

---

## Analisis Perbandingan Kinerja Modulasi Langsung dan Modulasi Eksternal pada Sistem Komunikasi Optik yang Menggunakan *Fiber Bragg Grating* dalam Mengatasi Dispersi

**Febrizal Ujang**  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau  
Email: [febrizal@eng.unri.ac.id](mailto:febrizal@eng.unri.ac.id)

**Afif Aryas**  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau  
Email: [afif.aryas2611@student.unri.ac.id](mailto:afif.aryas2611@student.unri.ac.id)

**Daffa Tantowi Nasution**  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau  
Email: [daffa.tantowi2687@student.unri.ac.id](mailto:daffa.tantowi2687@student.unri.ac.id)

**Faghas Prandima Augika**  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau  
Email: [faghas.prandima3048@student.unri.ac.id](mailto:faghas.prandima3048@student.unri.ac.id)

**Ishmatullah Bahri**  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau  
Email: [ishmatullah.bahri4312@student.unri.ac.id](mailto:ishmatullah.bahri4312@student.unri.ac.id)

**Muhammad Raihan Azhary**  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau  
Email: [muhammad.raihan5278@student.unri.ac.id](mailto:muhammad.raihan5278@student.unri.ac.id)

### ABSTRAK

Dalam sistem komunikasi optik, penggunaan Fiber Bragg Grating (FBG) diusulkan untuk mengkompensasi dispersi dan terbukti dapat meningkatkan kinerja sistem secara signifikan. Teknik Modulasi Optik dapat dilakukan secara langsung maupun eksternal. Tujuan Percobaan pada jurnal ini untuk membandingkan teknik modulasi langsung yang memberikan keuntungan biaya yang lebih murah, tetap memenuhi standar walaupun dengan kinerja yang lebih rendah dengan jurnal sebelumnya telah menyelidiki kinerja sistem komunikasi optik dengan teknik modulasi eksternal yang menggunakan FBG untuk mengatasi dispersi. Ada dua jenis *photodetector* yang digunakan dalam pengujian sistem yaitu *Avalanche Photodiode* (APD), dan *Positive Intrinsic Negative* (PIN) Pada jurnal ini, dilakukan pengujian kinerja sistem komunikasi optik dengan teknik modulasi langsung menggunakan aplikasi *Optisystem 7.0*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem komunikasi optik dengan teknik modulasi langsung masih mempunyai nilai BER dan Q – Factor yang masih memenuhi standar.

**Kata kunci:** Modulator eksternal, Modulator langsung, *Fiber Bragg Gratings* (FBG), *Avalanche Photodiode* (APD), *Positive Intrinsic Negative* (PIN), *OptiSystem 7.0*

## ABSTRACT

*In optical communication systems, the use of Fiber Bragg Grating (FBG) is proposed to compensate for dispersion and is proven to significantly improve system performance. Optical Modulation techniques can be performed directly or externally. The purpose of the experiment in this journal is to compare that the direct modulation technique, which provides a lower cost advantage, still meets the standards even with lower performance to Previous journals have investigated the performance of optical communication systems with external modulation techniques using FBG to overcome dispersion. There are two types of photodetectors used in system testing, avalanche Photodiode (APD) and Positive Intrinsic Negative (PIN). The test results show that the optical communication system with direct modulation techniques still has BER and Q – Factor values that still meet the standards.*

**Keywords:** External Modulator, Direct Modulator, Fiber Bragg Gratings (FBG), Avalanche Photodiode (APD), Positive Intrinsic Negative (PIN), OptiSystem 7.0

## 1. PENDAHULUAN

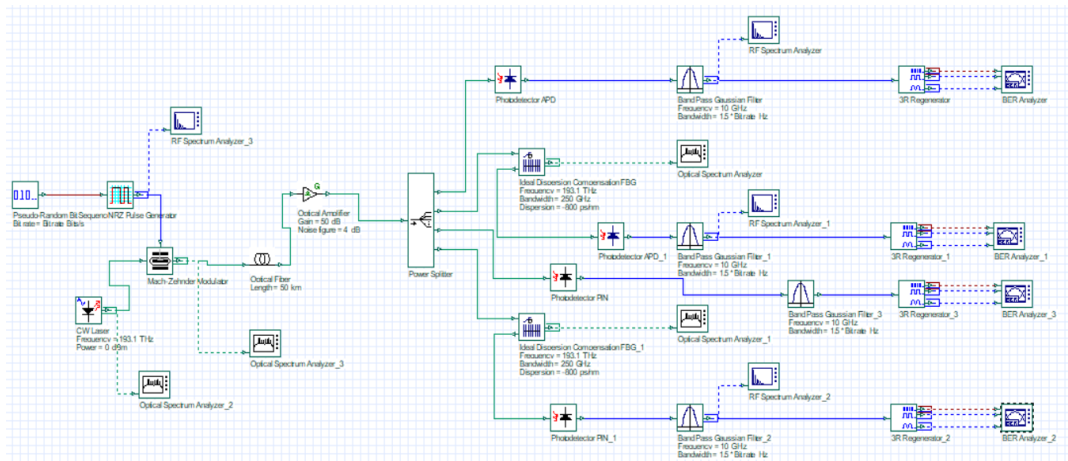
Permintaan akan layanan *broadband* yang memerlukan kecepatan data yang tinggi dan *bandwidth* yang besar semakin meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Dalam memenuhi hal tersebut, diperlukan sebuah jaringan akses yang dapat mendukung permintaan yang bertambah. Sistem komunikasi optik merupakan salah satu solusi yang berpotensi untuk meningkatkan kapasitas dan mobilitas maupun mengurangi biaya (*cost*) pada jaringan akses. Ada beberapa masalah yang masih perlu diatasi dalam sistem komunikasi optik di antaranya adalah kerentanan terhadap nonlinearitas dari komponen optik, serta degradasi sinyal pada *link* serat optik yang disebabkan oleh dispersi fiber.

*Dispersion Compensating Fiber* (DCF) saat ini digunakan sebagai solusi standar untuk kompensasi dispersi dalam transmisi jarak jauh, karena cocok dengan pembatalan dispersi dengan gangguan *cascading* yang dapat diabaikan [1]. Namun transmisi cahaya melalui komponen serat kompensasi dispersi terbatas karena daya input untuk menghindari gangguan nonlinier yang menciptakan kerugian penyisipan yang tinggi pada *link*. *Fiber Bragg Grating* (FBG) mungkin menggantikan DCF sebagai solusi standar untuk kompensasi *line dispersion*.

FBG memiliki nonlinieritas yang dapat diabaikan, *insertion loss* yang rendah, dan ukuran dudukan yang kecil, dapat mempengaruhi kinerja sistem dan meningkatkan kapasitas jaringan ketika digunakan dalam dua metode skenario yang berbeda baik sebagai kompensator dispersi untuk *Fiber Network* jarak jauh atau ketika digunakan untuk perutean *wavelength* dalam sistem *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Di kedua area tersebut, FBG dapat dengan mudah mempengaruhi kinerja sistem terutama ketika *grating chirped* [2]. Kemampuan penyaringan yang sangat selektif dari FBG dikombinasikan dengan semua konfigurasi dan fleksibilitas seratnya menjadikan teknologi ini kandidat yang ideal untuk jaringan generasi saat ini dan berikutnya [3]. FBG, dengan manfaat fleksibilitas, *loss* rendah untuk mentransfer, karakteristik spektrum garis sempit, ketergantungan tinggi, kebal terhadap fluktuasi sumber daya, dan *loss* kopling rendah, semakin mendapat perhatian dari banyak peneliti di dunia [4]. FBG muncul sebagai salah satu komponen terpenting untuk merancang sistem komunikasi serat optik [5]. Jurnal sebelumnya [2] telah menyelidiki kinerja sistem komunikasi optik yang menggunakan FBG untuk mengatasi dispersi. Teknik modulasi optik yang digunakan pada jurnal tersebut adalah teknik modulasi eksternal. Selain menggunakan teknik modulasi eksternal, modulasi optik dapat dilakukan dengan teknik modulasi langsung. Teknik modulasi langsung memberikan keuntungan yaitu berupa harga yang lebih murah namun mempunyai kinerja yang lebih rendah jika dibandingkan dengan teknik modulasi external. Dalam jurnal ini akan dilakukan perbandingan kinerja sistem komunikasi optik dengan teknik modulasi langsung dan eksternal yang menggunakan FBG dalam mengatasi masalah dispersi.

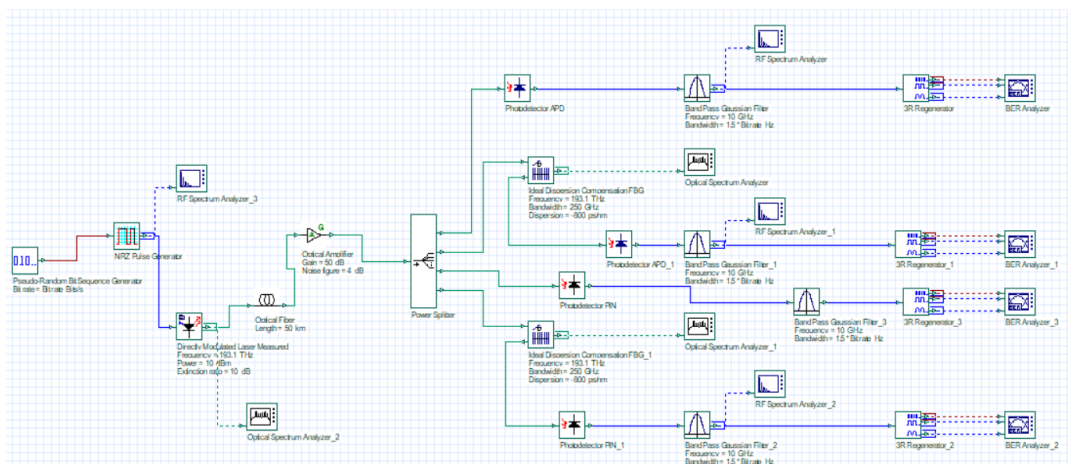
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Sistem yang dirancang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *OptiSystem* versi 7.0. Gambar 1 menunjukkan rangkaian sistem komunikasi optik dengan teknik modulasi eksternal yang menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) untuk mengkompensasi dispersi pada penerima Optik. Pada penerima, informasi yang diterima divalidasi dengan menganalisis  $Q$  – *Factor* dan *Bit Error Rate* dari dua detektor optik yang berbeda dengan dan tanpa menggunakan perangkat *Fiber Bragg Grating*.



Gambar 1. Rangkaian Simulasi Menggunakan Modulasi Eksternal

Pada rangkaian modulasi eksternal, sumber optik menggunakan komponen PRBS (*Pseudo Random Bit Sequence*) yang akan diubah oleh NRZ Pulse Generator dan CW Laser. Untuk memodulasi sinyal optik digunakan komponen *Mach-Zender Modulator* yang akan di transmisikan oleh *Optikal Fiber* sepanjang 50 km dengan nilai redaman 0.2 dB/km dan diperkuat oleh *Optikal Amplifier Gain* sebesar 50 dB yang akan di pisah oleh *Power Splitter* 1x4. Terdapat masing-masing 2 receiver yaitu *Avalanche Photodiode* (APD) dan *Positive Intrinsic Negative* (PIN) yang akan divariasikan dengan menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) sebagai kompensator dispersi dengan nilai dispersi -800 ps/nm. Sebelum diterima oleh BER Analyzer terdapat filter untuk menyaring noise, filter yang digunakan adalah *BandPass Gaussian Filter* dengan frekuensi 10 GHz.



Gambar 2. Rangkaian Simulasi Menggunakan Modulasi Langsung

Gambar 2 merupakan rangkaian sistem komunikasi optik dengan teknik modulasi langsung. Rangkaian ini tetap memakai komponen seperti pada rangkaian modulasi eksternal yaitu PRBS (*Pseudo Random Bit Sequence*) sebagai sumber optik, *Optikal Fiber* sebagai media transmisi yang akan di perkuat oleh *Optikal Amplifier Gain*, *Power Splitter 1x4* sebagai pemisah dari ke 4 receiver yang akan divariasikan dengan menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) sebagai kompensator dispersi dan akan di filter oleh *BandPass Gaussian Filter* sebelum di terima *BER Analyzer*. Perbedaan kedua rangkain hanya pada komponen modulator yang menggunakan *Directly Modulated Laser Measured* pada rangkaian modulator langsung dan tidak menggunakan *CW Laser* sebagai sumber optik.

Dalam Jurnal ini, perancangan simulasi dilakukan dalam dua metode, yang pertama menggunakan *Avalanche Photodiode* (APD) dan yang kedua menggunakan *Positive Intrinsic Negative* (PIN) untuk membandingkan hasil keluaran kedua receiver. *Avalanche Photodiode* (APD) melipat gandakan sinyal utama arus cahaya sebelum memasuki *amplifier*. Ini meningkatkan sensitivitas penerima, karena arus cahaya dilipatgandakan sebelum bertemu dengan *noise thermal* yang menjadi satu dengan rangkaian penerima. Untuk komunikasi jarak pendek lebih efisien jika menggunakan detektor dioda PIN, karena PIN baik digunakan untuk *bit rate* rendah dan sensitivitasnya tinggi untuk LED.

Selain metode tersebut juga dilakukan 2 metode untuk membandingkan dengan menambahkan komponen 2 buah modulator optik. Modulator Optik adalah komponen yang digunakan untuk sinyal mengubah sinyal *carrier* berupa berkas cahaya sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan. Secara umum, ada dua tipe modulator yaitu modulator eksternal (*indirect modulator*) dan modulator langsung (*direct modulator*). Pada modulator langsung, menggunakan komponen *directly modulated laser measured*. Modulator langsung memodulasi cahaya di dalam perangkat sumber cahaya nya. Prinsip kerja dari modulator langsung yaitu cahaya yang dipancarkan dari sumber laser semikonduktor hanya ketika tanda pengiriman sinyal memrepresentasikan nilai "1". Secara tidak langsung dapat dipastikan bahwa cahaya tidak akan dipancarkan ketika nilai yang didapatkan adalah "0". Sedangkan pada modulator eksternal menggunakan komponen *Mach-Zehnder Modulator*. Modulator *Mach - Zehnder*, bekerja berdasarkan prinsip perpaduan (*interfering*) dua berkas cahaya koheren. Perpaduan dua berkas cahaya yang koheren menghasilkan pola garis-garis cahaya sesuai dengan besarnya beda fasa antara dua berkas cahaya. Ketika terjadi persamaan fasa, maka intensitasnya menjadi maksimum sehingga ada cahaya yang merambat di media transmisi. Sebaliknya, ketika terjadi perbedaan fasa maka intensitasnya menjadi minimum sehingga tidak ada cahaya yang merambat di media transmisi. Hasilnya dievaluasi menggunakan penganalisis jenis pohon seperti penganalisis spektrum optik, penganalisis spektrum listrik, dan penganalisis *Bit Error Rate*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam jurnal ini, penulis memeriksa seberapa baik *Fiber Bragg Grating* (FBG) mengkompensasi efek dispersi dan membandingkan 2 modulator dalam sistem komunikasi optik. Sistem yang dirancang menggunakan *Software OptiSystem7.0*

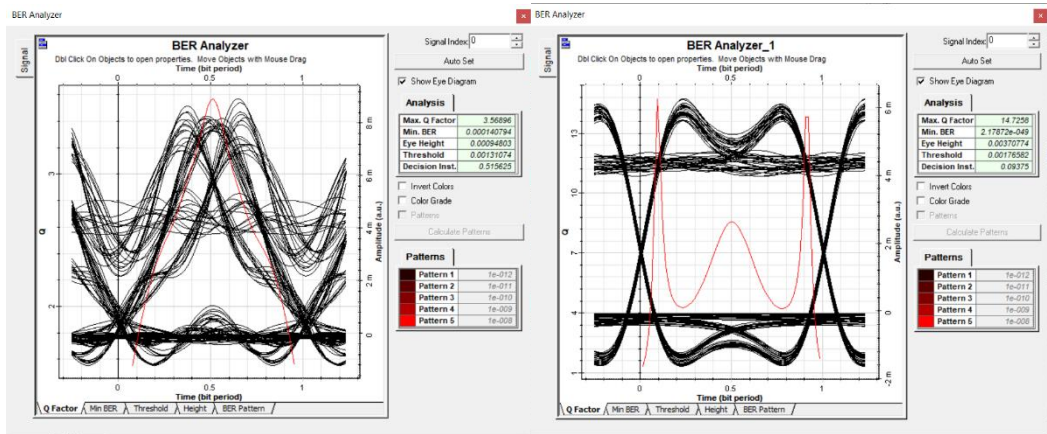
Pada receiver hasil output divalidasi menggunakan *BER Analyzer* dengan menganalisa *Q-Factor* dan *Bit Error Rate* dari 2 *Optical Detector* yang berbeda dengan menggunakan *Fiber Bragg Grating* dan tidak menggunakan *Fiber Bragg Grating* dengan nilai *Q - Factor* > 6 dan nilai *Bit error rate* >  $10^{-9}$  . Dalam modulasi laser, arus atau tegangan bervariasi terhadap waktu untuk memodulasi sinyal keluaran dari laser.

*Optical Detector* terbagi menjadi dua bagian, yaitu *Mach Zehnder Modulator* dan *Directly Modulated Laser Measured*. Untuk modulasi eksternal menggunakan *Mach Zehnder Modulator* (*MZM*) yang mana merupakan struktur interferometrik yang terbuat dari bahan dengan efek elektro-optik yang kuat (seperti  $\text{LiNbO}_3$ , GaAs, InP). Menerapkan medan listrik ke lengan mengubah panjang jalur optik yang menghasilkan modulasi fase. Menggabungkan dua lengan dengan modulasi fase yang berbeda mengubah modulasi fase menjadi modulasi intensitas.

Sedangkan untuk *Directly Modulated Laser Measured* merupakan bagian dari modulator langsung. Modulasi Langsung adalah ketika arus, sebelum mencapai dioda laser, dimodifikasi dengan sinyal yang diinginkan untuk aplikasi. Ini menggunakan generator fungsi untuk membuat sinyal modulasi dan driver dioda laser untuk menerapkan sinyal ke arus drive untuk laser.

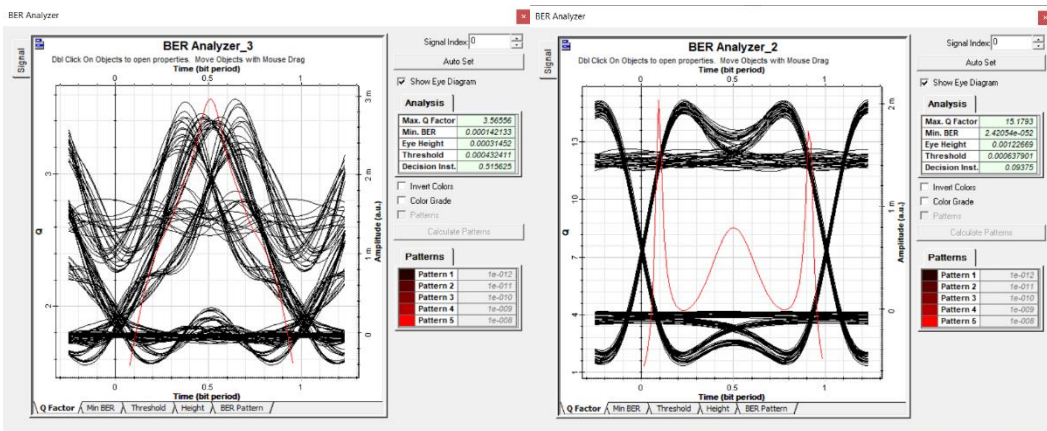
### 3.1. Modulator Eksternal

Gambar 3 merupakan *Eye Diagram* keluaran dari sistem optik dengan teknik modulasi eksternal dengan detector jenis APD. Gambar 3a merupakan hasil dari sistem tanpa FBG, sedangkan Gambar 3b adalah hasil untuk sistem yang menggunakan FBG. Hasil tersebut didapatkan dengan menggunakan *Bit Error Rate (BER) Analyzer*. *BER Analyzer* tersebut menggunakan *Eye Diagram* untuk mendapatkan grafiknya.



Gambar 3. (a) Respon APD tanpa Menggunakan FBG (b) Respon APD dengan Menggunakan FBG

Pada APD tanpa menggunakan FBG didapatkan hasil  $Max\ Q - Factor$  3.56896 dan  $Min. BER$  0.000140794. Sedangkan untuk FBG dengan menggunakan FBG mendapatkan  $Max\ Q - Factor$  14.7258 dan  $Min. BER$  2.17872e-049. Hasil APD tanpa menggunakan FBG masih hasil yang belum bisa dikatakan baik. Standar hasil yang baik dari  $Q - Factor$  harus menunjukkan angka diatas 6 (> 6). Sedangkan standar untuk  $Min. BER$  harus diatas  $10^{-9}$ . Dari gambar diatas dapat dikatakan bahwa FBG berpengaruh besar untuk mendapatkan hasil yang baik.



Gambar 4 (a) Respon PIN tanpa Menggunakan FBG (b) Respon APD dengan Menggunakan FBG

Gambar 4 merupakan *Eye Diagram* keluaran dari sistem optik dengan teknik modulasi eksternal dengan detector jenis PIN. Gambar 4a merupakan hasil dari sistem tanpa FBG, sedangkan Gambar 4b adalah hasil untuk sistem yang menggunakan FBG. Pada PIN tanpa menggunakan FBG menunjukkan angka  $Q$ -Factor 3.56556 dan BER 0.000142133. Sedangkan pada PIN menggunakan FBG didapat hasil untuk  $Q$ -Factor adalah 15.1793 dan BER 2.42054e-052. FBG masih sangat berpengaruh dalam proses modulasi.

**Tabel 1. APD Receiver dengan Modulasi Eksternal**

Parameter	Tanpa FBG	Dengan FBG
Q-Factor	3.56896	14.7258
BER	0.000140794	2.17872e-049

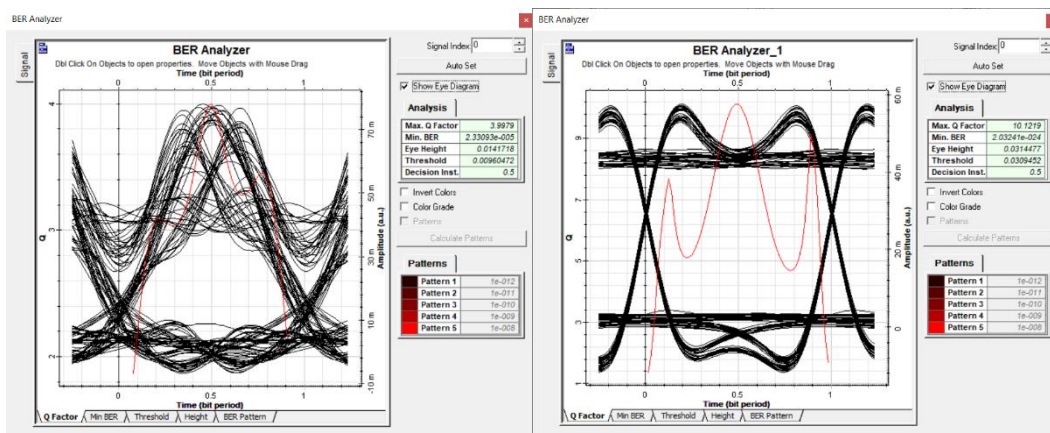
**Tabel 2. PIN Receiver dengan Modulasi Eksternal**

Parameter	Tanpa FBG	Dengan FBG
Q-Factor	3.56556	15.1793
BER	0.000142133	2.42054e-052

Lebih dari 50 km *Universal Single Mode Fiber (SMF)*, *Fiber Bragg Grating* digunakan untuk mengkompensasi efek dispersi dalam sistem komunikasi optik. Ketika *Avalanche Photodiode (APD)* digunakan pada penerima, berbeda dengan sistem yang menggunakan *Positive Intrinsic Negative (PIN)*,  $Q$ -Factor dari sistem telah meningkat lima kali lipat. *Fiber Bragg Grating* juga sangat menurunkan BER minimum, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Namun, masih memungkinkan untuk memajukan teknologi dengan menemukan komponen baru dalam waktu dekat untuk meningkatkan kapasitas sistem.

### 3.2. Modulator Langsung

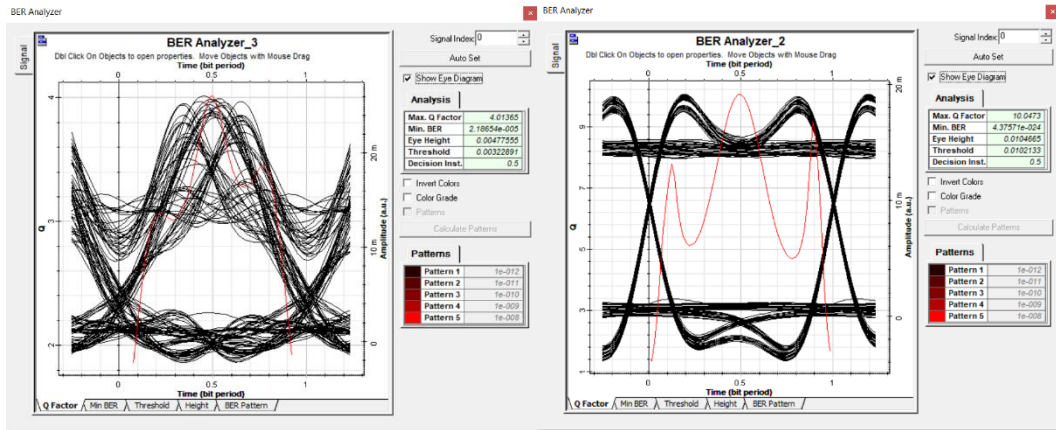
Gambar 5 merupakan *Eye Diagram* dari sistem dengan teknik modulasi langsung dengan detector jenis APD. Gambar 5a merupakan hasil dari sistem tanpa FBG, sedangkan Gambar 5b adalah hasil untuk sistem yang menggunakan FBG.



**Gambar 5 (a) Respon APD Sebelum FBG (b) Respon APD Setelah FBG**

Pada modulasi tanpa menggunakan *Fiber Bragg Grating (FBG)*,  $Q$ -Factor yang didapat adalah 3.9979 dan BER 2.33093e-005. Berbeda jauh hasilnya setelah dimodulasi dengan FBG,  $Q$ -Factor mendapatkan hasil yang cukup baik daripada tanpa menggunakan FBG yaitu 10.1219 dan didapat BER 2.03241e-024.

Gambar 6 merupakan *Eye Diagram* dari sistem dengan teknik modulasi langsung dengan detector jenis PIN. Gambar 6a merupakan hasil dari sistem tanpa FBG, sedangkan Gambar 6b adalah hasil untuk sistem yang menggunakan FBG.



Gambar 6 (a) Respon PIN sebelum FBG (b) Respon PIN setelah FBG

Pada percobaan ini hasil untuk PIN mendapat hasil yang lebih baik dari semua percobaan tanpa menggunakan FBG.  $Q$  – Factor yang didapat adalah 4.01365 dan  $BER$  2.18654e-005. Untuk modulasi langsung yang menggunakan FBG, hasil  $Q$  – Factor terdapat pada angka 10.0473 dan  $BER$  dengan angka 4.37571e-024.

Tabel 3. APD Receiver dengan Modulasi Langsung

Parameter	Tanpa FBG	Dengan FBG
Q-Factor	3.9979	10.1219
BER	2.33093e-005	2.03241e-024

Tabel 4. PIN Receiver dengan Modulasi Langsung

Parameter	Tanpa FBG	Dengan FBG
Q-Factor	4.01365	10.0473
BER	2.18654e-005	4.37571e-024

*BER Analyzer* pada percobaan ini menunjukkan hasil yang berbeda dari hasil yang sebelum di modifikasi.  $Q$  – Factor kali ini meningkat 3 – 4 kali lipat dan juga menaikkan BER.

#### 4. KESIMPULAN

Dalam jurnal ini dibandingkan kinerja *Fiber Bragg Grating* sebagai kompensator efek dispersi pada sistem komunikasi optik yang menggunakan modulasi langsung dan modulasi eksternal. Perbandingan kinerja dilakukan pada sistem komunikasi optik dengan jenis fiber *Single Mode Fiber* (SMF) sepanjang 50 km. Kinerja FBG pada sistem komunikasi optik dengan teknik modulasi langsung lebih rendah dari sistem modulasi eksternal, namun kinerjanya masih memenuhi standar yaitu dengan nilai BER dan  $Q$ -Factor seperti yang dapat dilihat pada **tabel 3** dan **tabel 4**. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa modulator langsung yang mempunyai biaya lebih murah masih dapat memenuhi standar saat digunakan pada sistem komunikasi optik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kahandawa, G. C., Epaarachchi, J., Lau K. T., and Canning, J. 2013. "Estimation of strain of distorted FBG sensor spectra using a fixed FBGfilter circuit and an artificial neural network." *Proc. 2013 IEEE 8th Int. Conf. Intell. Sensors, Sens. Networks Inf. Process. Sens. Futur. ISSNIP 2013*, vol. 1, 89–94.
- [2] Arora, J., and Garg, Dr. A. K. 2011. "Impact of Fiber Bragg Grating As Dispersion." vol. 11, no. 7.
- [3] Kabonzo, F. M., and Yufeng, P. 2015. "Performance analysis of OFDM signals in WDM Radio over Fiber system using Fiber Bragg Grating as a compensator of dispersion." *IET Conf. Publ.*, vol. 2015, no. CP664.
- [4] Wei, L., Xiaopin, Z., and Peida, YE. 2007. "Resolving the problem of cross sensitivity in fiber Bragg grating sensor based on the principle of polarized-light interference." *Front. Electr. Electron. Eng. China*, vol. 2, no. 2, 234–239.
- [5] Litchinitser, N. M., Eggleton B. J., and Agrawal G. P. 1998. "Dispersion of cascaded fiber gratings in WDM lightwave systems." *J. Light. Technol.*, vol. 16, no. 8, 1523–1529.