

ANALISIS PANJANG GELOMBANG DOWNSTREAM DAN UPSTREAM PADA SISTEM JARINGAN NG-PON 2 DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI TWDM

ANALYSIS OF DOWNSTREAM AND UPSTREAM WAVELENGTH ON NG-PON 2 NETWORK BY USING TWDM TECHNOLOGY

Rasyid Vikri Prisdianyah¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T.², Afief Dias Pambudi, S.T.,M.T.³

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

¹ vikrirasyid@gmail.com, ² bphambali@yahoo.com, ³ afiefdiaspambudi@gmail.com

Abstrak

Pada era digital ini, perkembangan teknologi telekomunikasi di Indonesia sangat berkembang pesat, terutama pada sistem transmisi. Salah satu sistem jaringan serat optik yang saat ini ada adalah *Next-Generation Passive Optical Network 2* (NG-PON 2). Untuk mendukung Sistem jaringan NG-PON 2 dapat menggunakan teknologi *Time and Wavelength Division Multiplexed* (TWDM). TWDM merupakan penggabungan teknologi TDM dan WDM. Pada tugas akhir ini menganalisis pengaruh panjang gelombang *downstream* dan juga *upstream* pada sistem jaringan NG-PON 2 dengan menggunakan teknologi TWDM. Panjang gelombang TWDM dibandingkan dengan panjang gelombang yang lain, yaitu yang digunakan pada sistem G-PON dan XG-PON. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah selain panjang gelombang TWDM dapat digunakan pada sistem ini. Selisih panjang gelombang antar kanal / *channel spacing* juga dianalisis. Selisih panjang gelombang antar kanal yang digunakan adalah 50 GHz, 100 GHz, 150 GHz, dan 200. GHz. Analisis dilakukan dengan cara melihat pengaruh panjang gelombang dan *channel spacing* pada sistem jaringan NG-PON 2. Parameter performansi yang digunakan adalah SNR, *Q-Factor*, dan BER. Hasil dari analisis melalui perhitungan manual maupun menggunakan simulasi didapatkan bahwa panjang gelombang XG-PON dan G-PON layak untuk sistem jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM walaupun nilai parameter performansinya masih dibawah nilai TWDM. Rentang panjang gelombang atau *channel spacing* tidak mempengaruhi nilai parameter performansi secara signifikan. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan nilai dari semua parameter performansi yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan maupun berubah beraturan.

Kata kunci: Panjang gelombang, NG-PON 2, TWDM.

Abstract

In this digital era, the development of telecommunication technology in Indonesia is growing rapidly, especially in the transmission system. One of the current optical fiber network systems is the *Next-Generation Passive Optical Network 2* (NG-PON 2). To support NG-PON 2 network system can use *Time and Wavelength Division Multiplexed* (TWDM) technology. TWDM is a combination of TDM and WDM technologies. In this final project will analyze the influence of wavelength downstream and also upstream on NG-PON 2 network system by using TWDM technology. TWDM wavelengths will be compared with other wavelengths, which are used on G-PON and XG-PON systems. This is done to determine whether other than the TWDM wavelength can be used on this system. Differences in wavelengths between channel / channel spacing will also be analyzed. Differences in wavelengths between channels used are 50 GHz, 100 GHz, 150 GHz, and 200. GHz. Analysis performed by looking at the influence of wavelength and channel spacing on NG-PON network system 2. Performance parameters used are SNR, *Q-Factor*, and BER. The results of the analysis through manual calculations and simulations show that XG-PON and G-PON wavelengths are feasible for NG-PON 2 network system with TWDM technology although the performance parameter value is still below TWDM value. The wavelength or channel spacing range does not significantly affect the value of performance parameters. This can be seen from the difference in the value of all performance parameters that have no significant difference or change regularly.

Keywords: Wavelength, NG-PON 2, TWDM.

1. Pendahuluan

Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan teknologi telekomunikasi di Indonesia sangat berkembang pesat, terutama pada sistem transmisi. Sistem transmisi yang masih berkembang dan akan terus dikembangkan salah satunya adalah serat optik. Serat optik merupakan media transmisi yang dapat mengirimkan data dengan kapasitas yang besar dan cepat. Selain masalah kapasitas, keunggulan lain dari serat

optik adalah tahan terhadap gangguan, seperti suhu udara, cuaca, sinyal elektromagnetik dan lainnya. Sebagian besar teknologi telekomunikasi sekarang telah menggunakan serat optik sebagai media transmisinya.

Berkembangnya teknologi serat optik mendorong banyaknya pembaharuan pada sektor ini salah satunya dengan munculnya NG-PON 2. *Next-Generation Passive Optical Network 2* (NG-PON 2) merupakan sebuah sistem *Passive Optical Network* (PON) dengan kapasitas nominal 40 *Gigabit per second* untuk *Downstream* dan 10 *Gigabit per second* untuk *Upstream*, dan menerapkan rekomendasi protokol yang ditentukan dalam ITU-T G.989-series [3]. NG-PON 2 saat ini masih dalam pengembangan untuk performansi yang lebih baik. Performansi yang masih di kembangkan saat ini salah satunya adalah efektivitas *bandwidth*.

Salah satu cara untuk mengefektivitas *bandwidth* agar dapat mengirimkan data dengan cepat adalah dari sisi penggabungan sinyal (*multiplexing*). Oleh karena itu *multiplexing* pada serat optik terus dikembangkan. Salah satu perkembangannya yaitu *Time and Wavelength Division Multiplexed* (TWDM). Untuk mendukung Sistem jaringan NG-PON 2, dapat menggunakan teknologi TWDM [9]. TWDM merupakan penggabungan teknologi TDM dan WDM.

Panjang gelombang merupakan salah satu hal yang sangat berpengaruh dalam teknologi TWDM. Pada tugas akhir ini menganalisis pengaruh panjang gelombang *downstream* dan juga *upstream* pada sistem jaringan NG-PON 2 dengan menggunakan teknologi TWDM. Panjang gelombang TWDM dianalisis dengan panjang gelombang lain, yaitu yang digunakan pada sistem G-PON dan XG-PON. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah selain panjang gelombang TWDM dapat digunakan pada sistem ini dengan tujuan untuk menambah rekomendasi panjang gelombang agar dapat digunakan apabila memang memungkinkan dan mempermudah proses migrasi. Selisih panjang gelombang antar kanal / *channel spacing* juga dianalisis. Selisih panjang gelombang antar kanal yang digunakan adalah 50 GHz, 100 GHz, 150 GHz, dan 200 GHz. Analisis dilakukan dengan cara melihat pengaruh panjang gelombang dan *channel spacing* pada sistem jaringan NG-PON 2 dengan parameter performansi seperti SNR, *Q-Factor* dan BER.

2. Dasar Teori

2.1. NG-PON 2

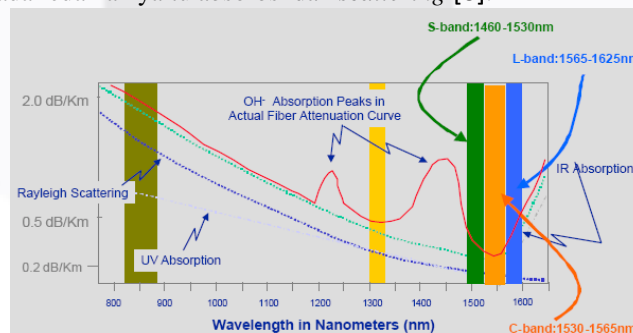
Next-Generation Passive Optical Network 2 (NG-PON 2) merupakan sebuah sistem *Passive Optical Network* (PON) dengan kapasitas nominal 40 *Gigabit per second* untuk *Downstream* dan 10 *Gigabit per second* untuk *Upstream*, dan menerapkan rekomendasi protokol yang ditentukan dalam ITU-T G.989-series [5]. Sistem ini harus memungkinkan jenis pelanggan yang berbeda (bisnis, hunian, dll) dalam skenario yang sama, masing-masing membutuhkan layanan yang berbeda. Standar ITU-T G.989 akan memberikan satu set lengkap persyaratan yang menjelaskan sistem NG-PON2 dalam jaringan akses optik untuk perumahan, bisnis, *backhaul mobile* dan aplikasi lainnya [5].

2.2. TWDM

Sebuah sistem gelombang PON ganda di mana setiap saluran panjang gelombang dapat dibagi di antara beberapa ONU dengan menggunakan pembagian waktu dan beberapa mekanisme akses [4]. Dalam sistem NG-PON2, saluran TWDM mengacu pada satu saluran panjang gelombang *downstream* dan satu saluran panjang gelombang *upstream* yang menyediakan konektivitas *point-to-multipoint* [4]. TWDM merupakan penggabungan teknologi TDM dan WDM.

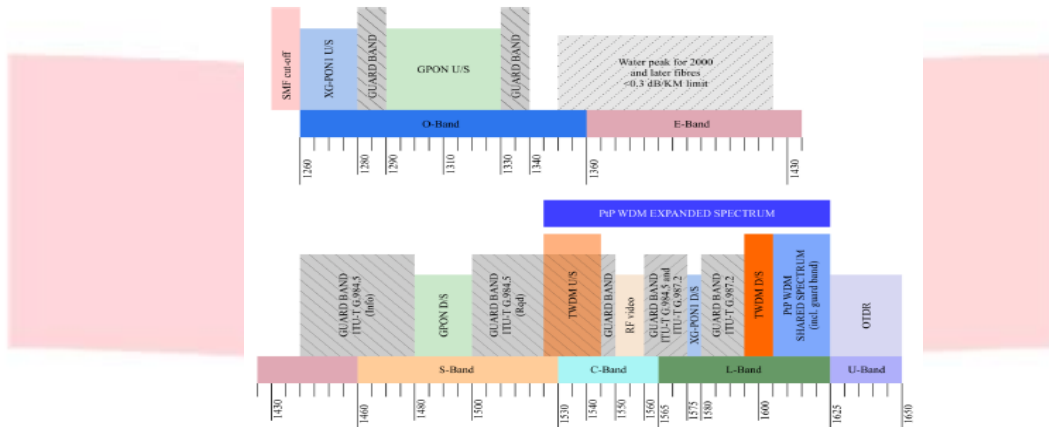
2.3. Panjang Gelombang

Panjang gelombang adalah jarak yang ditempuh oleh gelombang dalam satu periode. Panjang gelombang dilambangkan dengan λ (dibaca: lambda). Dalam Sistem Internasional (SI), satuan panjang gelombang adalah meter (m). Setiap spektrum panjang gelombang memiliki nilai atenuasi yang berbeda. Atenuasi adalah berkurangnya intensitas sinyal atau cahaya selama melalui suatu serat optik atau bisa disebut juga dengan rugi-rugi daya transmisi. Hal ini akan mengakibatkan sinyal yang dikirim tidak akan sampai ke tujuan untuk jarak yang sangat jauh. Redaman serat optik bisa terjadi karena banyak hal, absorpsi, refleksi, difusi, *scattering*, dispersi dan redaman pada sambungan. Namun hal yang berkontribusi besar pada redaman yaitu absorpsi dan *scattering* [6].



Gambar 2.1 Atenuasi pada Panjang Gelombang

Panjang gelombang TWDM yang digunakan adalah 1524-1544 nm untuk *upstream* dan 1596-1603 nm untuk *downstream*. Panjang gelombang G-PON yang digunakan adalah 1290-1330 nm untuk *upstream* dan 1480-1500 nm untuk *downstream*. Panjang gelombang XG-PON yang digunakan adalah 1260-1280 nm untuk *upstream* dan 1575-1580 nm untuk *downstream*.



Gambar 2.2 Pemetaan Panjang Gelombang

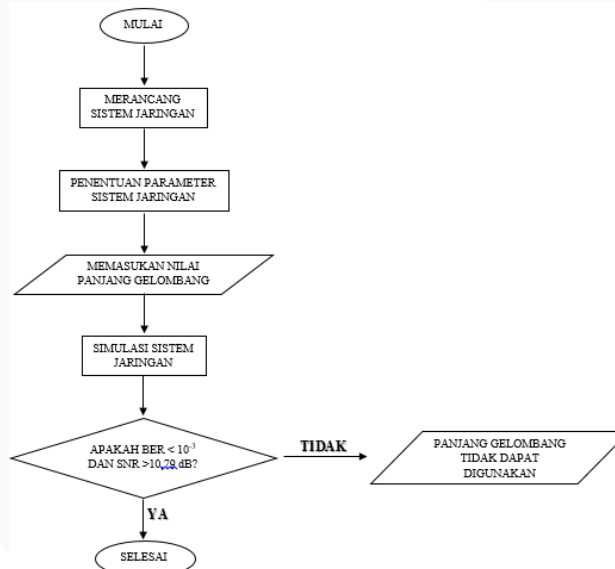
2.4. Parameter Performansi

Parameter kelayak yang digunakan pada penelitian ini adalah BER, *Q-factor*, dan SNR. Jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM dikatakan layak saat nilai maksimum BER 10^{-3} pada sisi *upstream* maupun *downstream* [4], serta minimum SNR 10,79 dB [1]. Untuk *Q-factor* sendiri sebenarnya tidak ada ketentuannya dalam standarisasi yang dibuat, tetapi dikarenakan *Q-factor* saling berhubungan dengan nilai BER maka nilai *Q-factor* menyesuaikan dengan nilai BER. Persamaan-persamaan untuk nilai parameter performansi dapat dituliskan sebagai berikut:

- $SNR = \frac{(PinRM)^2}{2qPinRM^2F(M)Be + \frac{4KBTB_e}{RL}}$ [2]
- $SNR = 20 \log 2Q$ [7]
- $BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Q} e^{-\frac{Q^2}{2}}$ [2]

3. Perancangan Model Sistem Jaringan

3.1 Diagram Alir Penelitian

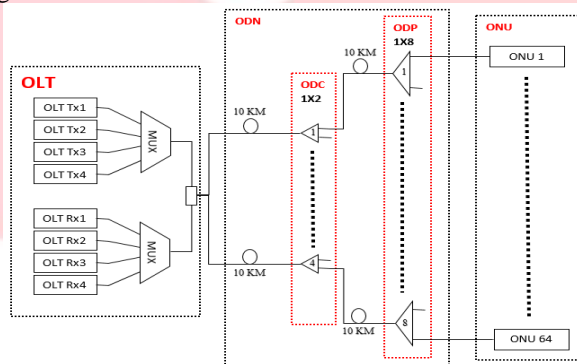


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan tahapan yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian ini. Langkah pertama yang dilakukan yaitu membuat pemodelan sistem jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM. Pemodelan sistem menggunakan instrument pada perangkat lunak *Optisystem*. Setelah membuat pemodelan sistem maka menentukan parameter-parameter yang akan digunakan untuk merancang pemodelan sistem jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM. Parameter-parameter tersebut

diantaranya *dispersion, fiber length, bit rate* dan sebagainya. Pemodelan sistem harus disesuaikan dengan parameter yang sudah ditentukan dan disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku. Setelah mendapatkan pemodelan sistem dan parameternya, maka langkah selanjutnya adalah mensimulasikannya. Apabila sudah sesuai dengan parameter performansi yang digunakan maka masuk ke skenario penelitian. Skenario penelitian dilakukan dengan memasukkan panjang gelombang yang akan dianalisis. Penelitian ini menggunakan 3 jenis panjang gelombang TWDM, XG-PON, dan G-PON serta 4 *channel spacing* yaitu 50, 100, 150, dan 200 GHz. Parameter performansi yang digunakan adalah BER, Q-factor, dan SNR.

3.2 Merancang Sistem Jaringan



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Jaringan

Secara umum diagram blok sistem jaringan NG-PON 2 tersusun atas 3 blok utama yaitu blok *Optical Line Termination* (OLT), blok *Optical Distribution Network* (ODN), dan blok *Optical Network Unit* (ONU) seperti pada gambar 3.2. Perancangan jaringan NG-PON 2 ini menggunakan OLT dengan 4 slot keluaran untuk kabel *feeder*. Blok ODN dibagi menjadi 2 komponen yaitu kabel optik dan titik pembagi. Titik pembagi ada 2 jenis yaitu *Optical Distribution Cabinet* (ODC) dan *Optical Distribution Point* (ODP). Kabel optik yang digunakan juga dibagi menjadi 2 bagian yaitu sebelum ODC dan sebelum ODP dengan masing masing memiliki panjang 10 kilometer dengan menggunakan kabel optik berjenis *single mode fiber* (SMF).

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*) [7]. Menurut penjelasan diatas, maka tipe modulasi yang digunakan pada sistem ini adalah NRZ. Hal ini dikarenakan dengan perhitungan *Rise Time Budget* diperoleh bahwa nilai T_{system} tidak melebihi 70 persen dari satu periode bit NRZ (*Non-return-to-zero*). Perhitungannya sebagai berikut:

$$70\% \times T_{Bit} = 70\% \times 1/f = 70\% \times 1/10^{10} = 70\% \times 10^{-10} = 0,07 \text{ ns}$$

$$t_{material} = \Delta\sigma \times L \times Dm$$

$$T_{system} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{mat}^2 + t_{mod}^2 + t_{rx}^2} = \sqrt{5 \text{ ps}^2 + (17 \times 0,05 \times 20)^2 + 5 \text{ ps}^2} = 0,018 \text{ ns}$$

Maka, $T_{system} < 0,07$

3.3 Penentuan Parameter Sistem jaringan

Penentuan parameter sistem jaringan ini disesuaikan dengan beberapa standarisasi yang ditetapkan oleh ITU-T. Ada 2 standarisasi yang penting dalam penentuan parameter pada penelitian ini, yaitu ITU-T G.989.2 yang mengatur tentang NG-PON 2 dan ITU-T G.652.C yang mengatur tentang kabel jenis *Single Mode Fiber* (SMF). Semua parameter tidak berubah selama penelitian ini berlangsung. Hanya parameter panjang gelombang dan atenuasi saja yang berubah. Parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan *datasheet* diatas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Parameter Blok OLT

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Transmitter power	8	dBm
2.	Modulation Type	NRZ	Type
3.	Bandwidth	10	GHz
4.	Number of Output Splitter	4	Output
5.	Number of Input Mux	4	Input
6.	Number of Output Demux	4	Output
7.	Linewidth Output	10	MHz
8.	Bit Rate	10	Gbps

Tabel 3.2 Parameter Blok ODN [17]

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Reference Wavelength	1550	nm
2.	Length	20	km
3.	Dispersion	17	ps/nm/km
4.	Dispersion Slope	0,06	ps/nm ² /km
5.	Effective Core Area	80	µm ²
6.	PMD Coefficient	0,5	ps/sqrt(km)
7.	Temperature	300	K

Tabel 3.3 Parameter Blok ONU

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Transmitter power	8	dBm
2.	Modulation Type	NRZ	Type
3.	Bandwidth	10	GHz
4.	Responsivity	1	A/W
5.	Linewidth Output	10	MHz
6.	Bit Rate	10	Gbps
7.	Ionization Ratio	0,7	-

3.4 Memasukkan Panjang Gelombang

Pada penelitian ini skenario yang dilakukan adalah dengan memasukkan 3 jenis panjang gelombang yaitu TWDM, G-PON, dan XG-PON dengan *channel spacing* 50, 100, 150, dan 200 Ghz. Panjang gelombang TWDM yang digunakan adalah 1524-1544 nm untuk *upstream* dan 1596-1603 nm untuk *downstream*. Panjang gelombang G-PON yang digunakan adalah 1290-1330 nm untuk *upstream* dan 1480-1500 nm untuk *downstream*. Panjang gelombang XG-PON yang digunakan adalah 1260-1280 nm untuk *upstream* dan 1575-1580 nm untuk *downstream*. Daftar panjang gelombang yang akan digunakan sebagai skenario penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Panjang Gelombang yang Digunakan

TWDM								
Upstream (1524 nm - 1544 nm)					Downstream (1596 nm - 1603 nm)			
	50 GHz	100 GHz	150 GHz	200 GHz	50 GHz	100 GHz	150 GHz	200 GHz
s1	1524	1524	1524	1524	1596	1596	1596	1596
s2	1524.39	1524.78	1525.16	1525.55	1596.42	1596.85	1597.28	1597.70
s3	1524.78	1525.55	1526.33	1527.11	1596.85	1597.70	1598.55	1599.41
s4	1525.16	1526.33	1527.49	1528.66	1597.28	1598.55	1599.83	1601.11
XG-PON								
Upstream (1260 nm - 1280 nm)					Downstream (1575 nm - 1580 nm)			
	50 GHz	100 GHz	150 GHz	200 GHz	50 GHz	100 GHz	150 GHz	200 GHz
s1	1260	1260	1260	1260	1575	1575	1575	1575
s2	1260.26	1260.53	1260.79	1261.06	1575.41	1575.83	1576.24	1576.66
s3	1260.53	1261.06	1261.59	1262.12	1575.83	1576.66	1577.49	1578.32
s4	1260.79	1261.59	1262.39	1263.19	1576.24	1577.49	1578.73	1579.98
G-PON								
Upstream (1290 nm - 1330 nm)					Downstream (1480 nm - 1500 nm)			
	50 GHz	100 GHz	150 GHz	200 GHz	50 GHz	100 GHz	150 GHz	200 GHz
s1	1290	1290	1290	1290	1480	1480	1480	1480
s2	1290.28	1290.56	1290.83	1291.11	1480.37	1480.73	1481.10	1481.46
s3	1290.56	1291.11	1291.67	1292.22	1480.73	1481.46	1482.20	1482.93
s4	1290.83	1291.67	1292.50	1293.34	1481.10	1482.20	1483.30	1484.40

3.5 Simulasi Sistem Jaringan

Pada penelitian ini, terdapat 12 skenario yang harus disimulasikan. Hal ini karena skenario yang dilakukan adalah dengan memasukkan 3 jenis panjang gelombang yaitu TWDM, G-PON, dan XG-PON dengan *channel spacing* 50, 100, 150, dan 200 Ghz. Nilai atenuasi yang digunakan juga menyesuaikan dengan panjang gelombang yang digunakan dengan mengacu pada standarisasi ITU-T G.652. Skenario yang akan disimulasikan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Skenario Penelitian

Skenario	Jenis Panjang Gelombang	Atenuasi	Channel Spacing
Skenario 1	TWDM <i>Upstream</i>	0.4 dB/km	50 GHz
	TWDM <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 2	TWDM <i>Upstream</i>	0.4 dB/km	100 GHz
	TWDM <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 3	TWDM <i>Upstream</i>	0.4 dB/km	150 GHz
	TWDM <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 4	TWDM <i>Upstream</i>	0.4 dB/km	200 GHz
	TWDM <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 5	XG-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	50 GHz
	XG-PON <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 6	XG-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	100 GHz
	XG-PON <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 7	XG-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	150 GHz
	XG-PON <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 8	XG-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	200 GHz
	XG-PON <i>Downstream</i>	0.35 dB/km	
Skenario 9	G-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	50 GHz
	G-PON <i>Downstream</i>	0.4 dB/km	
Skenario 10	G-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	100 GHz
	G-PON <i>Downstream</i>	0.4 dB/km	
Skenario 11	G-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	150 GHz
	G-PON <i>Downstream</i>	0.4 dB/km	
Skenario 12	G-PON <i>Upstream</i>	0.5 dB/km	200 GHz
	G-PON <i>Downstream</i>	0.4 dB/km	

3.6 Analisis Parameter Performansi

Parameter performansi yang digunakan adalah BER, *Q-factor*, dan SNR. Dari perhitungan menggunakan rumus-rumus yang ada pada sub bab 2.4, didapatkan dengan hasil seperti berikut.

Tabel 3.6 SNR dengan Perhitungan Manual

Panjang gelombang	SNR (dB)	Rata-Rata
TWDM <i>Upstream</i>	24,79	25,425
TWDM <i>Downstream</i>	26,06	
XG-PON <i>Upstream</i>	22,05	24,055
XG-PON <i>Downstream</i>	26,06	
G-PON <i>Upstream</i>	22,05	23,42
G-PON <i>Downstream</i>	24,79	

Tabel 3.7 *Q-Factor* dengan Perhitungan Manual

Panjang gelombang	<i>Q-factor</i>	Rata-Rata
TWDM <i>Upstream</i>	8,68	9,365
TWDM <i>Downstream</i>	10,05	
XG-PON <i>Upstream</i>	6,33	8,190
XG-PON <i>Downstream</i>	10,05	
G-PON <i>Upstream</i>	8,68	7,505
G-PON <i>Downstream</i>	6,33	

Tabel 3.8 BER dengan Perhitungan Manual

Panjang Gelombang	BER
TWDM <i>Upstream</i>	2,03E-18
TWDM <i>Downstream</i>	4,41E-24
XG-PON <i>Upstream</i>	1,25E-10
XG-PON <i>Downstream</i>	4,41E-24
G-PON <i>Upstream</i>	1,25E-10
G-PON <i>Downstream</i>	2,03E-18

4. Simulasi dan Analisis

4.1 Simulasi Pemodelan Sistem Jaringan

Pada OLT terdapat 2 bagian, yaitu OLT *transmitter* (Tx) dan OLT *receiver* (Rx). Hal ini dikarenakan simulasi yang dilakukan menggunakan transmisi *bidirectional* / dua arah dalam satu sistem yaitu *upstream* dan *downstream*. Pada OLT *transmitter* yaitu untuk kebutuhan *downstream*, tersusun atas *Bit Sequence Generator*, *Optical Pulse Generator*, *Optical Source*, dan *Optical Modulator*. Sedangkan OLT *receiver* yaitu untuk kebutuhan *upstream*, tersusun atas *Buffer Selector*, *Optical Filter*, *Photodetector*, dan *Electrical Filter*. Selain itu, pada OLT *receiver* juga terdapat 3R Regenerator yang berfungsi sebagai mengembalikan sinyal ke bentuk semula dan melakukan sinkronisasi.

Blok ODN dibagi menjadi dua komponen yaitu kabel optik berjenis *Single Mode Fiber* (SMF) dengan standar ITU-T G.652.C dengan komponen seperti pada gambar 4.4. Dua titik pembagi yaitu *Optical Distribution Cabinet* (ODC) dan *Optical Distribution Point* (ODP) seperti pada gambar 4.5. Pada blok ODN ini dirancang dengan 10 kilometer serat optik sebelum ODC dan 10 kilometer serat optik sebelum ODP. Blok ODN ini yang akan menentukan banyaknya ONU yang dapat dilayani dan panjang serat optik yang digunakan. Dalam sistem jaringan ini terdapat 64 ONU dan panjang serat optik 20 kilometer. Karakteristik parameter serat optik untuk sistem jaringan NG-PON 2 ini mengikuti ketentuan dengan kabel jenis SMF ITU-T G.652.C [4].

Pada ONU terdapat 2 bagian, yaitu ONU *transmitter* (Tx) dan ONU *receiver* (Rx). Hal ini dikarenakan simulasi yang dilakukan menggunakan transmisi *bidirectional* / dua arah dalam satu sistem yaitu *upstream* dan *downstream*. Pada ONU *transmitter* yaitu untuk kebutuhan *upstream*, tersusun atas *Optical Source* dan *Dynamic Y Select*. Sedangkan ONU *receiver* yaitu untuk kebutuhan *downstream*, tersusun atas *Optical Filter*, *Photodetector*, dan *Electrical Filter*. Selain itu, pada ONU *receiver* juga terdapat 3R Regenerator yang berfungsi sebagai mengembalikan sinyal ke bentuk semula dan melakukan sinkronisasi.

4.2 Analisis SNR

Pada sistem komunikasi optik modern, biasanya nilai SNR tidak kurang dari 10,79 dB [8]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa parameter SNR terbesar yaitu pada panjang gelombang TWDM dengan nilai rata-rata 23,677 dB. Panjang gelombang XG-PON dan G-PON menghasilkan nilai rata-rata masing-masing 21,677 dB dan 20,902 dB. Hal ini menunjukkan bahwa dari parameter SNR panjang gelombang XG-PON dan G-PON layak untuk sistem jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM walaupun nilainya masih dibawah nilai pada panjang gelombang TWDM. *Channel spacing* tidak mempengaruhi besarnya SNR disetiap panjang gelombang yang digunakan. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai SNR pada *channel spacing* yang berbeda tidak memiliki perbedaan yang signifikan maupun berubah beraturan.

Tabel 4.1 SNR dengan Simulasi

Panjang Gelombang	Channel Spacing (GHz)	Arah	SNR				Rata-rata SNR	
			Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4		
TWDM	50	Upstream	23,34	23,36	23,35	23,30	23,6763	
		Downstream	24,73	25,55	25,39	25,35		
	100	Upstream	23,32	23,30	23,29	21,29		
		Downstream	24,83	25,59	25,32	25,36		
	150	Upstream	23,32	23,31	23,31	23,33		
		Downstream	24,48	25,65	19,35	26,34		
200	Upstream	23,34	23,34	23,34	23,34			
	Downstream	22,96	21,29	22,24	22,03			
XG-PON	50	Upstream	19,34	19,36	19,35	19,30		21,6772
		Downstream	24,71	25,55	25,35	25,34		
	100	Upstream	19,32	19,30	19,30	19,31		
		Downstream	24,83	25,59	25,33	25,33		
	150	Upstream	19,32	19,30	19,30	19,32		
		Downstream	22,46	23,94	24,19	23,72		
200	Upstream	19,33	19,33	19,33	19,33			
	Downstream	22,45	21,42	20,55	23,77			
G-PON	50	Upstream	19,34	19,30	19,33	19,34	20,9028	
		Downstream	22,69	23,49	23,49	23,29		
	100	Upstream	19,32	19,30	19,30	18,52		
		Downstream	22,82	23,59	23,34	23,34		
	150	Upstream	19,28	19,32	19,36	19,36		
		Downstream	22,48	22,56	21,67	24,34		
200	Upstream	19,33	19,33	19,33	19,33			
	Downstream	18,65	21,29	20,83	22,63			

4.3 Analisis Q-Factor

Hasil simulasi menunjukkan bahwa parameter *Q-Factor* terbesar yaitu pada panjang gelombang TWDM dengan nilai rata-rata 7,594. Panjang gelombang XG-PON dan G-PON menghasilkan nilai rata-rata masing-masing 7,348 dan 7,584. Hal ini menunjukkan bahwa dari parameter *Q-Factor* panjang gelombang XG-PON dan G-PON layak untuk sistem jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM walaupun nilainya masih dibawah nilai pada panjang gelombang TWDM, sama halnya pada SNR. *Channel spacing* tidak mempengaruhi besarnya *Q-Factor* disetiap panjang gelombang yang digunakan sama halnya seperti SNR. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai *Q-Factor* pada *channel spacing* yang berbeda tidak memiliki perbedaan yang signifikan maupun berubah beraturan.

Tabel 4.2 Q-Factor dengan Simulasi Optisystem

Panjang Gelombang	Channel Spacing (GHz)	Arah	Q-factor				Rata-rata Q-Factor	
			Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4		
TWDM	50	Upstream	7,66	7,48	8,01	7,82	7,6587	
		Downstream	7,65	7,60	7,87	7,65		
	100	Upstream	7,75	7,97	7,45	7,88		
		Downstream	7,63	7,54	7,46	7,72		
	150	Upstream	7,51	7,76	7,64	7,82		
		Downstream	7,66	7,47	7,68	7,60		
200	Upstream	7,52	7,63	7,77	7,67			
	Downstream	7,35	7,36	7,94	7,56			
XG-PON	50	Upstream	7,26	7,47	7,09	7,39		7,4937
		Downstream	7,97	7,65	7,55	7,81		
	100	Upstream	7,19	7,48	7,04	7,05		
		Downstream	8,08	7,98	7,65	7,46		
	150	Upstream	7,17	7,23	6,97	7,57		
		Downstream	7,84	7,77	7,61	7,66		
200	Upstream	7,17	7,53	7,12	7,31			
	Downstream	7,86	7,59	7,69	7,59			
G-PON	50	Upstream	7,09	7,34	6,91	7,77	7,4593	
		Downstream	8,09	7,51	7,4	7,83		
	100	Upstream	7,29	7,59	7,67	7,02		
		Downstream	7,41	7,76	7,74	7,36		
	150	Upstream	6,72	7,59	6,46	8,02		
		Downstream	8,06	7,61	7,64	7,61		
200	Upstream	6,71	7,53	7,23	6,46			
	Downstream	7,71	7,99	7,87	7,71			

4.4 Analisis BER

Bit Error Rate (BER) merupakan rasio perbandingan antara bit yang salah dengan bit yang dikirimkan keseluruhan. BER menunjukkan seberapa banyak kesalahan pembacaan di sisi penerima pada setiap pengiriman [1]. Sistem jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM dikatakan layak saat nilai maksimum BER 10^{-3} pada sisi *upstream* maupun *downstream* [4]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa parameter BER terbesar yaitu pada panjang gelombang TWDM dengan nilai rata-rata BER pada *upstream* sebesar $2,56 \times 10^{-14}$ dan *downstream* $5,69 \times 10^{-14}$ sehingga rata-rata keseluruhan sistem adalah $4,13 \times 10^{-14}$. Panjang gelombang XG-PON memiliki rata-rata BER pada *upstream* sebesar $9,44 \times 10^{-12}$ dan *downstream* $1,34 \times 10^{-14}$ sehingga rata-rata keseluruhan sistem adalah $4,73 \times 10^{-12}$. Pada panjang gelombang G-PON memiliki nilai rata-rata BER pada *upstream* sebesar $1,73 \times 10^{-12}$ dan *downstream* sebesar $8,81 \times 10^{-15}$ sehingga rata-rata keseluruhan sistem adalah $8,67 \times 10^{-13}$. Hal ini menunjukkan bahwa

dari parameter BER panjang gelombang XG-PON dan G-PON layak untuk sistem jaringan NG-PON 2 dengan teknologi TWDM walaupun nilainya masih dibawah nilai pada panjang gelombang TWDM. *Channel spacing* tidak mempengaruhi besarnya *Q-Factor* disetiap panjang gelombang yang digunakan sama halnya seperti SNR. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai *Q-Factor* pada *channel spacing* yang berbeda tidak memiliki perbedaan yang signifikan maupun berubah beraturan.

Tabel 4.3 BER dengan Simulasi pada Optixsystem

Panjang Gelombang	Channel Spacing (GHz)	Arah	BER				Rata-rata BER		
			Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4	US	DS	US&DS
TWDM	50	Upstream	8,27E-15	3,25E-14	5,23E-16	2,32E-15	1,11E-14	2,74E-14	1,92E-14
		Downstream	8,98E-15	1,29E-14	1,66E-15	9,19E-15			
	100	Upstream	4,02E-15	7,21E-16	4,08E-14	1,44E-15			
		Downstream	1,08E-14	2,06E-14	3,87E-14	5,50E-15			
	150	Upstream	2,60E-14	3,78E-15	9,57E-15	2,28E-15			
		Downstream	8,61E-14	3,68E-14	7,14E-15	1,33E-14			
200	Upstream	2,36E-14	1,04E-14	3,64E-15	7,43E-15				
	Downstream	8,75E-14	8,02E-14	9,32E-16	1,78E-14				
XG-PON	50	Upstream	1,74E-13	3,71E-14	6,02E-13	6,67E-14	4,23E-13	8,90E-15	2,16E-13
		Downstream	6,98E-16	9,16E-15	1,91E-14	2,50E-15			
	100	Upstream	2,84E-13	3,29E-14	8,28E-13	7,68E-13			
		Downstream	2,84E-16	6,56E-16	8,76E-15	4,72E-14			
	150	Upstream	3,30E-13	2,04E-13	1,44E-12	1,71E-14			
		Downstream	2,01E-15	3,65E-15	1,27E-14	8,18E-15			
200	Upstream	3,39E-13	2,35E-14	4,74E-13	1,14E-12				
	Downstream	1,70E-15	1,41E-14	6,62E-15	5,14E-15				
G-PON	50	Upstream	5,91E-13	9,84E-14	2,15E-12	3,40E-15	7,48E-12	1,69E-14	3,75E-12
		Downstream	2,69E-16	2,63E-14	6,01E-14	2,28E-15			
	100	Upstream	1,39E-13	1,43E-14	7,46E-15	9,89E-12			
		Downstream	5,42E-14	3,79E-15	4,31E-15	8,30E-14			
	150	Upstream	8,13E-12	1,44E-14	4,50E-11	4,41E-16			
		Downstream	3,48E-16	1,25E-14	9,50E-15	2,53E-16			
200	Upstream	8,39E-12	2,30E-14	2,16E-13	4,50E-11				
	Downstream	5,27E-15	5,65E-16	1,52E-15	5,85E-15				

5. Kesimpulan

- Menurut analisis dari nilai SNR, Q-Factor, dan BER dengan perhitungan manual maupun dengan hasil simulasi, panjang gelombang XG-PON dan G-PON layak atau dapat digunakan pada sistem jaringan NG-PON 2 dengan menggunakan teknologi TWDM karena telah melebihi batas dari ketentuan walaupun nilainya masih lebih rendah dari panjang gelombang TWDM.
- Menurut analisis parameter performansi keseluruhan, bahwa rentang panjang gelombang atau *channel spacing* tidak mempengaruhi secara signifikan. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan nilai di seluruh parameter performansi SNR, Q-Factor maupun BER tidak memiliki perbedaan yang signifikan maupun berubah beraturan.

DAFTAR REFERENSI

- A. S. Putri, A. Hambali dan A. D. Pambudi. SIMULASI DAN ANALISIS PENGARUH AGREGASI OLT PADA PERFORMANSI JARINGAN NG-PON2. Bandung. 2017.
- G. Keiser. Optical Fiber Communication (Second Edition). 1991.
- ITU. ITU-T G.989 in 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Definitions, abbreviations and acronyms. 2016.
- ITU. ITU-T G.989.2 in 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification. 2015.
- J. C. V. Micolta. Analysis of performances and tolerances of second generation passive optical networks (NG-PON2) for FTTH systems. 2014.
- Laboratorium SKO Telkom University. Modul OFT 14. Bandung. 2016.
- N. Prabowo, A. Hambali dan A. D. Pambudi. PERANCANGAN DESAIN FIBER TO THE TOWER (FTTT) UNTUK KOMUNIKASI BROADCAST SEBAGAI BACKHAUL JARINGAN DARI PARIZ VAN JAVA TV BANDUNG. Bandung. 2017.
- W. H. Ali, A. Hambali dan A. D. Pambudi. SIMULASI DAN ANALISIS JARINGAN TIME AND WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING PASSIVE OPTICAL NETWORK MENUJU NEXT GENERATION NETWORK. Bandung. 2017.
- Y. Lou, X. Zhou, F. Effenberger and X. Yan. Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) for Next-Generation PON stage 2 (NG-PON 2). JOURNAL OF LIGHTWAVE. 2013.