

## ANALISIS PERFORMANSI *OPTICAL DISTRIBUTION NETWORK (ODN) NG-PON2* MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *TIME-AND-WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (TWDM)*

### *PERFORMANCE ANALYSIS OF OPTICAL DISTRIBUTION NETWORK (ODN) NG-PON2 USING TIME-AND-WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (TWDM) TECHNOLOGY*

Satya Prianggono<sup>1</sup>, Akhmad Hambali<sup>2</sup>, Afief Dias Pambudi<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup> [satyprianggono@gmail.com](mailto:satyaprianggono@gmail.com), <sup>2</sup> [bphambali@yahoo.com](mailto:bphambali@yahoo.com), <sup>3</sup> [afiefdiaspambudi@gmail.com](mailto:afiefdiaspambudi@gmail.com)

#### ABSTRAK

Salah satu teknologi komunikasi serat optik yang baru saja dikembangkan adalah *Next-Generation Passive Optical Network Stage 2 (NG-PON2)*. NG-PON2 digagas untuk memenuhi kebutuhan jaringan akses *broadband* masa depan dengan kemampuan untuk meningkatkan *bitrate* hingga lebih dari 10 Gbps dengan metode agregasi OLT dan menggunakan teknologi *Time-and-Wavelength Division Multiplexing (TWDM)*. Pada Tugas Akhir ini dilakukan perancangan dan analisis performansi jaringan NG-PON2 berbasis TWDM. Perancangan dilakukan untuk mengetahui pengaruh fisik khususnya segmen distribusi terhadap performansi NG-PON2. Skenario pengujian menggunakan 4 OLT dengan kecepatan 40 Gbps, lima tipe serat optik berdasarkan standar ITU-T G.652.C/D, G.652.B, G.653, G.655, dan G.652.A, dengan jarak 20 km menggunakan dua titik pembagi (dengan total *split ratio* 1:64 dan 1:128).

Dari hasil simulasi, dilakukan analisis terhadap *Link Power Budget (LPB)*, *Signal to Noise Ratio (SNR)*, *Q-factor*, dan *Bit Error Rate (BER)*. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan tipe serat G.652.C dan G.652.D memberikan performansi yang terbaik pada setiap parameter performansi. Dengan 64 ONU arah *downstream* menghasilkan LPB = -25,407 dBm, *Q-factor* = 9,115, BER =  $2,72 \times 10^{-19}$ , sedangkan arah *upstream* menghasilkan LPB = -25,037, *Q-factor* = 10,619, BER =  $1,36 \times 10^{-24}$ . Dan dengan 128 ONU arah *downstream* menghasilkan LPB = -25,491 dBm, *Q-factor* = 8,576, BER =  $6,86 \times 10^{-16}$ , sedangkan arah *upstream* menghasilkan LPB = -25,047 dBm, *Q-factor* = 12,064, BER =  $1,59 \times 10^{-24}$ .

**Kata kunci:** NG-PON2, ODN, TWDM.

#### ABSTRACT

*One of the recently-developed optical fiber communication technology is Next-Generation Passive Optical Network Stage 2 (NG-PON2). NG-PON2 is initiated to fulfill the needs of next generation broadband access network with the ability to increase the bitrate up to more than 10 Gbps with OLT aggregation methods and using Time-and-Wavelength Division Multiplexing (TWDM) technology. Design and performance analysis of TWDM-based NG-PON2 network is done in this final project. The design is done to find out the effect of the physical layer particularly the distribution segment to the performance of NG-PON2. For the testing scenarios, using 4 OLTs with bitrate of 40 Gbps, five types of optical fibers based on ITU-T G.652.C/D, G.652.B, G.653, G.655, and G.652.A, with distance of 20 km using two distribution points (with total split ratio 1:2<sup>6</sup> and 1:2<sup>7</sup>).*

*From the simulation results, analysis of Link Power Budget (LPB), Signal to Noise Ratio (SNR), Q-factor, and Bit Error Rate (BER) are done. Based on simulation results, G.652.C fibre and G.652.D give the best performance in every performance parameters. Using 64 ONUs for downstream obtain LPB = -25.407 dBm, Q-factor = 9.115, BER =  $2.72 \times 10^{-19}$ , while for upstream obtain LPB = -25.037, Q-factor = 10.619, BER =  $1.36 \times 10^{-24}$ . And using 128 ONUs for downstream obtain LPB = -25.491 dBm, Q-factor = 8.576, BER =  $6.86 \times 10^{-16}$ , while for upstream obtain LPB = -25.047 dBm, Q-factor = 12.064, BER =  $1.59 \times 10^{-24}$ .*

**Keywords:** NG-PON2, ODN, TWDM.

#### 1. Pendahuluan

Layanan *broadband*, setiap tahunnya, selalu mengalami peningkatan jumlah permintaan *bandwidth* oleh pengguna. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut saat ini jaringan komunikasi *wireline* sudah mulai beralih ke media transmisi serat optik, dimana sinyal informasi yang akan ditransmisikan sebelumnya dimodulasi terlebih dahulu ke sinyal *carrier* berupa cahaya pada panjang gelombang tertentu [1]. Sekarang, sebagian besar jaringan akses telah menggunakan berbagai macam teknologi *Passive Optical Network (PON)*. Adapun teknologi PON yang belum lama distandarisasi oleh ITU-T pada tahun 2015, yaitu *Next-Generation Passive Optical Network stage 2 (NG-PON2)*. Dengan kemampuan untuk meningkatkan laju bit hingga lebih 10 Gbps pada jaringan akses optik dengan metode agregasi OLT XG-PON menggunakan teknologi *Time-and-Wavelength Division Multiplexing (TWDM)* [2]. Jaringan NG-PON2 setidaknya memiliki *bitrate* minimum 40 Gbps arah *downstream* dan 10 Gbps arah *upstream* dengan teknik TWDM dan metode agregasi empat buah

OLT XG-PON yang memiliki *bitrate* masing-masing kanal 10 Gbps arah *downstream* dan 2,5 Gbps arah *upstream* [1].

Pada Tugas Akhir ini dilakukan perancangan jaringan akses NG-PON2 dengan menggunakan empat buah panjang gelombang dengan *bitrate* masing-masing kanal 10 Gbps dan panjang *link* 20 km, dan kemudian dilakukan evaluasi dan analisis performansinya apabila dilakukan rekayasa pada segmen distribusinya, menggunakan lima tipe serat optik berdasarkan standar ITU-T G.652.C/D, G.652.B, G.653, G.655, dan G.652.A serta dua *split ratio* (1:2<sup>6</sup> dan 1:2<sup>7</sup>). Perancangan dan simulasi ini dapat digunakan untuk persiapan penggelaran maupun perluasan jaringan, demi memenuhi kebutuhan layanan komunikasi, dan penerapan jaringan akses pada daerah residensial. Dari hasil simulasi, dilakukan analisis performansi sistem menggunakan parameter analisis performansi LPB, SNR, *Q-factor*, dan BER sebagai batas keberhasilan rancangan sistem ini.

## 2. NG-PON2 Menggunakan TWDM

Jaringan komunikasi umumnya terdiri dari tiga segmen; jaringan *backbone/core/long-haul*, jaringan *metro/regional*, dan jaringan akses. Jaringan akses *broadband* memberikan layanan berkecepatan tinggi sampai ke pelanggan, seperti *internet* dan *multimedia* [3]. Pada segmen jaringan akses terjadi persaingan ketat di antara beberapa teknologi; DSL, *hybrid fiber coax*, nirkabel, dan FTTx [4]. Namun jaringan akses kabel tembaga memiliki kekurangan yaitu keterbatasan kapasitas atau *bandwidth* dan *bitrate*. Oleh karena itu penyedia layanan menawarkan jaringan akses serat optik, yang setidaknya mampu mentransmisikan 50 Mbps arah *downstream* dan 10 Mbps arah *upstream* per pengguna.

Jaringan akses serat optik dapat terhubung menggunakan dua jenis topologi, *point-to-point* (P2P) atau *point-to-multipoint* (P2MP). Topologi P2P menghubungkan kantor pusat (sentral) secara langsung ke satu pengguna biasanya pengguna berupa perusahaan, kantor, atau titik non-komersil yang membutuhkan kecepatan data yang tinggi sehingga *bandwidth* dan *bitrate* didedikasikan untuk titik tersebut, yang tentunya membutuhkan biaya yang lebih tinggi. Topologi P2MP menghubungkan kantor pusat (sentral) ke beberapa pengguna secara langsung, konfigurasi ini cocok untuk digunakan pada daerah residensial seperti perumahan, apartemen, atau kantor kecil, dimana biaya yang dibutuhkan relatif lebih rendah karena semua pelanggan dapat dilayani dengan menggunakan serat optik yang sama, dengan mengirimkan data TDM, WDM, maupun *hybrid* secara bersamaan [3]. Spektrum panjang gelombang yang dapat dilalui pada serat optik berkisar antara 1260-1675 nm yang dibagi menjadi enam spektrum utama [3], seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spektrum Panjang Gelombang [3]

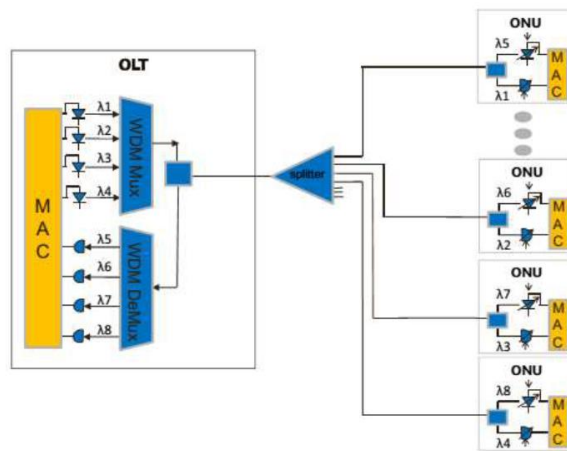
<i>Band</i>	<i>Description</i>	<i>Wavelength (nm)</i>
<i>O-band</i>	<i>Original</i>	1260 – 1360
<i>E-band</i>	<i>Extended</i>	1360 – 1460
<i>S-band</i>	<i>Short Wavelength</i>	1460 – 1530
<i>C-band</i>	<i>Conventional</i>	1530 – 1565
<i>L-band</i>	<i>Long Wavelength</i>	1565 – 1625
<i>U-band</i>	<i>Ultra-Long Wavelength</i>	1625 – 1675

Teknologi PON telah melewati evolusi yang panjang menuju NG-PON2, dengan setiap teknologi PON dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan *bandwidth* pelanggan. Sampai saat ini telah banyak terdapat implementasi dari teknologi PON, seperti pertama *Asynchronous Transfer Mode over Passive Optical Network* (APON) yang telah distandarisasi ITU-T (G.983.1 dan G.983.2) pada tahun 1995 dengan membawa laju bit 155 Mbps untuk masing-masing arah *downstream* dan *upstream*, teknologi satu port OLT APON dapat melayani 32 pelanggan dengan jarak maksimal 20 Km. Kedua *Broadband Passive Optical Network* (BPON) yang telah distandarisasi ITU-T (G.983.3 sampai G.983.5) pada tahun 2000 dengan membawa laju bit yang lebih tinggi hingga 625 Mbps untuk masing-masing arah *downstream* dan *upstream*. Ketiga *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) yang telah distandarisasi ITU-T (G.984.1 hingga G.984.4) pada tahun 2001 dengan penambahan amandemen pada tahun 2006, membawa laju bit 2,5 Gbps untuk arah *downstream* dan 1,25 Gbps untuk arah *upstream*. Keempat *Ethernet Passive Optical Network* (EPON) distandarisasi oleh IEEE (802.3ah) pada tahun 2001 untuk laju bit simetris 1 Gbps. Kelima *10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network* (10G-EPON) distandarisasi oleh IEEE (802.3av) pada tahun 2007 membawa laju bit yang lebih tinggi 10 Gbps untuk arah *downstream* dan *upstream*. Kemudian dilanjutkan dengan *Next Generation Passive Optical Network 1* (NG-PON1) yang telah distandarisasi oleh ITU-T (seri G.987) pada tahun 2007 membawa laju bit 10 Gbps untuk arah *downstream* dan 2,5 Gbps untuk arah *upstream*. Terakhir adalah *Next Generation Passive Optical Network 2* (NG-PON2) yang telah distandarisasi oleh ITU-T (seri G.989) pada tahun 2015, dirancang untuk

memenuhi komunikasi dengan jarak yang jauh, termasuk area bisnis dan akses residensial karena membawa laju bit hingga 40 Gbps untuk arah *downstream* dan 10 Gbps untuk arah *upstream* [3]. Perbandingan teknologi PON ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Evolusi PON [3]

<i>Technology</i>	A/BPON	EPON (GEPON)	GPON	10GEPON	NG-PON2
<i>Standard</i>	ITU G.983	IEEE802ah	ITU G.984	IEEE P802.3av	ITU G.989
<i>Max Downstream Line Rate</i>	622 Mbps	1.2 Gbps	2.4 Gbps	IP: 2.4 Gbps, Broadcast: 5 Gbps, On-demand: 2.5 Gbps	40 Gbps
<i>Max Upstream Line Rate</i>	155/622 Mbps	1.2 Gbps	1.2 Gbps	2.5 Gbps	10 Gbps
<i>Downstream Wavelength</i>	1490 and 1550 nm	1550 nm	1490 and 1550 nm	1550 nm	<i>Individual wavelength</i>
<i>Upstream Wavelength</i>	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm	<i>Individual wavelength</i>
<i>Max Split Ratio</i>	Up to 32	Up to 32	Up to 64	Up to 32	Up to 64
<i>Max Distance</i>	20 km	20 km	20 km	10 km	Up to 40 km
<i>Average BW per User</i>	20 Mbps	60 Mbps	40 Mbps	20 Mbps	Up to 10 Gbps



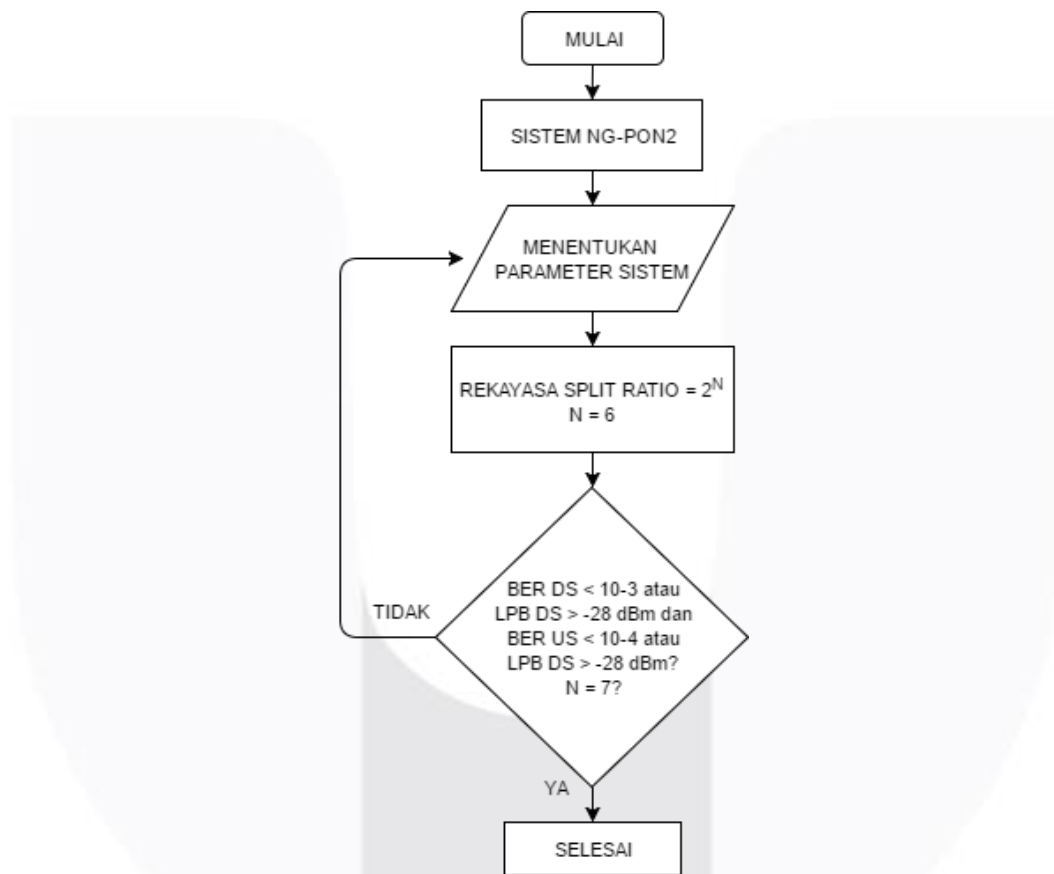
Gambar 1 Arsitektur TWDM-PON [3]

Memulai langkah selanjutnya pada perkembangan jaringan akses *broadband*, ITU-T menetapkan NG-PON2 yang merupakan teknologi PON dengan kapasitas 40 Gbps. Pada April 2012, FSAN menentukan teknik *multiplexing hybrid* TDM dan WDM (TWDM) sebagai solusi untuk NG-PON2. TWDM menggabungkan kelebihan dari TDM yaitu penyediaan kapasitas yang lebih besar, dan kelebihan WDM yaitu penyediaan panjang gelombang kerja yang lebih banyak dalam satu sistem [5]. Perbedaan mendasar NG-PON2 dengan generasi PON sebelumnya adalah dilakukannya agregasi empat sampai delapan OLT yang digabungkan menggunakan *wavelength multiplexer*. Setiap OLT harus terdiri dari *tunable transmitter* dengan kapasitas 10 Gbps, *tunable receiver* dengan kapasitas 10 atau 2,5 Gbps, dan filter untuk memisahkan sinyal *upstream* dan *downstream*. Dan setiap ONU juga harus dilengkapi dengan *tunable transmitter*, *tunable receiver*, dan filter [6]. Pada Gambar 1 ditampilkan arsitektur dasar dari jaringan NG-PON2 berbasis TWDM-PON, jaringan ini dibagi menjadi beberapa segmen utama. Pertama yaitu OLT TWDM yang tersusun dari empat sampai dengan delapan OLT XG-PON dengan pasangan panjang gelombang untuk *downstream* dan *upstream* yang berbeda-beda. Perencanaan panjang gelombang untuk NG-PON2 dijabarkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perencanaan Panjang Gelombang NG-PON2 [6]

Kanal	Downstream		Upstream	
	Frekuensi (THz)	Panjang gelombang (nm)	Frekuensi (THz)	Panjang gelombang (nm)
1	187,8	1596,34	195,6	1532,68
2	187,7	1597,19	195,5	1533,53
3	187,6	1598,04	195,4	1534,38
4	187,5	1598,89	195,3	1535,23
5	187,4	1599,75	195,2	1536,08
6	187,3	1600,60	195,1	1536,93
7	187,2	1601,46	195,0	1537,78
8	187,1	1602,31	194,9	1538,63

### 3. Perencanaan Simulasi Sistem NG-PON2



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Gambar 2 menampilkan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penyelesaian penelitian ini. Langkah pertama yaitu merancang sistem NG-PON2 berbasis TWDM. Perancangan sistem ini menggunakan perangkat lunak *Optisystem*, rancangan NG-PON2 dibuat menjadi beberapa blok atau segmen penyusun utama. Langkah selanjutnya adalah memasukkan parameter-parameter yang digunakan dalam sistem ini, setelah dilakukan rekayasa pada atribut kabel optik, kemudian dilakukan rekayasa pada bagian *split ratio*, total *split ratio* yang digunakan pada penelitian ini adalah 1:64 dan 1:128. Setelah dilakukan konfigurasi parameter, kemudian sistem disimulasikan menggunakan empat buah OLT dengan jarak 20 km. Langkah selanjutnya, data yang didapat dari hasil simulasi dianalisis sesuai dengan parameter performansi yang telah ditentukan. Setelah pengambilan data dan analisa terhadap hasil simulasi selesai dilakukan, maka akan ditarik kesimpulan yang

menjadi langkah terakhir dalam penelitian ini. Serta Tabel 4 dan 5 menjabarkan parameter dan karakteristik perangkat dan komponen pada ODN yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4 Karakteristik SMF [7]

No.	Tipe Serat	Atenuasi (dB/Km)	Dispersi (ps/nm.Km)	Penurunan Dispersi (ps/nm <sup>2</sup> .Km)
1.	G.652.A	0,40	17,46	0,056
2.	G.652.B	0,35	17,46	0,056
3.	G.652.C/D	0,30	17,46	0,056
4.	G.653	0,35	2,68	0,085
5.	G.655	0,35	8,85	0,07

Tabel 5 Karakteristik Komponen ODN [8]

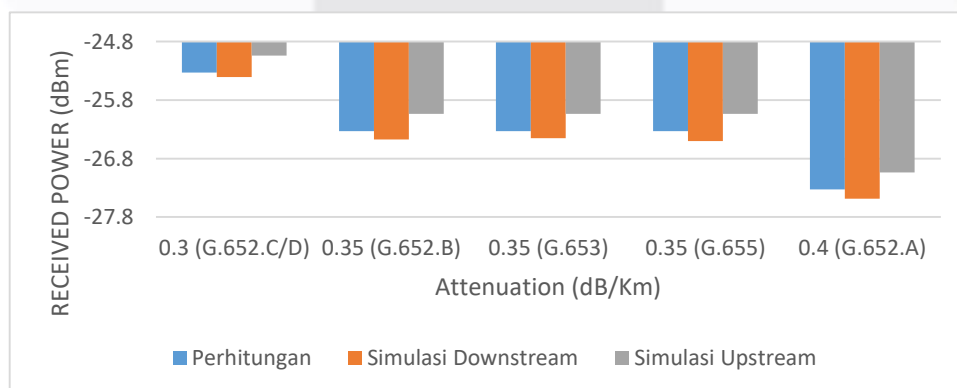
No.	Komponen	Satuan	Standar Redaman (dB)
1.	Konektor SC/UPC	buah	0,25
2.	Konektor SC APC/UPC	buah	0,35
2.	Sambungan	buah	0,10
3.	<i>Splitter</i> 1:2	buah	3,70
4.	<i>Splitter</i> 1:4	buah	7,25
5.	<i>Splitter</i> 1:8	buah	10,38
6.	<i>Splitter</i> 1:16	buah	14,10
7.	<i>Splitter</i> 1:32	buah	17,45

#### 4. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan dua skenario yaitu *total split ratio* 1:64 dan 1:128, dengan masing-masing skenario memiliki lima sub-skenario yaitu penggunaan tipe serat G.652.C/D, G.652.B, G.653, G.655, dan G.652.A. Parameter pengujian performansi yang digunakan yaitu *Link Power Budget*, *Signal to Noise Ratio*, *Q-factor*, dan *Bit Error Rate*. Berikut adalah hasil pengujian :

##### 1. Pengujian Skenario 1 dengan 64 ONU

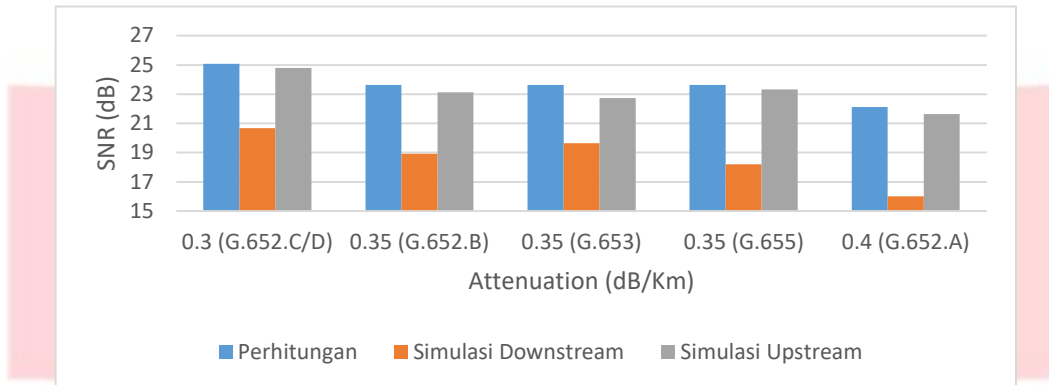
Berdasarkan hasil pengujian didapatkan pada parameter LPB nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai -25,407 dBm *downstream* dan -25,037 dBm *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan -27,486 dBm *downstream* dan -27,037 dBm *upstream*. Hasil LPB dirangkum pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil LPB Skenario 1

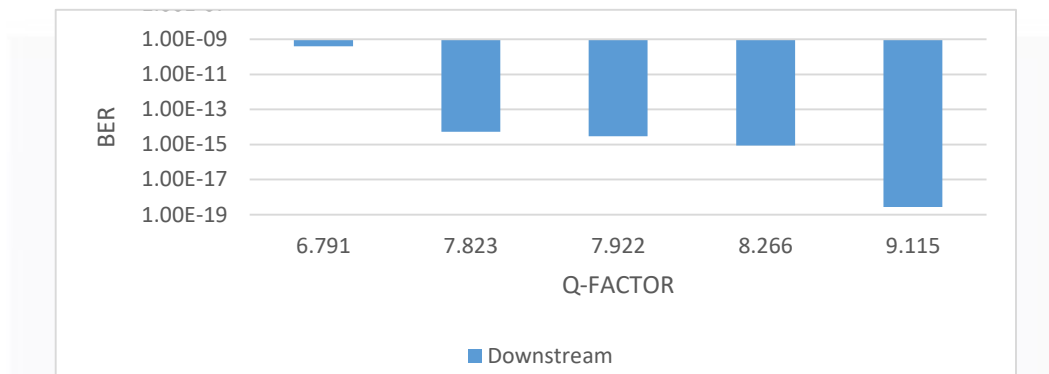


Pada parameter SNR nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai 20,666 dB *downstream* dan 24,737 dB *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan nilai 15,997 dB *downstream* dan 21,630 dB *upstream*. Hasil SNR dirangkum pada Gambar 4.

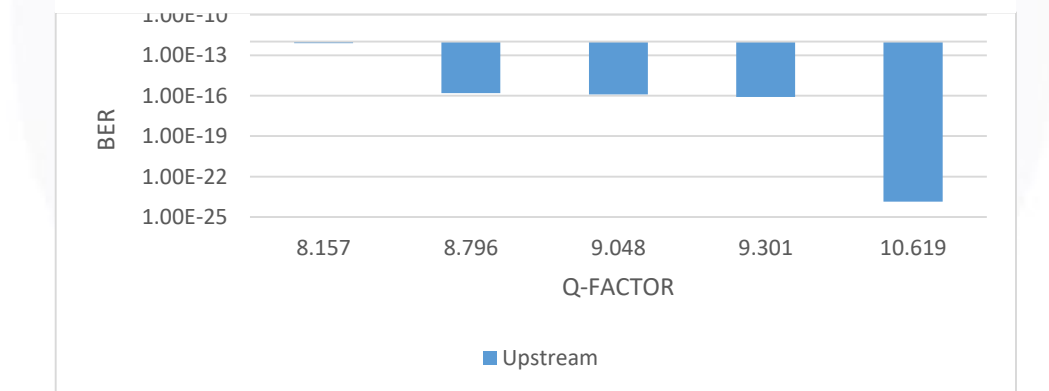


Gambar 4 Hasil SNR Skenario 1

Pada parameter *Q-factor* nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai 9,115 *downstream* dan 10,619 *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan nilai 6,791 *downstream* dan 8,157 *upstream*. Dan pada parameter BER nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai  $1,474 \times 10^{-19}$  *downstream* dan  $1,36 \times 10^{-24}$  *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan nilai  $4,07 \times 10^{-10}$  *downstream* dan  $7,61 \times 10^{-13}$  *upstream*. Hasil *Q-factor* dan BER dirangkum pada Gambar 5 dan 6.



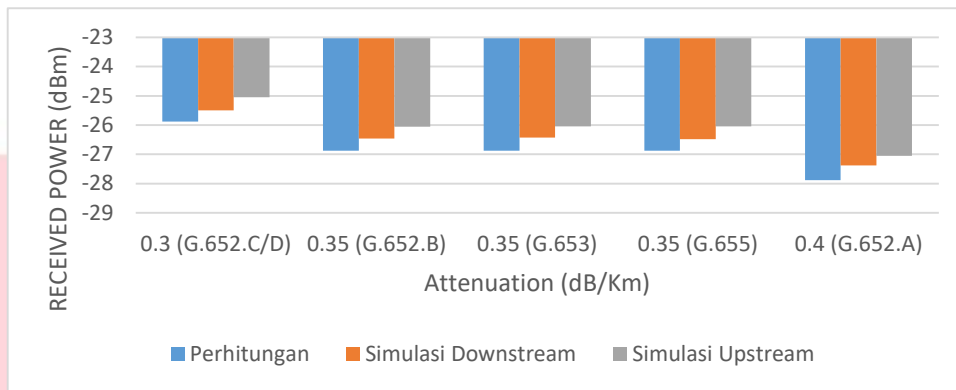
Gambar 5 Hasil *Q-factor* dan BER Downstream Skenario 1



Gambar 6 Hasil *Q-factor* dan BER Upstream Skenario 1

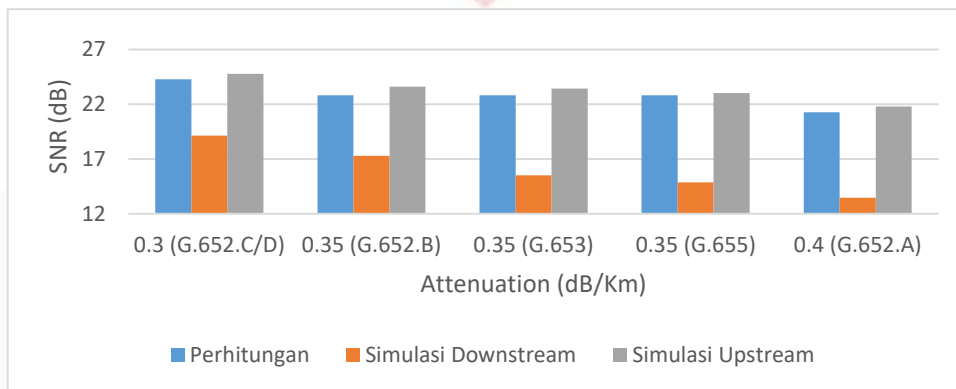
2. Pengujian Skenario 2 dengan 128 ONU

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan pada parameter LPB nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai -25,491 dBm *downstream* dan -27,047 dBm *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan nilai -27,384 dBm *downstream* dan -27,047 dBm *upstream*. Hasil LPB dirangkum pada Gambar 7.



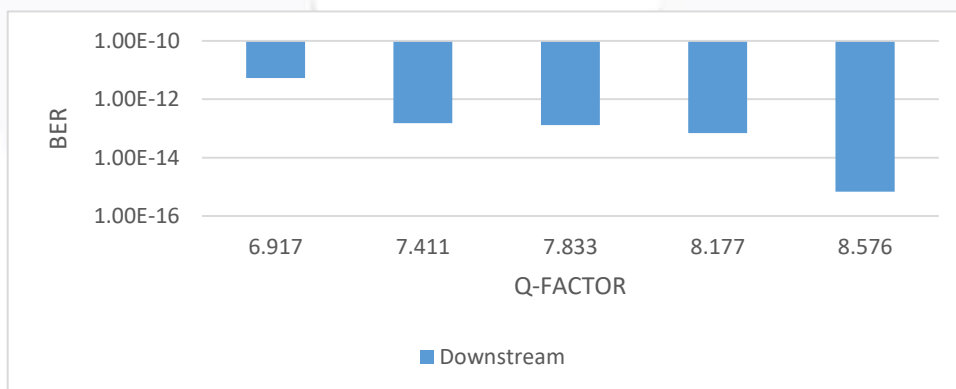
Gambar 7 Hasil LPB Skenario 2

Pada parameter SNR nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai 19,118 dB *downstream* dan 24,777 dB *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan nilai 13,461 dB *downstream* dan 21,785 dB *upstream*. Hasil SNR dirangkum pada Gambar 8.

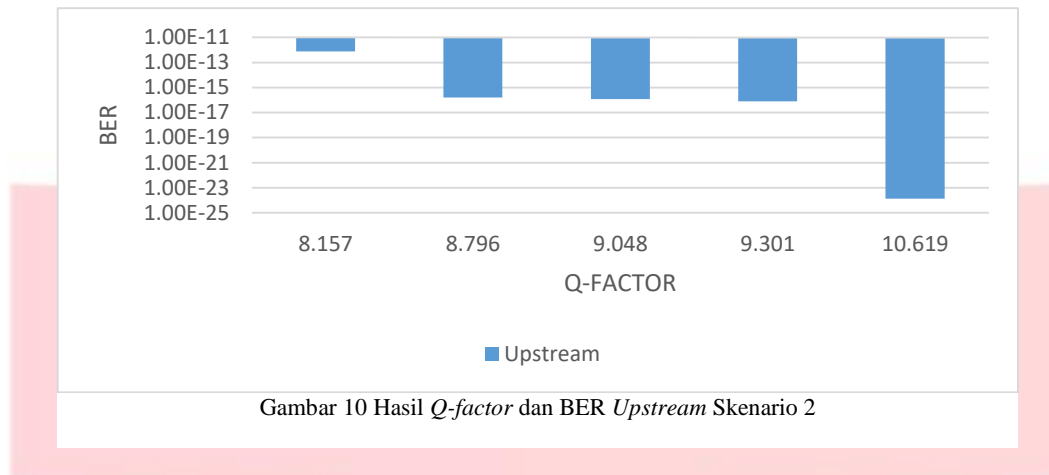


Gambar 8 Hasil SNR Skenario 2

Pada parameter *Q-factor* nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai 8,576 *downstream* dan 12,064 *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan nilai 5,777 *downstream* dan 9,036 *upstream*. Dan pada parameter BER nilai terbaik terdapat pada tipe serat G.652.C/D dengan nilai  $6,86 \times 10^{-16}$  *downstream* dan  $2,44 \times 10^{-15}$  *upstream*, sedangkan nilai terburuk pada tipe serat G.652.A dengan nilai  $5,39 \times 10^{-12}$  *downstream* dan  $4,07 \times 10^{-10}$  *upstream*. Hasil *Q-factor* dan BER dirangkum pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9 Hasil *Q-factor* dan BER *Downstream* Skenario 2



Gambar 10 Hasil *Q-factor* dan BER *Upstream* Skenario 2

### 3. Analisa Sistem

Berdasarkan hasil pengujian untuk parameter *received power*, tipe serat G.652.C/D selalu memiliki nilai daya terima yang paling tinggi hal ini disebabkan karena tipe serat G.652.C/D memiliki nilai atenuasi atau redaman yang terkecil yaitu 0,3 dB/Km. Begitupun sebaliknya tipe serat G.652.A selalu memiliki nilai daya terima yang terendah hal ini disebabkan karena tipe serat G.652.A memiliki nilai atenuasi atau redaman yang tertinggi yaitu 0,4 dB/Km. Namun terlihat perbedaan yang tidak signifikan antara hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi, hal ini disebabkan karena perbedaan atenuasi dari panjang gelombang yang digunakan. Dimana hasil perhitungan manual menggunakan nilai atenuasi dengan panjang gelombang 1550 nm menghasilkan daya terima yang berada di antara hasil *downstream* dan *upstream*, hasil simulasi untuk arah *downstream* dengan range panjang gelombang 1596,34 – 1598,89 nm menghasilkan daya terima yang lebih kecil, dan hasil simulasi untuk arah *upstream* dengan range panjang gelombang 1532,68 – 1535,23 nm menghasilkan daya terima yang lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan dan hasil simulasi *downstream*. Maka dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang yang paling efektif adalah panjang gelombang untuk arah *upstream* karena menghasilkan atenuasi minimum pada tiap tipe serat optik.

Nilai SNR memiliki korelasi dengan *received power*, yaitu berbanding lurus, semakin tinggi nilai daya terima dalam LPB maka semakin tinggi juga nilai SNR begitupun sebaliknya. Namun terlihat perbedaan antara hasil simulasi untuk arah *downstream* dan *upstream*, terlihat dimana hasil simulasi untuk arah *upstream* memiliki nilai mendekati hasil perhitungan manual sedangkan hasil simulasi untuk arah *downstream* memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil perhitungan manual dan hasil simulasi *upstream*. Hal ini disebabkan karena pada arah *downstream* teknik *multiplexing* yang digunakan adalah *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) dimana menggabungkan 4 kanal informasi menjadi satu kanal informasi, sehingga menghasilkan efek *Four Wave Mixing* (FWM) dimana terjadi jika sistem mentransmisikan 2 atau lebih kanal informasi dalam satu media transmisi. Efek FWM yang dapat terjadi antara lain *crosstalk* antar kanal informasi dan ketidak stabilan kualitas kanal-kanal informasi tersebut. Pada hasil simulasi *upstream* tidak terjadi penurunan kualitas kanal informasi karena teknik *multiplexing* yang digunakan adalah *Time Division Multiplexing* (TDM).

Secara keseluruhan nilai *Q-factor* dan BER hasil perhitungan dengan hasil simulasi memiliki pola yang relatif sama. Dimana nilai *Q-factor* tertinggi pada setiap skenario untuk masing-masing arah *downstream* dan *upstream* didapatkan menggunakan G.652.C/D dan nilai *Q-factor* terendah didapatkan menggunakan G.652.A, hal ini disebabkan adanya hubungan linier antara *Q-factor* dengan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), semakin tinggi nilai SNR maka nilai *Q-factor* juga meningkat, begitu juga sebaliknya. Namun nilai *Q-factor* berbanding terbalik dengan nilai BER, dimana semakin tinggi nilai *Q-factor* maka nilai BER akan semakin kecil, dan sebaliknya.

### 5. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa tipe serat G.652.C/D memiliki performansi terbaik dari semua parameter pengujian, sedangkan tipe serat G.652.A memiliki performansi terburuk dari semua parameter pengujian.
2. Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja dengan baik, karena setiap parameter pengujian terpenuhi sesuai rekomendasi, yaitu *received power* > -28 dBm, SNR > 10,79 dB, *Q-factor* >= 6, BER *downstream* < 10<sup>-3</sup>, dan BER *upstream* < 10<sup>-4</sup>.



**DAFTAR REFERENSI**

- [1] A. S. Putri, Simulasi dan Analisis Pengaruh Agregasi OLT pada Performansi Jaringan NG-PON2, Bandung, 2017.
- [2] Y. Luo, X. Zhou, F. Effenberger, X. Yan, G. Peng dan Y. Ma, "Time-and-Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) for Next-Generation PON Stage 2 (NG-PON2)," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, 2013.
- [3] M. A. Elaydi, "Next Generation Passive Optical Network Stage Two NG-PON2," The Islamic University, Gaza, 2014.
- [4] L. G. Kazovsky, N. Cheng, W.-T. Shaw, D. Gutierrez dan S.-W. Wong, Broadband Optical Access Network, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [5] H. S. Abbas dan M. A. Gregory, "The Next Generation of Passive Optical Networks: A Review," *Journal of Network and Computer Applications*, 2016.
- [6] J. . C. V. Micolta, Analysis of Performances and Tolerances of the Second Generation Passive Optical Networks (NG-PON2) for FTTH Systems, Catalonia, 2014.
- [7] ITU-T, Optical Fibres, Cables and Systems, Geneva, 2009.
- [8] NITS Academy, Modul 1; Konfigurasi FTTH (Fiber to the Home), Bandung: Telkom Corporate University.