

PERBANDINGAN PERFORMANSI ANTARA *PHOTODETECTOR* PIN DAN APD PADA SISTEM JARINGAN TWDM-PON

Performance Comparisons Between PIN and APD Photodetector in TWDM-PON Network System

Maulana Pragnya Ghita¹, Akhmad Hambali², Brian Pamukti³

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

¹maulanaghita@student.telkomuniversity.com,²ahambali@telkomuniversity.ac.id,³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Menurut *The Full Service Access Network (FSAN)*, *Time and Wavelength Division Multiplexing (TWDM)* dipilih sebagai solusi menuju teknologi *Next Generation Passive Optical Network (NG-PON)*. Pada penelitian ini dilakukan simulasi serta analisis perbandingan performansi antara penggunaan *photodetector* PIN dan APD pada *receiver* jaringan TWDM-PON menggunakan *software* simulator optik. Pembahasan akan mengulas kelayakan jenis *photodetector* pada konfigurasi sistem TWDM-PON. Pengukuran terhadap kelayakan jaringan TWDM-PON dilakukan dengan merubah parameter panjang link yaitu 40, 50, dan 60 km serta jumlah *user* yaitu 128, 256, dan 512 ONU. Analisis didekati dengan perhitungan *Q Factor* dan *BER*. Hasil simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan bahwa *photodetector* PIN dan APD menghasilkan performansi yang baik pada jaringan, 128, 256, dan 512 *user*. Jaringan 128, 256 dan 512 *user* memiliki performansi yang baik dengan maksimum *Q Factor* berturut-turut sebesar 34.805, 28.948, 29.885 dan minimum *BER* berturut-turut sebesar 8.49E-266, 1.23E-184, dan 41E-196.

Kata kunci: TWDM-PON, Photodetector, Q Factor, BER.

Abstract

According to *The Full Service Access Network (FSAN)*, *Time and Wavelength Division Multiplexing (TWDM)* is chosen as a solution to *Next Generation Passive Optical Network (NG-PON)* technology. In this research, simulation and performance comparison analysis between PIN and APD photodetector usage on TWDM-PON network receiver using optical simulator software. The discussion will review the feasibility of the type of photodetector in TWDM-PON system configuration. Measurement of the feasibility of TWDM-PON network is done by changing the link length parameters that are 40, 50, and 60 km and the number of users is 128, 256, and 512 ONU. The analysis is approximated by calculating *Q Factor* and *BER*. The result of simulation and calculation have been found that photodetector PIN and APD produce good performance on network, 128, 256, and 512 *user*. Networks 128, 256 and 512 users have good performance with maximum *Q Factor* respectively of 34,805, 28,948, 29,885 and a minimum of *BERs* respectively of 8.49E-266, 1.23E-184, and 41E-196.

Keywords: TWDM-PON, Photodetector, Q Factor, BER.

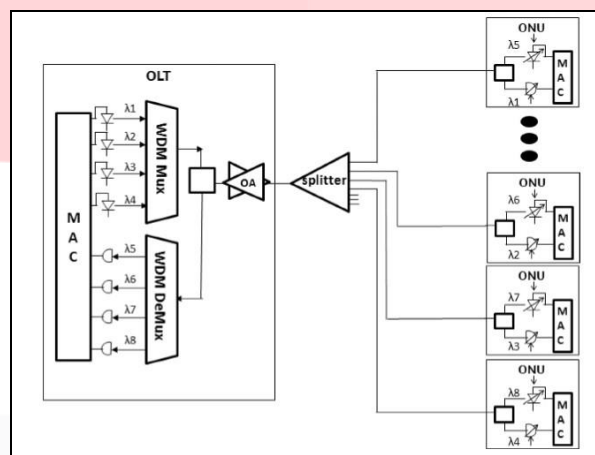
1. PENDAHULUAN

Next Generation Passive Optical Network Stage 2 (NGPON-2) telah diprakarsai oleh sub-organisasi *Full Service Access Network (FSAN)* dari ITU-T pada bulan April tahun 2012 [1]. Berbagai konfigurasi sistem yang berbeda ditawarkan guna mendukung total agregasi *bit rate* 40 Gbps. *Stacking Optical Line Termination (OLT)* adalah metode yang digunakan pada jaringan TWDM-PON yang dapat membawa data dengan kecepatan *bit rate* 40 Gbps untuk *downstream* dan *upstream* [2]. Pada sistem komunikasi optik terdapat tiga bagian penting : pemancar (*transmitter*), media *transmisi*, dan penerima (*receiver*). *Photodetector* adalah bagian inti pada penerima yang berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik. Pada penelitian ini performansi penggunaan APD dan PIN dibandingkan pada perancangan sistem jaringan TWDM-PON dengan total agregat *bit rate* 80/80 Gbps dan jumlah *user* sampai 512 ONU dengan panjang *link* sampai 60 km.

2. DASAR TEORI

A. Time and Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network

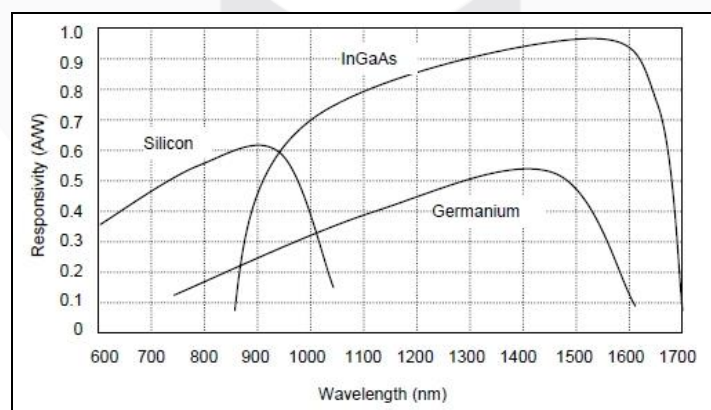
Menurut standar ITU-T G.989, TWDM mentransmisikan informasi dengan 3 jenis *bit rate* yaitu *Basic Rate* (9,95328 Gbps/2,48832 Gbps), *Rate Option 1* (9,95328 Gbps/9,95325 Gbps) dan *Rate Option 2* (2,48832 Gbps/2,48832 Gbps). TWDM menggunakan panjang gelombang 1596-1603 nm, spasi antar panjang gelombang 100 Ghz, menggunakan *Scrambled NRZ*. Panjang *link* TWDM-PON adalah 20 – 40 km. Daya kirim TWDM berkisar antar 0-10 dBm untuk *bit rate* 2,48832 Gbps arah *downstream* dan 3-11 dBm untuk *bit rate* 9,95328 Gbps arah *downstream* serta 0-9 dBm untuk *bit rate* 2,48832 Gbps arah *upstream* dan 4-9 dBm untuk *bit rate* 9,95328 Gbps arah *upstream* [3].



Gambar 1. Arsitektur Jaringan TWDM-PON [4]

B. Photodetector

Photodetector merupakan perangkat yang sensitif terhadap cahaya, mengubah sinyal yang diterima dari sinyal foton menjadi sinyal elektron. Sumber optik di sisi pengirim mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik. Sinyal optik digabungkan dengan sinyal optik lainnya ke dalam satu serat optik, kemudian dikirim dengan panjang gelombang tertentu dan jarak yang relatif jauh. Pada sisi penerima, masukan sinyal optik dikonversi kembali dari domain optik ke domain listrik. Konversi ini dikerjakan dengan menggunakan perangkat *photodetector*. Terdapat berbagai macam jenis *photodetector* yang dapat digunakan dengan keperluan yang berbeda. Dalam komunikasi serat optik terdapat dua jenis *photodetector* yang memiliki kepentingan utama: *PIN diodes* dan *APD diodes*. Hampir semua *receiver* serat optik menggunakan salah satu jenis perangkat *photodetector* tersebut [4].



Gambar 2. Kurva responsivitas tipikal untuk bahan *Silicon*, *InGaAs*, dan *Germanium* [5]

Tabel 1. Parameter untuk detektor bahan *Silicon*, *Germanium*, dan *InGaAs* [5]

Materials	Wavelength Range (nm)	Responsivity (A/W)	Dark Current (nA)	Avalanche Gain (dB)
<i>Silicon</i>	400 – 1100	0.4 – 0.6	0.1 – 10	20 - 400
<i>Germanium</i>	800 – 1600	0.4 – 0.5	50 – 500	50 - 200
<i>InGaAs</i>	1100 – 1700	0.7 – 1	0.5 – 50	10 - 50

C. Parameter Analisis Performansi

a. Signal to Noise Ratio (SNR)

Persamaan SNR dapat dituliskan [5]:

$$SNR = \frac{(P_{in} R M^2)}{2q P_{in} R M^2 F(M) B_{\epsilon} + \frac{4K_B T B_{\epsilon}}{R_L}} \dots\dots\dots(1)$$

b. Q-Factor

Persamaan hubungan antara SNR dengan Q-Factor dapat dituliskan [5]:

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{10}}}{2} \dots\dots\dots(2)$$

c. Bit Error Rate (BER)

Persamaan BER dapat dituliskan [5]:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \cong \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \dots\dots\dots(3)$$

d. Received Power

Power Received dapat direpresentasikan dengan persamaan [5]:

$$Power\ Received = P_{in} - \alpha_{Total} \dots\dots\dots(4)$$

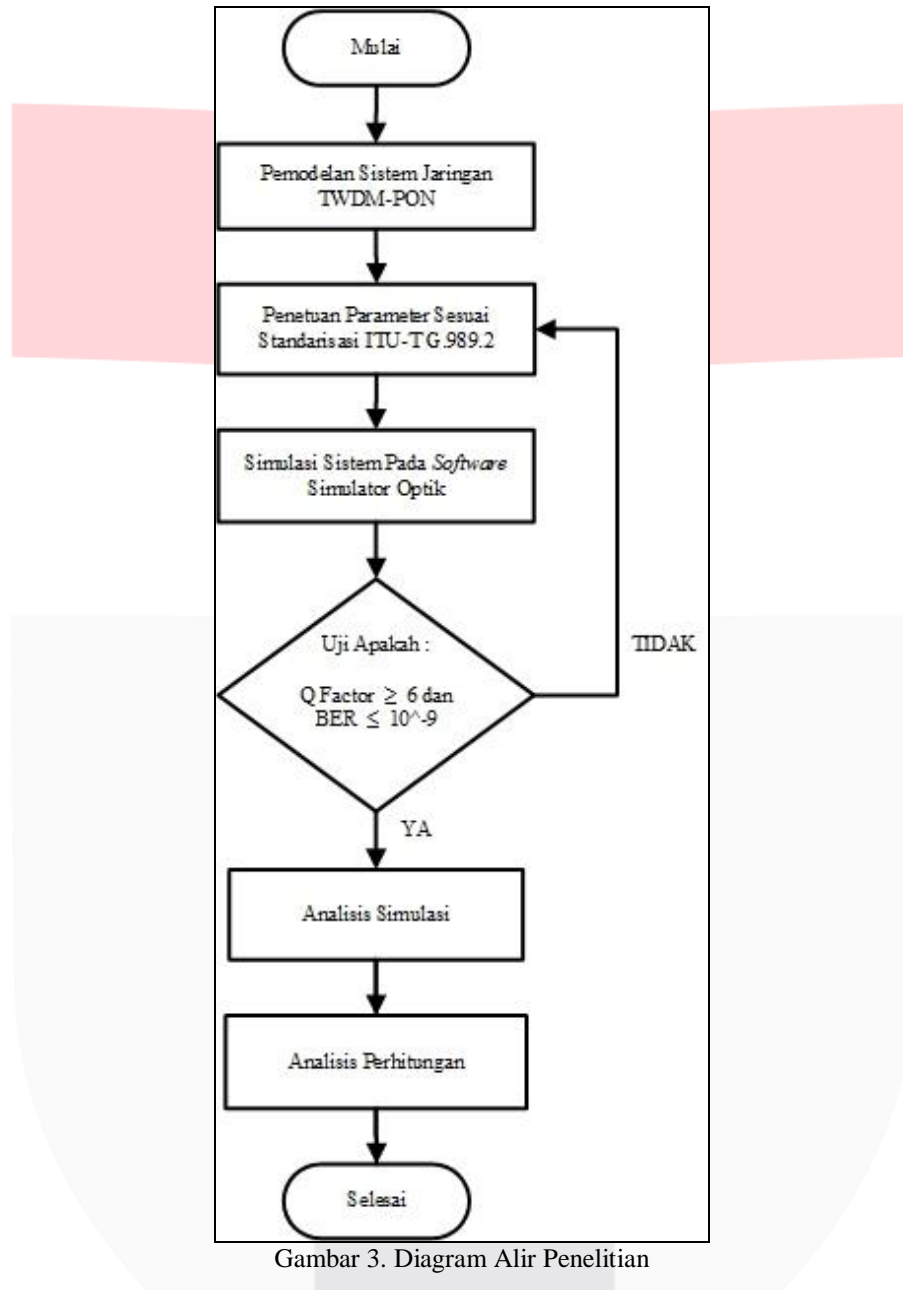
$$P_{in} = P_{TX} + G \dots\dots\dots(5)$$

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter} + \alpha_{SMF} + \alpha_{AWG} \dots\dots\dots(6)$$

3. PERENCANAAN SIMULASI MODEL SISTEM

A. Diagram Alir Penelitian

Perancangan sistem dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.

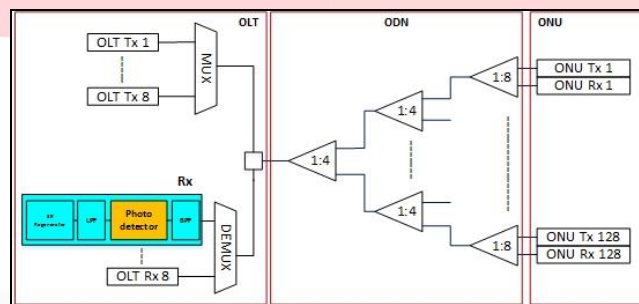


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

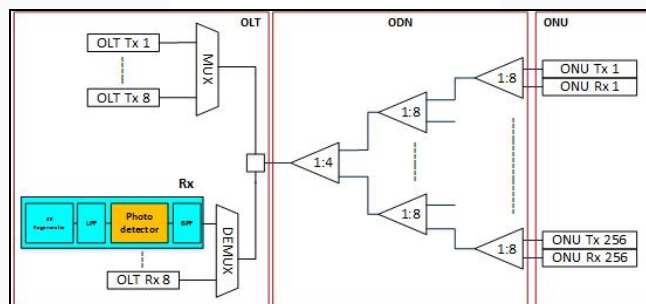
Pada bagan ini dijelaskan alur penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, sebagaimana yang tertera pada Gambar 3. pada mulanya akan dilakukan perancangan sistem TWDM-PON. Selanjutnya dari sistem yang sudah ada, dilakukan penginputan parameter pengujian sebagai variabel bebas yaitu jenis *photodetector*, panjang *link*, dan jumlah *N user*. Penelitian dalam Tugas Akhir ini memiliki 3 skenario penelitian berdasarkan panjang *link transmisi* dan jumlah *passive splitter*. Skenario 1 dengan 3 *stage passive splitter* yaitu 1:4, 1:4, dan 1:8, skenario 2 yaitu 1:4, 1:8, dan 1:8, skenario 3 yaitu 1:8, 1:8, dan 1:8. Parameter uji yaitu panjang *link* 40 km, 50 km, dan 60 km akan diujicobakan ke dalam tiap-tiap skenario penelitian untuk mengetahui pengaruh performansi *photodetector* terhadap setiap parameter uji. Performansi jaringan dianalisis menggunakan parameter analisis *Q Factor* dan *BER*. Penelitian diakhiri dengan melakukan perbandingan terhadap setiap performansi skenario.

B. Pemodelan Sistem

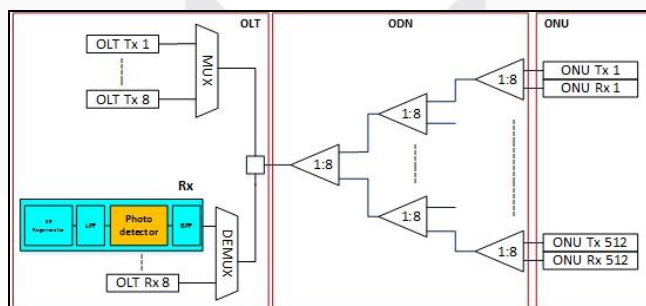
Pada umumnya, *Time and Wavelength Division Multiplexing – Passive Optical Network* (TWDM-PON) tersusun dari tiga blok utama yaitu blok *Optical Line Termination* (OLT), blok *Optical Distribution Network* (ODN), dan blok *Optical Network Unit* (ONU) seperti yang terlihat pada gambar model arsitektur penelitian. Pada OLT menggunakan delapan *channel wavelength* dengan panjang gelombang setiap *channel* berbeda dan nilai *bitrate* tiap *channel* sebesar 10 Gbit/s untuk arah *downstream* dan *upstream*. Pada sisi ODN dilakukan penelitian dengan menggunakan jarak transmisi 40 km, 50 km, dan 60 km dengan menggunakan serat optik jenis *single mode fiber* (SMF) dan menggunakan *split ratio* 1:128, 1:256, dan 1:512 dengan tiga *stacks power splitter bidirectional*. Pada sisi ONU dilakukan penelitian dengan membandingkan performansi sistem antara penggunaan *photodetector* jenis PIN dan APD pada *receiver*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batasan performansi sistem pada setiap penggunaan jenis *photodetector*, dan mengetahui jenis *photodetector* yang tepat untuk digunakan pada sistem TWDM-PON. Sistem dimodelkan dalam bentuk skenario percobaan seperti pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4. Arsitektur Skenario 128 ONU



Gambar 5. Arsitektur Skenario 256 ONU



Gambar 6. Arsitektur Skenario 512 ONU

4. HASIL PERANCANGAN DAN ANALISIS PENGARUH PIN DAN APD PADA SISTEM TWDM-PON

A. Hasil Simulasi Pada Simulator Optik

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan hasil simulasi parameter performansi dari tiga skenario.

Tabel 2. Hasil Simulasi TWDM-PON dengan *Photodetector* APD

Jarak (km)	Dir.	Skenario 1 (128 ONU)		Skenario 2 (256 ONU)		Skenario 3 (512 ONU)	
		QF	BER	QF	BER	QF	BER
40	US	34,805	8,49E-266	28,948	1,23E-184	29,885	1,41E-196
	DS	23,973	2,64E-127	23,655	5,19E-124	23,757	4,67E-125
50	US	22,712	1,49E-114	24,021	5,99E-128	21,443	2,09E-102
	DS	17,544	3,31E-69	16,98	5,72E-65	16,877	3,33E-64
60	US	18,307	3,55E-75	16,664	1,18E-62	15,233	1,02E-52
	DS	11,605	1,94E-31	11,539	4,15E-31	11,104	5,96E-29

Tabel 3. Hasil Simulasi TWDM-PON dengan *Photodetector* PIN

Jarak (km)	Dir.	Skenario 1 (128 ONU)		Skenario 2 (256 ONU)		Skenario 3 (512 ONU)	
		QF	BER	QF	BER	QF	BER
40	US	26,928	4,59E-160	18,604	1,48E-77	11,139	4,03E-29
	DS	19,783	2,05E-87	18,042	4,46E-73	10,272	4,73E-25
50	US	19,319	7,52E-70	12,366	2,00E-35	6,662	1,32E-11
	DS	15,891	3,65E-57	11,012	1,67E-28	6,663	1,34E-11
60	US	14,121	1,40E-45	8,291	5,59E-17	4,695	1,33E-06
	DS	9,41	2,47E-21	7,451	4,59E-14	4,104	2,00E-05

B. Analisis Hasil Simulasi Pada Simulator Optik

Pada Skenario 1 untuk photodetector APD dan PIN dengan panjang *link* 40 km, 50 km dan 60 km memiliki performansi yang baik ditunjukkan dari nilai *Q Factor* yang berada di atas *threshold* yaitu 6. Terlihat bahwa nilai *Q Factor* pada panjang *link* 40 km lebih besar dari nilai *Q Factor* pada panjang *link* 50 km dan 60 km. Hal ini diakibatkan oleh redaman serat optik sebesar 0.2 dB/km sehingga panjang *link* 40 km memiliki redaman sebesar 8 dB sedangkan panjang *link* 50 km dan 60 km memiliki redaman yang lebih besar yaitu 10 dB dan 12 dB.

Pada Skenario 2 untuk photodetector APD dan PIN dengan panjang *link* 40 km, 50 km, dan 60 km memiliki performansi yang baik ditunjukkan dari nilai *Q Factor* yang melebihi 6. Terlihat bahwa nilai *Q Factor* skenario 2 mendekati nilai *Q Factor* skenario 1. Hal ini diakibatkan pada skenario 2 menggunakan daya kirim yang lebih besar dari skenario 1 sehingga kualitas jaringan masih dapat dipertahankan walaupun mengalami *loss* akibat pembagian daya. Terlihat juga bahwa BER panjang *link* 40 km lebih kecil dari BER panjang *link* 50 km dan 60 km yang diakibatkan oleh redaman serat optik dan bertambahnya jumlah *split ratio*.

Pada Skenario 3 untuk photodetector APD dan PIN dengan panjang *link* 40 km dan 50 km memiliki performansi yang baik ditunjukkan dari nilai *Q Factor* yang melebihi 6 dan nilai BER di atas *threshold*. Pada skenario 3, panjang *link* 60 km dengan *photodetector* PIN mengalami kenaikan *loss* yang besar akibat total pembagian daya dan panjang *link*. Oleh karena *loss* yang semakin tinggi maka daya kirim pada *photodetector* PIN skenario 3 untuk panjang *link* 60 km menurun. Hasilnya menunjukkan bahwa pada jumlah *user* 512 ONU

dengan panjang *link* 60 km, penggunaan *photodetector* PIN pada *receiver* sudah tidak layak digunakan karena hasil Q-Factor dan BER di bawah *threshold*.

8. Kesimpulan

Hasil simulasi model sistem menunjukkan bahwa tipe *photodetector* yang terbaik untuk digunakan pada TWDM-PON adalah APD, karena simulasi dengan 128 ONU memberikan performansi yang bagus pada panjang *link* 60 km (Nilai *Q Factor* maksimum untuk seluruh skenario jaringan adalah 34.805 dan *Q Factor* minimum adalah 4.104), simulasi dengan 256 ONU memberikan performansi yang bagus pada panjang *link* 50 km, dan simulasi dengan 512 ONU memberikan performansi yang bagus hanya pada panjang *link* 40 km. *Photodetector* PIN dapat digunakan pada TWDM-PON namun memiliki batasan yang lebih kecil dibandingkan dengan APD, karena performansi terbaik dari *photodetector* PIN hanya sampai simulasi dengan 256 ONU pada panjang *link* 40 km.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ITU-T, *G.989.2 40-Gigabit-capable passive optical network 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification*, December 2014.
- [2]. Full Service Access Network, "FSAN Highlight and NG-PON2 Standards Update," 4 February 2015.
- [3]. Y. Luo, X.Zhou and F. Effenberger, "Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) for Next-Generation Network PON Stage 2 (NG-PON2)," *Journal of Lightwave Technology*, vol 31, pp. 587-593, February 2013.
- [4]. Osayd Kharraz, David Forsyth, "Performance comparisons between PIN and APD photodetectors for use in optical communication system," *Optik*, vol.124, pp.1493-1498, 2013.
- [5]. G. Keiser, *Optical Fiber Communication*, Boston: McGraw-Hill, 2005.