PT Telekomunikasi Indonesia Tbk., Indonesia, 2012.
- [11]. *Konfigurasi Fiber to The Home (FTTH)*, Telkom Corporate University, PT Telekomunikasi Indonesia Tbk., Indonesia, 2012.
- [12]. *Characteristic of a single-mode optical fibre and cable*, ITU-T Recommendation G.652, 2016.
- [13]. *Characteristic of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable*, ITU-T Recommendation G.657, 2016.
- [14]. I. A. Dinina, "Analisis perbandingan teknologi GPON dan XGPON untuk perancangan jaringan fiber to the home," Laporan Tugas Akhir, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2016.
- [15]. A. Henry dkk, "Fiber Optic Telecommunication," dalam *Fundamentals of Photonics*, Connecticut, USA: Univ. Connecticut, 200, hal 293-347.