

**PENGUJIAN DAN SIMULASI *HYBRID COARSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING/TIME DIVISION MULTIPLEXING-PASSIVE OPTICAL NETWORK (CWDM/TDM-PON)* PADA *NEXT GENERATION PASSIVE OPTICAL NETWORK STAGE-2 (NG-PON2)***

***TESTING AND SIMULATION OF HYBRID COARSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING/TIME DIVISION MULTIPLEXING-PASSIVE OPTICAL NETWORK (CWDM/TDM-PON) ON NEXT GENERATION PASSIVE OPTICAL NETWORK STAGE-2 (NG-PON2)***

Adhy Rizky Oktauzi Putra<sup>1</sup>, Ir. Akhmad Hambali, M.T.<sup>2</sup>, Brian Pamukti, S.T, M.T<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>[adhvirizkya@gmail.com](mailto:adhvirizkya@gmail.com), <sup>2</sup>[bphambali@yahoo.com](mailto:bphambali@yahoo.com), <sup>3</sup>[brianp@telkomuniversity.ac.id](mailto:brianp@telkomuniversity.ac.id)

**Abstrak**

Sejak munculnya pemakaian aplikasi yang memerlukan *bandwidth* yang sangat besar seperti IPTV, *Video on Demand* (VoD), layanan *live streaming*, dan kebutuhan download yang sangat besar, maka diperlukannya teknologi yang dapat memberikan *bandwidth* besar dan kecepatan akses yang cepat. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah teknologi PON terbaru yang masih dikembangkan yaitu NG-PON2. NG-PON2 mampu memberikan layanan dengan 40 Gbps *downstream* dan 10 Gbps *upstream* dengan menggunakan TWDM-PON. Selain TWDM-PON, ada solusi lain yaitu gabungan CWDM dan TDM yang dinamakan *Hybrid CWDM/TDM-PON*.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian melalui simulasi dari gabungan CWDM dan TDM yang dinamakan *Hybrid CWDM/TDM-PON*. Solusi ini dipilih karena mempunyai prinsip kerja yang sama yaitu berbasis TWDM-PON dengan membedakan penggunaan lebar panjang gelombangnya, dapat di implementasi dengan mudah pada teknologi PON yang sudah ada (*existing*), dan dapat digunakan pada *single-mode optical fiber* (SMF) dengan *bandwidth* yang besar dan biaya operasional yang jauh lebih murah. Pengujian kali ini dilakukan dengan melakukan simulasi yang kemudian di analisis berdasarkan hasil parameter-parameter yang ada seperti parameter kelayakan (*Link Power Budget*) dan parameter performansi sistem (SNR, *Q Factor*, dan BER).

Perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan didapatkan bahwa jaringan *Hybrid CWDM/TDM-PON* mampu bekerja pada *bit rate* sebesar 40/10 Gbps pada jaringan 32, 64, 128 *user* dan nilai *Q Factor* sudah memenuhi standar ITU-T yaitu diatas 6. Untuk 32 *user* dengan panjang *link* 10 dan 20 km memiliki nilai *Q Factor* berturut-turut sebesar 25.960 dan 14.815. Untuk 64 *user* dengan panjang *link* yang sama memiliki nilai *Q Factor* berturut-turut sebesar 15.808 dan 13.046. Dan untuk 128 *user* dengan panjang yang sama juga memiliki nilai BER berturut-turut sebesar 17.778 dan 12.944.

**Kata kunci:** PON, NG-PON2, *Hybrid CWDM/TDM-PON*, TWDM-PON

**Abstract**

Since the arrival of bandwidth intensive usage applications such as IPTV, *Video on Demand* (VOD), *live streaming service*, and high usage of downloading contents, its need technology that can provide large amount of bandwidth and high-speed access. One of the latest PON technology that can solve these problems and still being developed is NG-PON2. NG-PON2 can provide 40 Gbps *downstream* and 10 Gbps *upstream* using TWDM-PON. On the other hand, there are other solutions for NG-PON2 which can be used such as combination of CWDM and TDM, called *Hybrid CWDM/TDM-PON*.

In this research conducted a testing through simulation of combination CWDM and TDM, called *Hybrid CWDM/TDM-PON*. This solution will be demonstrated because having same principles as TWDM-PON which can be differ by wavelength spacing, implemented on existing PON technologies, and works on *single-mode optical fiber* (SMF) with large bandwidth while having low cost operational. This simulation will be analyzed and measured based on a power budget feasibility (*Link Power Budget*) and system performance parameters (SNR, *Q Factor*, and BER).

The results of simulations and calculations showed that, *Hybrid CWDM/TDM-PON* successfully provide 40/10 Gbps for 32, 64, and 128 network users. In addition to that results, SNR calculation planning meet the

requirement minimum of ITU-T standard above 6. 32 network users with length of 10 km and 20 km provide a respectively SNR value about 25.960 and 14.815. 64 network users with the same length provide a respectively SNR value about 15.808 and 13.046. And lastly, 128 network users with the same length as well provide a respectively SNR value about 17.778 and 12.944.

**Keywords:** PON, NG-PON2, Hybrid CWDM/TDM-PON, TWDM-PON

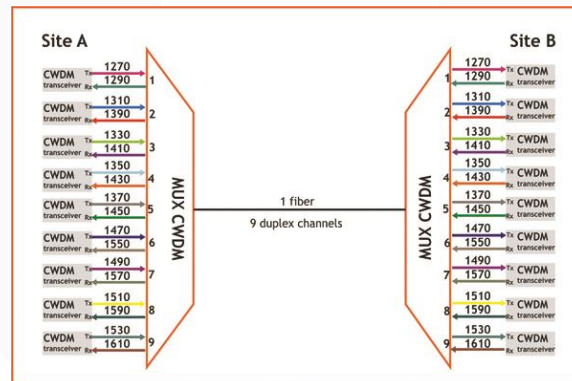
### 1. Pendahuluan

Teknologi *Passive Optical Network* (PON) sudah digunakan banyak operator di dunia dan terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan internet dengan kecepatan tinggi dan *bandwidth* yang sangat besar. Teknologi PON dipilih karena dinilai mempunyai biaya operasional yang rendah, *bandwidth* yang sangat besar, dan hanya memerlukan komponen pasif untuk menghubungkan antara kantor pusat dengan lokasi pelanggan [1]. Salah satu teknologi PON yang masih dikembangkan adalah *Next-Generation Passive Optical Network stage 2* (NG-PON2). Sebuah organisasi bernama *Full-Service Access Network* (FSAN) adalah pengembang teknologi NG-PON2. NG-PON2 mampu memberikan layanan dengan 40 Gbps *downstream* dan 10 Gbps *upstream* dengan menggunakan *Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network* (TWDM-PON) [2].

Sebelum FSAN memutuskan menggunakan TWDM-PON, ada dua pesaing lain yaitu *Time-division Multiplexing Passive Optical Network* (TDM-PON) dan *Dense Wavelength-Division Multiplexing Passive Optical Network* (DWDM-PON) [4]. TDM-PON tidak digunakan pada teknologi NG-PON2 karena pada setiap *Optical Network Termination* (ONT) harus beroperasi penuh pada *bit rate* 40 Gbps yang menyebabkan terlalu besarnya *bit rate* untuk digunakan pada setiap satu pengguna [4]. DWDM-PON dapat mendukung bekerja pada banyak *wavelength* pada satu fiber, namun FSAN tidak menggunakannya pada teknologi NG-PON2 karena harga yang terlalu mahal [4].

Maka pada penelitian Tugas Akhir ini akan dilakukan pengujian dan simulasi menggunakan *Hybrid Coarse Wavelength Division Multiplexing Time Division Multiplexing* (Hybrid CWDM/TDM-PON) dengan basis TWDM-PON untuk digunakan pada teknologi NG-PON2 dengan *bit rate* 40 Gbps arah *downstream* dan 10 Gbps arah *upstream*. Parameter seperti panjang *link* dan jumlah *splitter* yang digunakan akan mempengaruhi kelayakan jaringan yang digunakan. Teknologi ini akan diuji menjadi solusi alternatif NG-PON2 karena mempunyai prinsip kerja yang sama dengan TWDM-PON, hanya dibedakan pada penggunaan lebar panjang gelombangnya, dapat di implementasi dengan mudah pada teknologi PON yang sudah ada (*existing*), dan dapat digunakan pada *single-mode optical fiber* (SMF) dengan *bandwidth* yang besar dan biaya operasional yang jauh lebih murah 40% [5, 6].

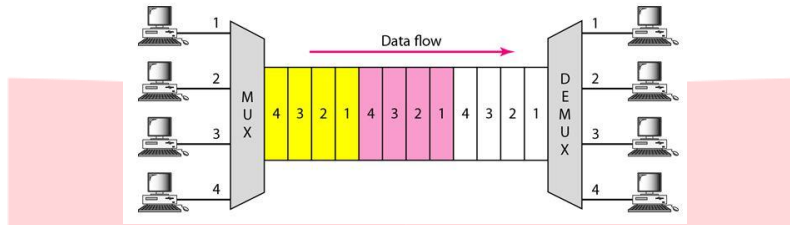
### 2. Dasar Teori



**Gambar 2.1** Arsitektur dan Panjang Gelombang CWDM

*Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM) adalah salah satu *multiplexer* yang terdapat pada jaringan komunikasi optik. Salah satu arti dari *Coarse WDM* adalah dua (atau kemungkinan lebih) sinyal dimultiplekskan menjadi satu serat. CWDM dapat digunakan pada serat ragam jamak dan juga serat ragam tunggal. CWDM memiliki jarak tempuh yang pendek dibandingkan dengan *multiplexer* lain, oleh sebab itu CWDM sesuai untuk wilayah yang memiliki rapat pelanggan, contohnya perkotaan. Walaupun, tidak memiliki jarak tempuh yang jauh CWDM lebih murah dalam hal pengoperasian dan juga tetap efisien dalam hal komunikasi data. Jumlah *channel* yang dapat ditangani CWDM memang tidak sebanyak DWDM, Namun tetap lebih banyak dibandingkan dengan konvensional WDM [7].

Sistem CWDM memiliki *channel* pada spasi panjang gelombang 20nm, dibandingkan dengan DWDM yang mencapai 0.4nm. CWDM memberikan biaya yang lebih rendah untuk pengoperasiannya. Energi dari laser yang dipancarkan oleh sistem CWDM, tersebar ke area yang lebih luas pada panjang gelombang dibandingkan dengan energi pada laser di sistem DWDM. Toleransi pada laser CWDM kurang lebih 3nm, oleh karena itu dengan presisi laser yang rendah sistem CWDM lebih murah dan mengkonsumsi lebih sedikit daya dibandingkan dengan DWDM. Sistem CWDM tidak dapat menempuh jarak yang jauh karena panjang gelombangnya tidak dapat dikuatkan [7].

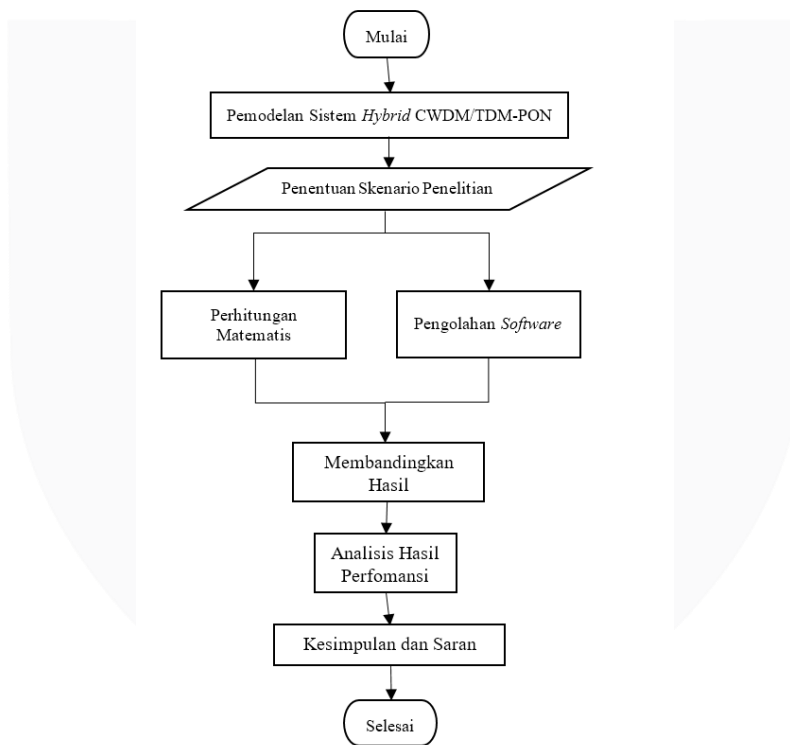


**Gambar 2.2** Proses Transmisi TDM

*Time Division Multiplexing* (TDM) adalah sebuah proses pentransmisian beberapa sinyal informasi yang hanya melalui satu kanal transmisi dengan masing-masing sinyal di transmisikan pada periode waktu tertentu [8]. Dengan menggunakan TDM, beberapa pengguna dapat mengakses jaringan pada frekuensi yang sama akan tetapi pada waktu yg bergiliran (bergiliran), semua ONU dapat beroperasi pada panjang gelombang yang sama [9]. Pada Gambar 2.16 menunjukkan proses transmisi TDM.

**3. Alur Perancangan**

Perencanaan sistem model dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

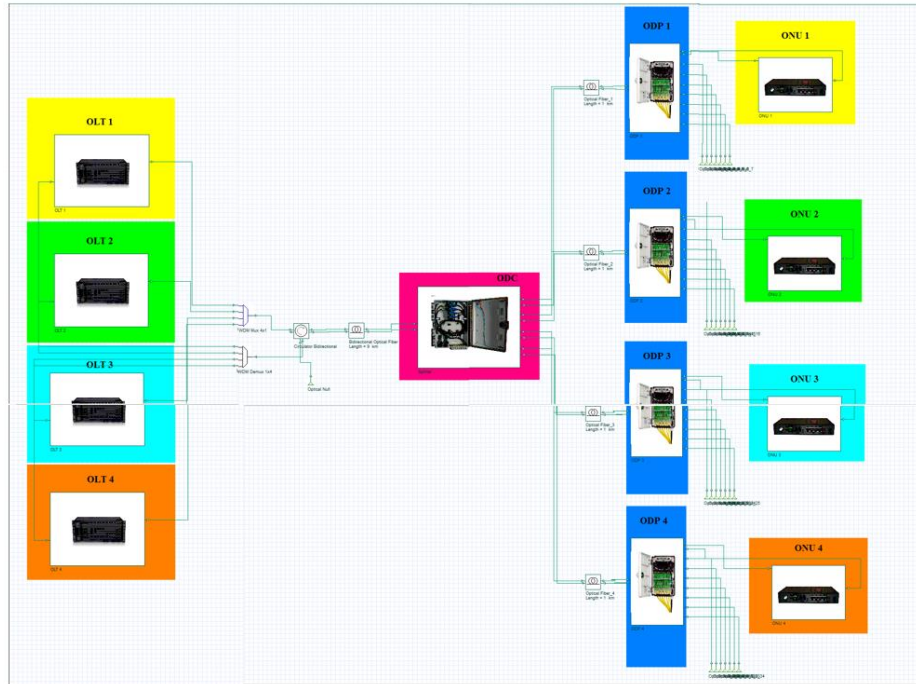


**Gambar 3.1** Diagram Alir Perencanaan

Pada Gambar 3.1 menjelaskan mengenai alur perancangan yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini. Diawali dengan perencanaan pemodelan sistem *Hybrid CWDM/TDM-PON*. Selanjutnya penentuan skenario penelitian. Skenario penelitian terdiri dari 3 skenario penelitian ditentukan berdasarkan jumlah *passive splitter* yang digunakan. Kemudian setelah memenuhi standar performansi (BER, *Q factor*, SNR) berdasarkan perhitungan matematis, maka akan dilakukan simulasi pada *software*. Hasil simulasi akan dibandingkan dengan perhitungan matematis. Kemudian dari hasil itu akan dianalisis.

### 3.1 Pemodelan Sistem

Gambar 3.2 dibawah ini model sistem *Hybrid CWDM/TDM-PON* yang digunakan pada simulasi



**Gambar 3.2** Model Sistem *Hybrid CWDM/TDM-PON*

Pada bagian OLT terdapat 2 blok, yaitu blok *transmitter* (pengirim) dan blok *receiver* (penerima). *Transmitter* pada OLT menggunakan *Pseudo-Random Bit Sequence (PRBS) Generator* yang menghasilkan *stream data* untuk ditransmisikan menggunakan *line coding Non Return to Zero (NRZ)*. *Line coding* memodulasi data sinar optik yang dipancarkan *CW Laser* menggunakan *Mach-Zehnder Modulator*. *Buffer Selector* pada OLT bagian *optical receiver* menerima semua *upstream data* dengan menggunakan *Time Division Multiple Access (TDMA)* yang dikirimkan dari seluruh ONU pada panjang gelombang yang sama. Panjang gelombang ini kemudian dipilih menggunakan *band-pass filter* kemudian *photodetector APD* dapat digunakan untuk memulihkan data yang diterima [10].

Pada bagian *optical transmitter* akan di *multiplexing* menggunakan *WDM Mux*, sama halnya pada bagian *optical receiver* akan di *de-multiplexing* menggunakan *WDM Demux*. Selain itu, ada juga komponen serat optik jenis *Single Mode Fiber (SMF)* dan *passive splitter*.

Pada Tugas Akhir ini akan digunakan *passive splitter* dengan 2 tahap (*stage*). Tahapan ini digunakan dengan jumlah yang berbeda yaitu 1:4 dan 1:8 untuk membentuk jaringan dengan 32 ONU, 1:4 dan 1:16 untuk membentuk jaringan 64 ONU, dan terakhir 1:4 dan 1:32 untuk membentuk jaringan 128 ONU. *Passive splitter* ini dibedakan jumlahnya untuk mengetahui kualitas jaringan *Hybrid CWDM/TDM-PON* terhadap setiap jumlah user yang ada.

Pada bagian ONU menggunakan *receiver* dan *transmitter* juga, dimana sinyal diterima melalui *Bessel filter* yang kemudian terjadi konversi *opt-electro* pada *photodetector*. *Low pass filter (LPF)* digunakan untuk membawa sinyal asal dari hasil modulasi. Pada sisi *transmitter* dapat menghasilkan urutan data atau *sequence data* dari NRZ yang dilewatkan dari dua tahap *Dynamic Y Select* yang berfungsi sebagai *time slot*, karena pada bagian *uplink* data yang ditransmisikan pada *time slot* menggunakan panjang gelombang yang sama [11].

**Tabel 3.1** Parameter-parameter *Hybrid CWDM/TDM-PON*

No	Komponen	Parameter	Nilai
1	<i>PRBS Generator</i>	<i>Bit rate</i>	10 Gbps
2	<i>Pulse Generator</i>	<i>Line coding</i>	NRZ
3	<i>Upstream CW Laser</i>	Panjang Gelombang	1550, 1570, 1590, 1610 nm

4	Downstream CW Laser	Panjang Gelombang	1470, 1490, 1510, 1530 nm
		Power	
		32 ONU 64 ONU 128 ONU	4 dBm (10 & 20 km) 5 dBm (10 & 20 km) 5 dBm (10 & 20 km)
5	Optical Fiber	Reference Wavelength	1550 nm
		Length	10 ; 20 km
		Attenuation	0.25 dB/km
		Dispersion	8 ps/nm km
		Dispersion slope	0.052 ps/nm <sup>2</sup> km
5	MZM Modulator	Effective area	63 μm <sup>2</sup>
		Extinction ratio	8.2 dB
6	Photodetector APD	Gain	10
		Responsivity	0.85 A/W
		Ionization ratio	0.45
		Resistance	30 Ohm
		Temperature	298 K
		Thermal noise	5.48 10 <sup>-12</sup>

**4. Analisis Model Sistem**

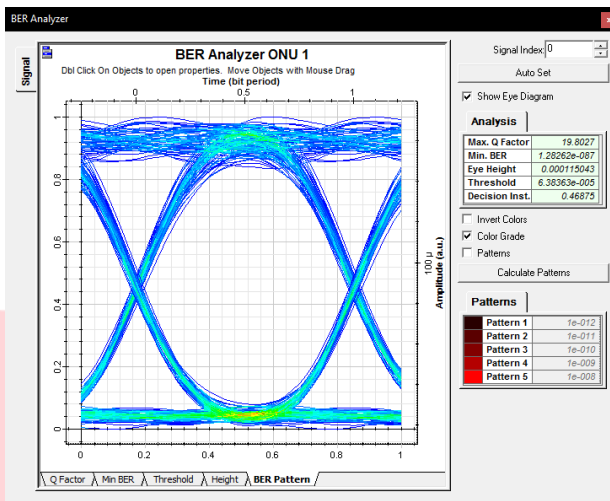
Model sistem *Hybrid* CWDM/TDM-PON skenario 1 menggunakan 2 tahap *passive splitter* yaitu *passive splitter* 1:4 dan *passive splitter* 1:8 dengan redaman *passive splitter* 1:4 sebesar 6.02 dB dan redaman *passive splitter* 1:8 sebesar 9.03 dB. Skenario 1 32 ONU dengan panjang *link* 10 dan 20 km menggunakan *power output laser* sebesar 4 dBm untuk arah *downstream* maupun *upstream*. Untuk skenario 1 dengan panjang *link* 10 dan 20 km memiliki nilai *Q Factor* berturut-turut sebesar 25.960 dan 14.815.

Model sistem *Hybrid* CWDM/TDM-PON skenario 2 menggunakan 2 tahap *passive splitter* yaitu *passive splitter* 1:4 dan *passive splitter* 1:16 dengan redaman *passive splitter* 1:4 sebesar 6.02 dB dan redaman *passive splitter* 1:16 sebesar 12.04 dB. Skenario 2 64 ONU dilakukan dengan panjang *link* 10 dan 20 km menggunakan *power output laser* sebesar 5 dBm untuk arah *downstream* maupun *upstream*. Untuk skenario 2 dengan panjang *link* yang sama memiliki nilai *Q Factor* berturut-turut sebesar 15.808 dan 13.046.

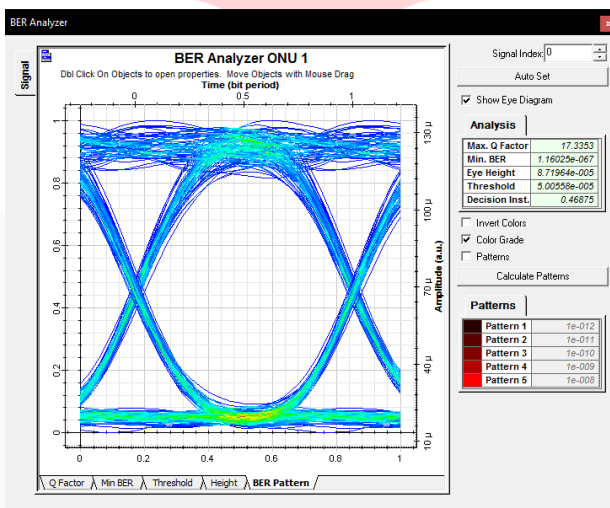
Model Sistem *Hybrid* CWDM/TDM-PON skenario 3 menggunakan 2 tahap *passive splitter* yaitu *passive splitter* 1:4 dan *passive splitter* 1:32 dengan redaman *passive splitter* 1:4 sebesar 6.02 dB dan redaman *passive splitter* 1:32 sebesar 15.05 dB. Skenario 3 128 ONU dengan panjang *link* 10 dan 20 km menggunakan *power output laser* sebesar 5 dBm untuk arah *downstream* maupun *upstream*. Untuk skenario 3 dengan panjang yang sama juga memiliki nilai BER berturut-turut sebesar 17.778 dan 12.944.

**Tabel 4.1 Hasil Simulasi**

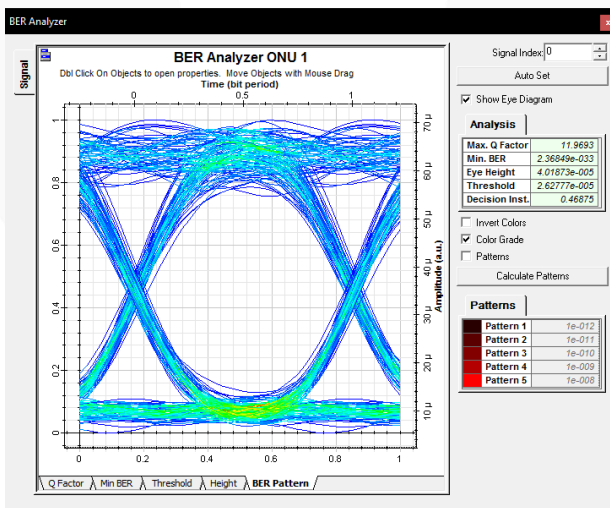
Panjang (km)	Arah	Skenario 1 (32 ONU)		Skenario 2 (64 ONU)		Skenario 3 (128)	
		QF	SNR (dB)	QF	SNR (dB)	QF	SNR (dB)
10	DS	19.803	15.978	17.335	15.400	11.969	13.791
	US	19.963	16.012	17.470	15.433	12.091	13.835
20	DS	18.105	15.588	12.219	13.881	11.048	13.443
	US	16.613	15.215	11.226	13.513	11.148	13.074



Gambar 4.1 Eye Diagram 32 ONU 10 km



Gambar 4.2 Eye Diagram 64 ONU 10 km



Gambar 4.3 Eye Diagram 128 ONU 10 km

Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 menunjukkan *Eye Diagram* pada 3 skenario yang digunakan pada panjang *link* 10 km. Hasil yang terlihat pada model sistem *Hybrid CWDM/TDM-PON* menunjukkan bahwa kualitas sinyal baik.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan uji coba simulasi *Hybrid CWDM/TDM-PON* pada NG-PON2 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jaringan *Hybrid CWDM/TDM-PON* dapat digunakan pada teknologi NG-PON2 dengan *bit rate* sebesar 40/10 Gbps dengan panjang *link* 10 dan 20 km
2. Hasil perencanaan dan simulasi pada skenario 1, panjang *link* 10 km menghasilkan selisih nilai *Q Factor* sebesar 6.157 atau selisih 31.09%. Nilai *Q Factor* pada 32 ONU mampu mencapai nilai maksimum pada panjang *link* 45 km sebesar 6.862.
3. Hasil perencanaan dan simulasi pada skenario 2, panjang *link* 10 km menghasilkan selisih nilai *Q Factor* sebesar 1.527 atau 8.81%. Nilai *Q Factor* pada 64 ONU mampu mencapai nilai maksimum pada panjang *link* 40 km sebesar 6.288.
4. Hasil perencanaan dan simulasi pada skenario 3, panjang *link* 10 km menghasilkan selisih nilai *Q Factor* sebesar 5.809 atau 48.53%. Nilai *Q Factor* pada 128 ONU mampu mencapai nilai maksimum pada panjang *link* 30 km sebesar 6.859.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. K, A. M. Z, A. D, S. M.S, H. Z and M. R, "CWDM PON System: Next Generation PON for Access Network," in Proceedings of the 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications, Kuala Lumpur, 2009.
- [2] "FSAN," [Online]. Available: <http://www.fsan.org>. [Accessed 22 October 2016].
- [3] M. A. Elyadi, "Next Generation Pon 2," Master's Thesis. The Islamic University, Gaza, 2014.
- [4] R. Heron and A. Pesovic, "Insight Nokia," Nokia, 1 April 2014. [Online]. Available: <https://insight.nokia.com/twdm-pon-taking-fiber-new-wavelengths>. [Accessed 22 October 2016].
- [5] A. K, "blog telkom," 4 June 2016. [Online]. Available: <http://anggrianakp.blog.st3telkom.ac.id/2016/06/04/tugas-besar-kinerja-telekomunikasi-ngn-performance-teknologi-cwdm/>. [Accessed 26 October 2016].
- [6] D. E, "Survivable FTTP network architectures with metro WDM and access PON," Bechtel Telecommunications Technical Journal, vol. XIII, no. 1, pp. 162-182, 2008.
- [7] A. K. Putri, "Teknologi Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)," Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom, Purwokerto, 2016.
- [8] I. Irawan, "Al-Muhibbin Indonesia," 26 October 2011. [Online]. Available: <http://www.almuhibbin.com/2011/10/pengertian-time-division-multiplexing.html>. [Accessed 7 November 2016].
- [9] T. P. A. Septiyani, "Analisis Quality of Service (QoS) Pada TDM/WDM Ethernet Passive Optical Network (EPON)," Universitas Telkom, Bandung, 2010.
- [10] M. D. Markovic, "Analysis of coexisting GPON and NG-PON1 (10G-PON) systems," Telfor Journal, vol. 3, no. No.1, 2011.
- [11] S. S. Pooja Sharma, "Simulative Analysis of 80Gbps NGPON Stage-2 based TWDM Communication System for Different Data Formats," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 5, no. 5, 2016.