

SIMULASI DAN ANALISIS PENGARUH AGREGASI OLT PADA PERFORMANSI JARINGAN NG-PON2

Ardella Stephanie Putri¹⁾, Akhmad Hambali.²⁾, Afef Dias Pambudi³⁾

^{1),2),3)} Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom.
Jl. Telekomunikasi No.1, Bandung.
Email : stephanie.ardella@yahoo.com

Abstrak . *Passive Optical Network (PON) merupakan jaringan akses serat optik yang ramah lingkungan karena konsumsi daya yang rendah. Teknologi PON terbaru yaitu NG-PON2 distandarisasi ITU-T pada tahun 2015. Hingga saat ini NG-PON2 belum pernah digelar. Makalah ini melakukan perancangan dan evaluasi performansi NG-PON2 dengan teknik TWDM. Perancangan dilakukan untuk mengetahui adakah pengaruh pada performansi NG-PON2 apabila dilakukan eksplorasi bandwidth dengan pemakaian hingga delapan kanal TWDM. Skenario pengujian menggunakan kecepatan 40 Gbps hingga 80 Gbps downstream (skema WDM) dari OLT dengan menggunakan agregasi empat hingga delapan OLT yang masing-masing kanal OLT memiliki kecepatan 10 Gbps dan kapasitas kecepatan upstream 10 Gbps hingga 40 Gbps (skema TDM). Simulasi dilakukan menggunakan dua kali titik pembagi dengan jumlah user 64 dan jarak 30 km sebagai jarak optimal dari 5 skenario yang digunakan. Dari hasil simulasi, dilakukan analisis receiver power, OSNR, Q-factor, dan BER dengan menggunakan perangkat lunak Optisystem. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan agregasi delapan OLT memberikan performansi yang terbaik untuk transmisi downstream berdasarkan parameter analisis receiver power dan OSNR. Namun sebaliknya untuk transmisi upstream, performansi terbaik dengan penggunaan empat OLT yaitu dengan nilai yang didapatkan -27,44175 dBm dan 72,423505 dB. Sedangkan kondisi kualitas link arah downstream yang direpresentasikan dengan besaran nilai parameter Q-factor, performansi terburuk pada penggunaan delapan OLT yang direpresentasikan kecilnya nilai Q-factor 7,683231 dan besarnya nilai BER $6,93749 \cdot 10^{-12}$. Pada transmisi upstream, rata-rata nilai BER menjadi tidak stabil dikarenakan tingginya nilai Q-factor yang hanya terjadi pada salah satu kanal yang disebabkan oleh PMD. Performansi terbaik untuk upstream berdasarkan parameter analisis Q-factor yaitu 13,46015 dengan penggunaan empat OLT.*

Kata kunci: NG-PON2, Time-and-Wavelength Division Multiplexing, Sistem Komunikasi Serat Optik.

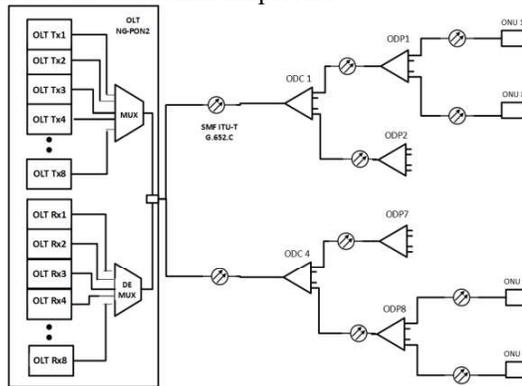
1. Pendahuluan

Untuk memenuhi kebutuhan layanan *broadband* dengan media *wireline*, saat ini jaringan perlahan beralih menggunakan media transmisi serat optik, dimana sinyal informasi akan ditransmisikan melalui modulasi cahaya pada frekuensi *carrier* tertentu. Serat optik dipilih karena kebutuhan layanan masyarakat modern terus meningkat sehingga dibutuhkan sarana komunikasi yang mampu melayani semua layanan dengan jaringan yang handal dan memberikan performansi yang baik. Operator meningkatkan kualitas layanannya dengan membuat infrastruktur jaringan serat optik yang dikenal dengan istilah FTTx. Dalam merealisasikan teknologi aktif FTTx, berbagai platform dapat diimplementasikan. Telkom sebagai operator terbesar *broadband* di Indonesia menggunakan GPON sebagai platform teknologi aktif FTTx, yang distandarisasi oleh ITU-T pada tahun 2008. Teknologi PON telah berevolusi dari APON, BPON, GPON, XG-PON/NG-PON1 bahkan NG-PON2 yang baru ini distandarisasi pada tahun 2015^[1]. Namun hingga saat ini belum ada penggelaran NG-PON2. Kapasitas transmisi untuk NG-PON2 setidaknya yaitu 40 Gbps dan 10 Gbps untuk arah *downstream* dan *upstream* dengan teknik agregasi empat buah OLT XG-PON yang memiliki *bitrate* masing-masing kanal 10/2.5Gbps. Teknik TWDM digunakan pada teknologi NG-PON2 menerapkan metode *stacking OLT* (agregasi OLT). TWDM menyediakan hingga delapan kanal yang dapat digunakan sebagai panjang gelombang pada OLT. Penggunaan 80 Gbps NG-PON2 dengan menggunakan delapan kanal TWDM telah dilakukan dengan analisis terhadap penggunaan dua format data yaitu RZ dan NRZ^[4], NRZ merupakan format data yang terbaik untuk jarak yang jauh dengan nilai *Q-factor* yang bagus dan BER yang sangat kecil jika dibandingkan dengan penggunaan format data RZ.

Tujuan yang dicapai pada penelitian ini adalah melakukan perancangan jaringan akses NG-PON2 dan kemudian dilakukan evaluasi dan analisis pengaruh performansinya apabila dalam sistem dilakukan eksplorasi *bandwidth* dengan menggunakan empat hingga delapan kanal TWDM. Perancangan untuk persiapan dalam perluasan kebutuhan layanan komunikasi, termasuk pengaplikasian pada akses residensial. Dari hasil simulasi, dilakukan analisis kelayakan sistem menggunakan parameter analisis performansi OSNR, *Receiver Power*, BER, dan *Q-Factor* sebagai batas keberhasilan rancangan ini. Gambar 1 menunjukkan perancangan jaringan NG-PON2 modular untuk *downstream* maupun *upstream*. Gambar 2 menunjukkan skenario pengujian dengan menggunakan empat hingga delapan OLT (kanal TWDM).

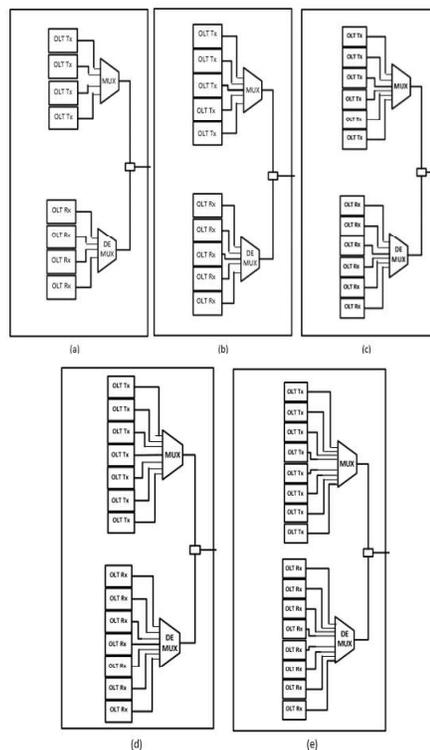
2. Pembahasan

Gambar 1 menunjukkan perancangan jaringan yang dilakukan, kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui performansi sistem saat dilakukan eksplorasi *bandwidth*.



Gambar 1. Diagram Blok Jaringan

Gambar 2 menunjukkan skenario yang diujikan pada sistem.



Gambar 2. Skema Pengujian (a) 4 OLT (b) 5 OLT (c) 6 OLT (d) 7 OLT (e) 8 OLT

Penentuan nilai parameter sistem berdasarkan standarisasi^[1] yang telah ditetapkan dan beberapa nilai parameter penunjang yang didapatkan dari studi literatur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, 2, 3.

Tabel 1. Parameter *Optical Line Termination*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Reference Wavelength</i>	1550	<i>Nm</i>
2	<i>Length</i>	30	<i>Km</i>
3	<i>Attenuation</i>	0,3	<i>dB/km</i>
4	<i>Dispersion</i>	17	<i>ps/nm/km</i>
5	<i>Dispersion Slope</i>	0,056	<i>ps/nm²/km</i>
6	<i>Effective Core Area</i>	80	<i>μm²</i>
7	<i>PMD Coefficient</i>	0,5	<i>ps/sqrt(km)</i>

Tabel 2. Parameter *Optical Network Unit*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Frequency Transmitter</i>	187,8 – 187,1	<i>Thz</i>
2	<i>Transmitter Power</i>	3	<i>dBm</i>
3	<i>Bitrate Channell</i>	10	<i>Gbps</i>
4	<i>Modulation Type</i>	NRZ	<i>Type</i>
5	<i>Channel Spacing</i>	100	<i>GHz</i>
6	<i>Bandwidth filter</i>	5	<i>Ghz</i>
7	<i>Number of Output Splitter</i>	4	<i>Output</i>
8	<i>Number of Mux/Demux</i>	4-8	<i>Input/Output</i>

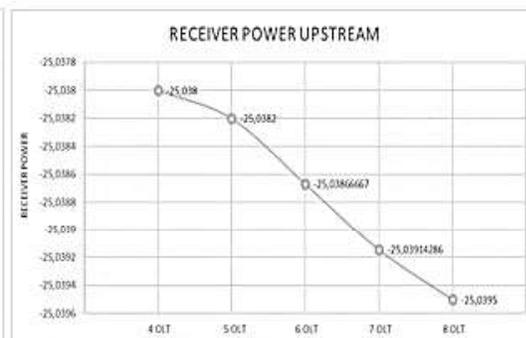
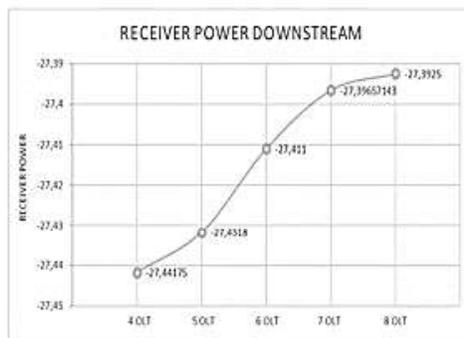
Tabel 3. Parameter *Single Mode Fiber ITU-T G.652.C*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Frequency Transmitter</i>	195,6 – 194,9	<i>Thz</i>
2	<i>Transmitter Power</i>	5	<i>dBm</i>
3	<i>Filter Type</i>	<i>Bessel</i>	<i>Type</i>
4	<i>Photodetector</i>	APD	<i>Type</i>
5	<i>Channel Spacing</i>	100	<i>GHz</i>
6	<i>Bandwidth filter</i>	20	<i>Ghz</i>
7	<i>Bitrate Channell</i>	2,5	<i>Gbps</i>
8	<i>Responsitivity</i>	1	<i>A/W</i>

Parameter analisis yang digunakan untuk mengetahui tingkat performansi sistem NG-PON2 yaitu *receiver power*, *Optical-Signal-to-Noise Ratio (OSNR)*, *Q-Factor*, dan BER.

Analisis sistem NG-PON2 pertama yaitu terhadap *receiver power* pada setiap skenario pengujian. Pengukuran total daya dipenerima perlu dilakukan sebagai indikasi apakah besarnya daya pengirim dan redaman selama transmisi masih menghantarkan sinyal optis sampai pada penerima dengan batas sensitivitas penerima sistem yang telah ditentukan^[1].

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi yang didapatkan untuk *downstream*, dimana nilai rata-rata *receiver power* untuk masing-masing agregasi OLT, untuk 4 OLT (-27,44175 dBm), untuk 5 OLT (-27,4318 dBm), untuk 6 OLT (-27,411 dBm), untuk 7 OLT (-27,39657 dBm), dan untuk penggunaan 8 OLT (-27,3925 dBm).



Gambar 3. Diagram Average Receiver Power - Downstream

Gambar 4. Diagram Average Receiver Power - Upstream

Meningkatnya daya pada penerima berbanding lurus dengan semakin banyaknya OLT yang digunakan. Peningkatan terjadi karena semakin banyaknya jumlah OLT yang digunakan, maka terjadi penambahan jumlah kanal TWDM sehingga terjadi penambahan daya kirim pada sistem sebanyak 3 dBm. Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi yang didapatkan untuk *upstream*, dimana nilai rata-rata *receiver power* untuk masing-masing agregasi OLT, untuk 4 OLT (-25,038 dBm), untuk 5 OLT (-25,0382 dBm), untuk 6 OLT (-25,03866 dBm), untuk 7 OLT (-25,03914 dBm) dan untuk penggunaan 8 OLT (-25,0395 dBm). Hal tersebut diakibatkan karena pada sistem jumlah pelanggan tetap akan tetapi *ratio demux* meningkat dan memberikan loss yang besar yang membuat nilai *receiver power* terbaca semakin mengecil. Sehingga berdasarkan parameter analisis *receiver power* agregasi 8 OLT menunjukkan performansi terbaik untuk arah *downstream* dan agregasi 4 OLT menunjukkan performansi terbaik untuk arah *upstream*. Namun pada setiap agregasi nilai daya pada penerima baik *downstream* maupun *upstream* masih bisa terbaca sistem karena diatas nilai minimum yang telah ditentukan oleh sistem NG-PON2 yaitu sebesar -28 dBm^[1].

Analisis sistem NG-PON2 kedua menggunakan parameter analisis *Optical-Signal-to-Noise Ratio (OSNR)*. OSNR adalah perbandingan antara tingkat daya sinyal dengan gaya gangguan (*noise*). Pada sistem NG-PON2 tidak ada standarisasi minimal besaran OSNR yang diperbolehkan. Namun dilakukan analisis untuk dijadikan ukuran performansi sistem komunikasi serat optik secara deskriptif dengan besaran nilai kuantitatifnya yang dapat dijadikan standar sistem komunikasi optik yang modern, lazimnya dituntut agar OSNR dari nilai sinyal yang ditransmisikan tidak kurang dari 30 dB.



Gambar 5. Diagram *Average Receiver Power-Downstream*

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi terhadap parameter OSNR untuk arah *downstream*, besarnya nilai OSNR rata-rata terbesar terjadi pada agregasi 8 OLT (72,45268 dB), dan nilai OSNR rata-rata untuk masing-masing agregasi OLT, untuk 4 OLT (72,424 dB), untuk 5 OLT (72,428 dB), untuk 6 OLT (72,442 dB), dan untuk 7 OLT (72,451 dB). Meningkatnya rata-rata nilai OSNR berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah agregasi OLT. Perubahan nilai OSNR disetiap kanal yang sama yang digunakan pada setiap agregasinya menghasilkan besaran nilai OSNR yang serupa dengan nilai deviasi sekitar 0,004. Nilai OSNR yang didapatkan berkaitan dengan besaran nilai *receiver power* yang didapatkan, semakin besarnya nilai *receiver power* maka akan berbanding lurus dengan nilai OSNR.

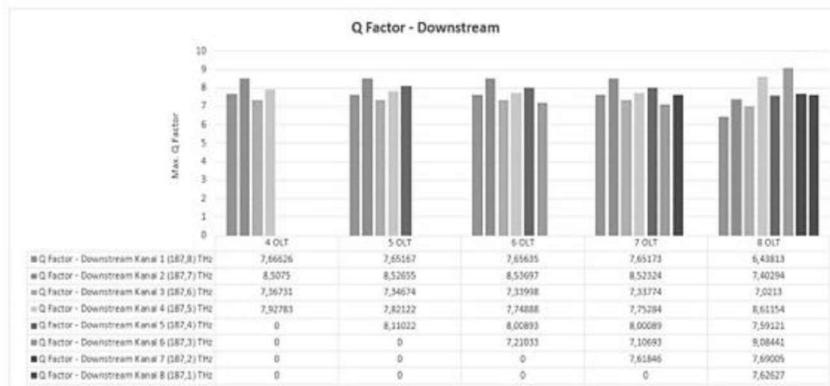


Gambar 6. Diagram *Average Receiver Power-Upstream*

Untuk hasil simulasi arah *upstream* ditunjukkan pada Gambar 6, dimana nilai OSNR rata-rata terbesar terjadi pada penggunaan 4 OLT (74,96183 dB), dan nilai rata rata OSNR untuk masing-masing agregasi, untuk 5 OLT (74,9617 dB), untuk 6 OLT (74,9613 dB), untuk 7 OLT (74,96086 dB), dan

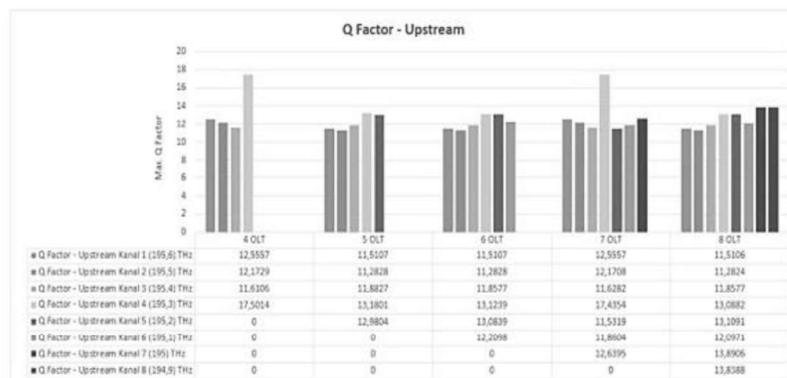
untuk penggunaan 8 OLT (74,96083 dB). Namun berbeda dari kondisi *downstream*, pada transmisi *upstream* perubahan nilai OSNR pada masing-masing kanal memiliki nilai yang lebih konstan ditunjukkan dengan besaran deviasi yang lebih kecil (0,0003). Sehingga berdasarkan parameter analisis OSNR agregasi 8 OLT menunjukkan performansi terbaik untuk arah *downstream* dan agregasi 4 OLT menunjukkan performansi terbaik untuk arah *upstream*.

Analisis sistem NG-PON2 ketiga menggunakan parameter analisis *Q-factor*. *Q-factor* digunakan untuk menyatakan faktor kualitas suatu *link* komunikasi serat optik. Nilai *Q* yang semakin besar menunjukkan perbedaan yang semakin nyata antara bit 0 dan bit 1 yang jelas akan menyebabkan pendeteksian bit semakin baik^[6]. Berdasarkan hasil simulasi terhadap parameter analisis *Q-factor*, nilai rata-rata *Q-factor* untuk transmisi *downstream* untuk masing-masing agregasi OLT, untuk 4 OLT (7,867225), untuk 5 OLT (7,89128), untuk 6 OLT (7,75024), untuk 7 OLT (7,713119), dan untuk 8 OLT (7,683231). Semakin banyaknya jumlah OLT yang digunakan menyebabkan nilai *Q* cenderung semakin kecil.



Gambar 7. Diagram *Q-Factor - Downstream*

Hal ini disebabkan karena terjadinya efek *non-linier* yang menyebabkan nilai *Q-factor* pada salah satu kanal memiliki nilai tertinggi dan terendah secara signifikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 yakni *Q-factor terbesar* (9,08441) dan *terkecil* (6,43813) yang hanya terjadi di kanal 1 (187,8 Thz) dan kanal ke-6 (187,3 Thz) pada agregasi 8 OLT. Selain itu dibuktikan dengan saat penggunaan 8 OLT, perbedaan nilai *Q-factor* antar kanal yang digunakan memiliki nilai yang tidak stabil, dibuktikan dengan nilai deviasi sebesar 0,8369, berbeda dengan agregasi 4 OLT yang hanya memiliki nilai deviasi sebesar 0,4843.

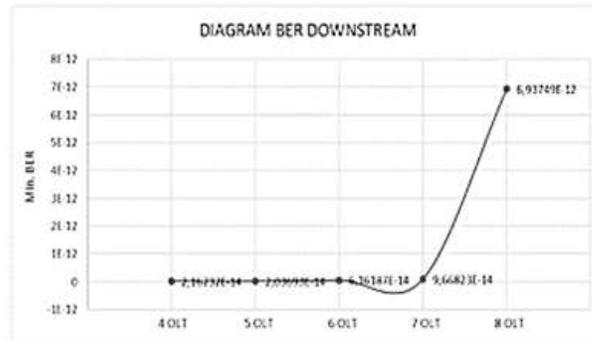


Gambar 8. Diagram *Q-Factor - Upstream*

Gambar 8 menunjukkan nilai *Q-factor* yang relatif stabil yang dihasilkan dari simulasi untuk transmisi *upstream*. Nilai *Q-factor* tidak stabil sehingga menghasilkan nilai *Q-factor* rata-rata untuk setiap agregasi sangat beragam yaitu untuk 4 OLT (13,46015), untuk 5 OLT (12,16734), untuk 6 OLT (12,17813), untuk 7 OLT (12,8317), dan untuk 8 OLT (12,5843). Hal ini pun disebabkan karena terjadinya PMD (*Polarization Mode Dispersion*) yang merupakan sifat ketidaksempurnaan (bawaan)

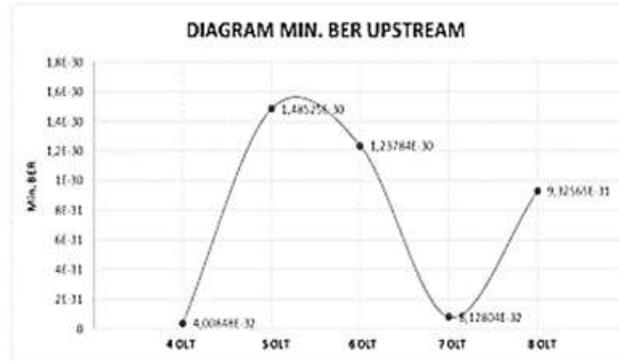
dari serat optik yang membuat pulsa menjadi tidak stabil untuk jaringan yang memiliki *bitrate* yang tinggi. Terbukti dengan nilai deviasi antar kanal tidak stabil mulai 0,8 hingga 2,72. Sehingga berdasarkan parameter analisis *Q-factor*, penggunaan 5 OLT menunjukkan performansi terbaik untuk arah *downstream* dan transmisi *upstream* menunjukkan bahwa penggunaan 4 OLT menunjukkan performansi terbaik.

Analisis sistem NG-PON2 keempat menggunakan parameter analisis *Bit Error Rate (BER)*. BER merupakan jumlah kesalahan bit yang ditransmisikan dalam selang waktu satu detik^[6]. Jaringan NG-PON2 memiliki standarisasi untuk nilai BER yaitu minimal 10^{-3} untuk transmisi *downstream* dan minimal 10^{-4} untuk transmisi *upstream*^[1]. Berdasarkan hasil simulasi untuk transmisi *downstream*, didapatkan nilai rata-rata BER terbesar terjadi pada penggunaan 8 OLT ($6,93749E-12$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram *Average BEM - Downstream*

Nilai BER yang besar keterkaitan terhadap kecil nilainya *Q-factor* yang didapatkan seperti dijelaskan sebelumnya. Semakin kecilnya perbedaan antara bit 0 dan bit 1 yang jelas akan menyebabkan pendeteksian bit semakin buruk, sehingga semakin banyaknya kesalahan bit dalam pentransmisian satu detiknya. Untuk transmisi *upstream*, berkaitan dengan nilai rata-rata *Q-factor* yang beragam yang diakibatkan PMD pada setiap agregasinya menyebabkan nilai rata-rata BER menjadi beragam, untuk 4 OLT ($4,00848E-32$), untuk 5 OLT ($1,48525E-30$), untuk 6 OLT ($1,23784E-30$), untuk 7 OLT ($8,12804E-32$), dan untuk 8 OLT ($9,32565E-31$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram *Average BEM - Upstream*

Terlihat nilai BER yang masih sangat ideal bahkan jika dibandingkan dengan transmisi *downstream*. Didapatkan nilai BER terkecil pada penggunaan 4 OLT dan nilai BER terbesar pada penggunaan 5 OLT ($1,48525E-30$) yang menandakan bahwa dari 10^{30} bit data yang dikirimkan hanya terdapat sekitar 1,48 bit yang *error*. Sehingga berdasarkan parameter analisis terhadap BER, agregasi 5 OLT menunjukkan performansi terbaik untuk arah *downstream* dan agregasi 4 OLT pun menunjukkan performansi terbaik untuk arah *upstream*, namun nilai BER masih diatas nilai standarisasi yang ditentukan untuk transmisi *downstream* maupun *upstream*.

3. Simpulan

Dari hasil simulasi dan analisis pengaruh agregasi OLT terhadap performansi jaringan NG-PON2, didapat simpulan sebagai berikut:

1. Meningkatnya daya penerima berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah agregasi OLT pada transmisi *downstream*, dikarenakan pada jaringan memiliki jumlah penerima (ONU) tetap sedangkan jumlah pengirim (OLT) bertambah, sehingga dapat dilakukan penambahan jumlah penerima.
2. Meningkatnya daya pada penerima berbanding terbalik dengan meningkatnya jumlah agregasi OLT pada transmisi *upstream*, dikarenakan jumlah pengirim (ONU) tetap sedangkan jumlah penerima (OLT) bertambah sehingga dibutuhkan pembagian daya sejumlah penerima. Besaran nilai *receiver power* yang didapatkan untuk penggunaan 4 OLT yaitu -27,44175 dBm.
3. Meningkatnya nilai OSNR rata-rata pada arah *downstream* berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah agregasi OLT dan meningkatnya nilai OSNR rata-rata pada arah *upstream* berbanding terbalik dengan meningkatnya jumlah agregasi OLT, hal ini berkaitan dengan besaran nilai pada *receiver power*.
4. Nilai *Q-Factor* rata-rata untuk arah *downstream* semakin menurun dengan semakin meningkatnya jumlah agregasi OLT. Dengan nilai *Q-Factor* antar kanal pada agregasi 8 OLT memiliki rentang nilai *Q-factor* semakin besar, terbukti saat dilakukan perhitungan menggunakan deviasi 0,8369 berbeda dengan agregasi 4 OLT yang hanya memiliki 0,4843. Hal ini diakibat karena terjadinya efek *non-linier* yang menyebabkan menurunkan kualitas antar kanal semakin besar.
5. Nilai *Q-Factor* rata-rata untuk arah *upstream* memiliki nilai yang tidak stabil disebabkan oleh PMD. *Polarization Mode Dispersion* merupakan sifat ketidaksempurnaan (bawaan) dari serat optik yang membuat pulsa menjadi tidak stabil untuk jaringan yang memiliki *bitrate* yang tinggi Adapun nilai *Q-faktor* rata-rata terbesar yaitu 13,46015 pada penggunaan 4 OLT.
6. Nilai BER rata-rata pada arah *downstream* relatif membesar berbanding lurus dengan semakin banyaknya jumlah agregasi dengan nilai BER terbesar $6,93749E-12$ pada penggunaan 8 OLT. Walaupun BER rata-rata terbesar $6,93749E-12$ namun nilai BER tersebut dalam sistem ini sangat ideal, dimana BER referensi untuk NG-PON2 untuk arah *downstream* yaitu 10^{-3} .
7. Nilai BER rata-rata pada arah *upstream* sangat beragam, berkorelasi dari besarnya *Q factor* dimana terjadinya PMD. Namun nilai BER masih diatas rata-rata nilai min. BER refererensi yang digunakan untuk transmisi upstream NG-PON2 yaitu 10^{-4} . Dimana nilai rata rata *min. BER* terbaik yaitu $4,00848E-32$ yang terjadi pada penggunaan 4 OLT.

Daftar Pustaka

- [1] ITU-T G.989.2. (2014). *40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification*.
- [2] Mahloo, Mozghan. (2015). *Transport Solutions for Future Broadband Access Networks* (Hal. 11-17). Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- [3] Micolta, Joan. (2014). *Analysis of performances and tolerances of the second generation passive optical network (NG-PON2) for FTTH system*. Spanyol: Universitat Politecnica de Catalunya.
- [4] Sharma, Proja. (2016). *An 80 Gbps next generation passive optical network (NGPON) stage 2*. India: IJAREEIE
- [5] Keiser, G. (2009). *Optical Fiber Communications* (3rd ed.). Boston: McGraw Hill.
- [6] Hidayat, Arya. (2002). *Desain dan Impelementasi perangkat ukur parameter-parameter kualitas sinyal pada sistem komunikasi serat optik DWDM*. Indonesia: Intitut Teknologi Bandung.
- [7] Elyadi, Mohammed Ahmed (2013). *Next Generation Passive Optical Network stage Two*. Gaza: The Islamic University.
- [8] ITU-T G.652. (2009). *Transmission System and Media Digital System and Networks: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*