

ANALISIS PENGARUH PENEMPATAN POSISI DCF DAN PENGUNAAN VARIASI NILAI *BIT RATE* PADA SISTEM DWDM

Yusuf Fikri Fakhruddin¹, Eka Wahyudi², Utti Marina Rifanti³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Email: 18101179@ittelkom-pwt.ac.id¹, ekawahyudi@ittelkom-pwt.ac.id², marina@ittelkom-pwt.ac.id³

Abstrak – Dispersi merupakan salah satu masalah yang ada pada komunikasi serat optik jarak jauh *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Dispersi dapat menyebabkan beberapa masalah seperti penumpukan sinyal dan informasi. Salah satu cara yang dilakukan dan paling efektif untuk mengkompensasi dispersi adalah menggunakan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF). Selain itu, dalam komunikasi serat optik, penggunaan *bit rate* juga dapat mempengaruhi cepat lambatnya informasi yang akan disampaikan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja rancangan sistem dengan variasi peletakan skema DCF dengan variasi *bit rate* pada jaringan DWDM 8 kanal dengan jarak sejauh 150 km, dengan parameter yang diamati adalah BER dan *Q-Factor*. Berdasarkan penelitian ini, diperoleh hasil nilai BER dan *Q-Factor* terbaik ada pada skema *Pre-Compensation* dengan nilai BER sebesar 0 pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, dan $8,13 \times 10^{-270}$ pada *bit rate* 5 Gbps, dan nilai *Q-Factor* sebesar 53,46 pada *bit rate* 2,5 Gbps. Dari simulasi yang dilakukan, skema *Pre* dan *Post-Compensation* pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, nilai BER hanya bernilai 0 pada setiap kanalnya, ini menandakan bahwa tidak ada *error* yang terjadi ketika penggunaan *bit rate* tersebut. Oleh karena itu penggunaan skema *Pre-Compensation* pada penelitian ini memiliki hasil yang terbaik, sementara skema *Symmetrical Compensation* memiliki hasil yang lebih stabil dibandingkan dengan skema yang lain.

Kata-kata kunci: DCF, DWDM, bit rate, BER, *Q-Factor*

Abstract – Dispersion is one of the problems that exists in long distance *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) optical fiber communications. Dispersion can cause several problems such as signal and information buildup. One of the most effective ways to compensate for dispersion is to use *Dispersion Compensating Fiber* (DCF). Apart from that, in fiber optic communications, the use of bit rate can also affect how quickly the information will be conveyed. This research aims to compare the performance of system designs with variations in the placement of DCF schemes with variations in bit rate on an 8 channel DWDM network with a distance of 150 km, with the parameters observed being BER and *Q-Factor*. Based on this research, the best BER and *Q-Factor* value results were obtained in the *Pre-Compensation* scheme with a BER value 0 at a bit rate 2.5 Gbps, and 8.13×10^{-270} at a bit rate of 5 Gbps, and a *Q-Factor* value of 53.46 at a bit rate of 2.5 Gbps. From the simulation carried out, the *Pre* and *Post-Compensation* scheme uses a bit rate of 2.5 Gbps, the BER value is only 0 on each channel, this indicates that no errors occur when using that bit rate. Therefore, the use of the *Pre-Compensation* scheme in this research has the best results, and the *Symmetrical Compensation* scheme has a more stable result compared to other schemes.

Keywords: DCF, DWDM, bit rate, BER, *Q-Factor*

I. PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan internet saat ini dan pertumbuhan layanan yang semakin meluas telah meningkatkan kebutuhan akan akses data yang cepat dan memiliki *bit rate* tinggi. Akses jaringan dapat terdiri dari jaringan nirkabel (*wireless*) dan jaringan berkabel (*wireline*). Salah satu bentuk dari jaringan berkabel adalah sistem komunikasi serat optik, yang menggunakan cahaya sebagai media transmisi. Serat optik dikenal karena keandalannya yang tinggi, mampu mentransmisikan informasi dengan kapasitas yang besar. Untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas jaringan yang tinggi dan kemampuan transmisi jarak jauh, salah satu solusi yang umum digunakan adalah sistem komunikasi serat optik jarak jauh, dan salah satu

teknologinya adalah *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Prinsip dasar DWDM melibatkan penggunaan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda, dilakukan *multiplexing*, dan kemudian ditransmisikan melalui serat optik [1].

Dalam jaringan DWDM, permasalahan kinerja yang muncul adalah dispersi. Untuk mengatasi tantangan ini, solusinya adalah menggunakan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF). DCF memiliki sifat yang berlawanan dengan dispersi atau bersifat negatif, sehingga dapat menanggulangi nilai dispersi positif dalam transmisi komunikasi serat optik. Dengan demikian, DCF digunakan untuk menyelesaikan masalah dispersi dalam sistem transmisi optik pada jaringan DWDM [2].

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap dampak peletakan posisi *Dispersion Compensating Fiber* (DCF), yaitu melibatkan penempatan posisi secara *Pre-Compensation*, *Post-Compensation*, dan *Symmetrical Compensation*. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan nilai parameter yang dihasilkan dari beberapa skema yang dibuat, dan ditentukan mana yang terbaik performansinya. Penelitian ini akan berfokus pada efek dari penggunaan DCF dengan variasi penempatan pada jaringan DWDM dengan variasi *bit rate* transmisi. Dalam penelitian ini akan menggunakan 8 kanal dengan penggunaan daya sebesar 10 dBm, dengan penggunaan teknik pengkodean kanal NRZ. Selain itu, variasi *bit rate* transmisi yang digunakan adalah 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, dan 15 Gbps. Total jarak *link* yang digunakan sejauh 150 km, dengan penguat EDFA. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini mencakup *Bit Error Rate* (BER) dan *Q-Factor*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *OptiSystem* untuk mendapatkan evaluasi kinerja sistem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terkait perancangan sistem untuk mengatasi dispersi dalam jaringan DWDM dapat dilihat dari beberapa penelitian sebelumnya. Dalam penelitian [3] yang dilakukan oleh Fahmi, pada tahun 2018, penelitian ini membahas analisis pemanfaatan DCF dalam sistem DWDM yang menggunakan 16 saluran kanal, dengan jarak 200 GHz di antara setiap saluran kanal (*channel spacing*) dan kecepatan data sebesar 40 Gbps serta jarak *link* sejauh 300 km dengan menggunakan skema DCF *Pre*, *Post*, dan *Symmetrical Compensation*. Parameter yang diamati adalah *Bit Error Rate* (BER), dan *Q-Factor*, didapat hasil bahwa skema *Symmetrical Compensation* memiliki hasil performansi terbaik, dengan BER $8,33 \times 10^{-86}$ dan *Q-Factor* 19,57.

Pada penelitian [4] yang dilakukan oleh Fauza Khair, membahas penggunaan DCF *symmetrical compensation* pada jaringan DWDM 16 kanal dengan menggunakan variasi *bit rate* 10 Gbps dan 40 Gbps. Jarak yang digunakan dalam penelitian ini sejauh 300 km dengan *channel spacing* 200 GHz dan variasi daya sebesar -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 dBm. Hasil yang didapat pada penelitian ini, performansi jaringan DCF-DWDM dengan *bit rate* 40 Gbps menghasilkan kinerja yang lebih unggul jika dibandingkan dengan penggunaan *bit rate* sebesar 10 Gbps.

Penelitian [5] yang dilakukan oleh Brian Pamukti, membahas tentang analisis penggunaan *bit rate* 40 Gbps pada skema *parallel* DCF di jaringan DWDM. Hasil yang didapat penggunaan skema *parallel* DCF memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan skema *post* dan *pre compensation*.

Pada penelitian [6] yang dilakukan oleh Aji Insan Permadi, tentang analisis DCF dengan skema *Symmetrical Compensation Type-A* dan *Symmetrical Compensation Type-B* pada jaringan DWDM 16 kanal

dan *bit rate* 40 Gbps, serta jarak *link* sejauh 1050 km, didapat hasil skema *Compensation type A* sedikit lebih baik dari pada *Compensation type B*.

Pada penelitian [7] yang dilakukan oleh Ilham Putra Pratama, yang membahas tentang perbandingan penggunaan Kompensator Dispersi Antara *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) dan *Fiber Bragg Grating* (FBG) pada Jaringan DWDM 8 kanal, dengan *bit rate* sebesar 10 Gbps, dan menggunakan skema DCF *Pre*, *Post*, dan *parallel Compensation*, serta kompensator FBG, didapat hasil skema dengan kompensator DCF dengan skema *pre compensating*, memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan FBG.

Pada penelitian [8] yang dilakukan oleh M.L. Meena dan Deepika Meena, yang melakukan perbandingan penggunaan pengkodean *Non-Return to Zero* (NRZ), *Return to Zero* (RZ), dan *Gaussian*, pada jaringan DWDM dengan 4 kanal dan *bit rate* 8 Gbps, serta metode DCF *Pre*, *Post*, dan *Symmetrical Compensation*, didapat hasil format modulasi RZ memiliki hasil yang baik pada skema *Pre-Compensation*, *Post-Compensation*, dan *Symmetric-Compensation*.

Dispersion Compensating Fiber (DCF) merupakan jenis serat khusus yang dipergunakan dan memiliki nilai dispersi negatif. Dengan sifat nilai dispersi negatifnya ini, DCF dirancang untuk mengatasi masalah dispersi dalam sistem komunikasi serat optik. Dalam DCF ini terdapat 3 skema peletakan yang berbeda, yakni skema *Pre-Compensation*, *Post-Compensation*, dan *Symmetrical Compensation*. Skema *Pre-Compensation*, peletakan serat DCF berada pada bagian sebelum serat transmisi, sedangkan untuk skema *Post-Compensation*, serat DCF diletakan setelah serat transmisi. Sementara skema *Symmetrical Compensation* diaplikasikan dengan cara meletakan serat DCF sebelum dan sesudah serat serat transmisi [8].

Pada DCF nilai dari dispersi pada panjang gelombang memiliki sifat dapat dimanipulasi atau bersifat *continuous*. Kinerja dari DCF ini diperoleh dari nilai dispersi residual yang merupakan pengukuran dari nilai dispersi yang ada pada sisi penerima dan harus bernilai nol [9]. Untuk menentukan nilai dari dispersi residual dapat menggunakan Persamaan 1,

$$D_{res} = D_{TF} \times L_{TF} + D_{DCF} \times L_{DCF} \quad (1)$$

dengan D_{TF} adalah nilai dispersi pada serat transmisi (ps/nm × km), untuk L_{TF} merupakan panjang serat transmisi (km), sedangkan D_{DCF} adalah nilai dispersi pada serat DCF (ps/nm × km), dan yang terakhir adalah L_{DCF} yang merupakan panjang serat DCF (km).

Untuk menentukan panjang dari kabel atau serat DCF yang akan digunakan dalam suatu serat transmisi, maka dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2,

$$L_{DCF} = -\frac{D_{TF}}{D_{DCF}} L_{TF} \quad (2)$$

dengan L_{DCF} merupakan panjang serat DCF, dan untuk D_{DTF} nilai dispersi pada serat transmisi (ps/nm × km), sedangkan D_{DCF} merupakan nilai dispersi pada serat

DCF ($\text{ps/nm} \times \text{km}$), kemudian L_{TF} merupakan panjang serat transmisi (km) [9].

Dalam melakukan analisis pada jaringan serat optik terdapat beberapa parameter yang digunakan, contohnya adalah parameter *Bit Error Rate* (BER) dan *Q-Factor*. *Bit Error Rate* (BER) adalah rasio antara jumlah bit yang mengalami kesalahan dengan total jumlah bit yang dikirimkan atau diterima. Dalam sistem komunikasi serat optik, ketika terjadi pentransmisi data dari *transmitter* ke *receiver* dalam bentuk bit biasanya akan terdapat *error*, yakni dari total bit yang dikirimkan dari *transmitter*, biasanya akan mengalami *error* atau rusak ketika sudah sampai di *receiver*, maka dari itu perlu diamati parameter *error* yang terjadi saat proses transmisi data.

Standar pengukuran yang digunakan adalah *International Telecommunication Union* (ITU-T) dengan nomor *recommendation* G.959.1, dengan nilai BER maksimum 10^{-12} , yang artinya sistem dapat berjalan dengan baik apabila memiliki nilai Log BER kurang dari atau lebih kecil dari -12 [10]. Kriteria standar ITU-T G.959.1 untuk nilai BER pada komunikasi serat optik dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
Standarisasi Parameter *Bit Error Rate* (BER)

Nilai	Keterangan
$>10^{-12}$	Buruk
$\leq 10^{-12}$	Baik

Untuk parameter *Q-Factor* atau biasa disebut faktor kualitas adalah suatu faktor yang menunjukkan suatu tingkat kualitas dari jaringan. Semakin tinggi nilai *Q-Factor*, maka bisa dikatakan semakin rendah tingkat kehilangan energi. Dalam komunikasi serat optik, nilai *Q-Factor* dapat digunakan untuk menentukan baik atau buruknya kualitas dari jaringan yang telah dirancang. Standar parameter *Q-Factor* yang digunakan dalam komunikasi serat optik adalah *International Telecommunication Union* (ITU-T) pada nomor *recommendation* O.201 dengan nilai *Q-Factor* minimal 7, atau bisa diartikan jika lebih dari angka 7 maka dapat dikatakan baik atau bagus [11]. Kriteria standar ITU-T O.201 untuk nilai *Q-Factor* pada komunikasi serat optik dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL II
Standarisasi Parameter *Q-Factor*

Nilai	Keterangan
<7	Buruk
≥ 7	Baik

III. METODOLOGI

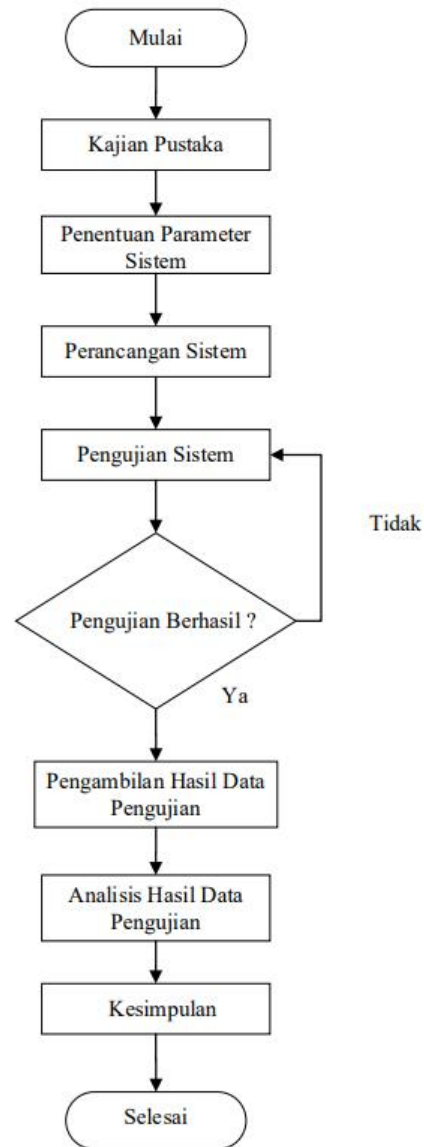
A. Alat Yang Digunakan

Dalam penelitian ini, untuk melakukan perancangan dan simulasi sistem digunakan 1 buah laptop dan beberapa *software* atau perangkat lunak, sebagai berikut :

1. *Microsoft Visio*
2. *Optisystem*
3. *Microsoft Excel*
4. *Matlab*

B. Alur Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang akan dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gbr. 1 Diagram Alur Penelitian

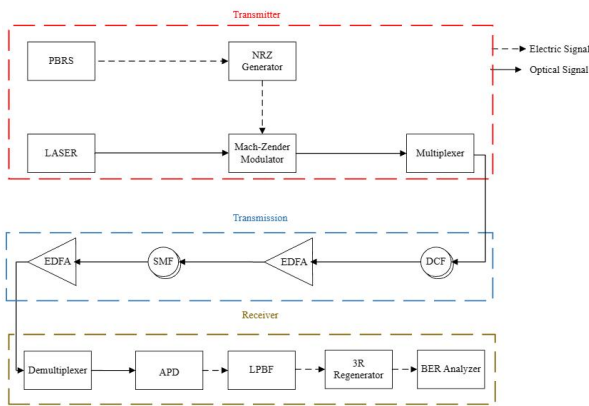
Pada Gambar 1 merupakan penggambaran dari alur penelitian yang akan dilakukan. Sebelum penelitian ini dibuat, diperlukan kajian pustaka yang ada sebelumnya tentang penggunaan DCF pada jaringan DWDM. Tujuannya adalah untuk melakukan pencarian kelemahan serta kekurangan yang bisa digunakan untuk pengembangan dan analisis untuk penelitian ini.

Tahap selanjutnya adalah penentuan parameter. Dalam perancangan ini, sistem yang akan dirancang menggunakan parameter yang berasal dari acuan

standarisasi yang sudah ada dan acuan dari beberapa penelitian yang sudah ada. Setelah tahap penentuan parameter, tahap selanjutnya adalah perancangan dan pengujian sistem yang dilakukan pada *software Optisystem*. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem DWDM dengan variasi penempatan DCF, dan juga penggunaan variasi nilai *bit rate*. Tahap terakhir adalah pengambilan data dan melakukan analisis terhadap hasil yang didapat, dengan analisis tersebut maka bisa diketahui apa pengaruh dan bagaimana performansi dari sistem yang telah dibuat.

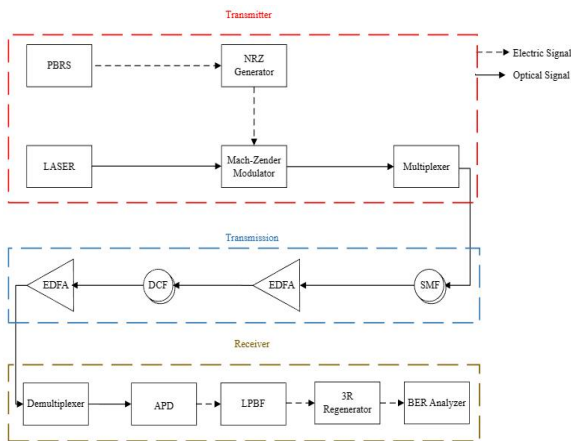
C. Skema Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan 3 skema yang berbeda, yakni skema jaringan DWDM dengan peletakan posisi DCF secara *Pre-Compensation*, *Post-Compensation*, dan *Symmetrical Compensation*. Dari 3 skema tersebut nantinya pada setiap skema akan dilakukan simulasi dengan penggunaan variasi nilai *bit rate* sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Setelah simulasi dilakukan akan diambil nilai *BER* dan *Q-Factor*. Simulasi dari skema ini akan dilakukan pada *software Optisystem*.



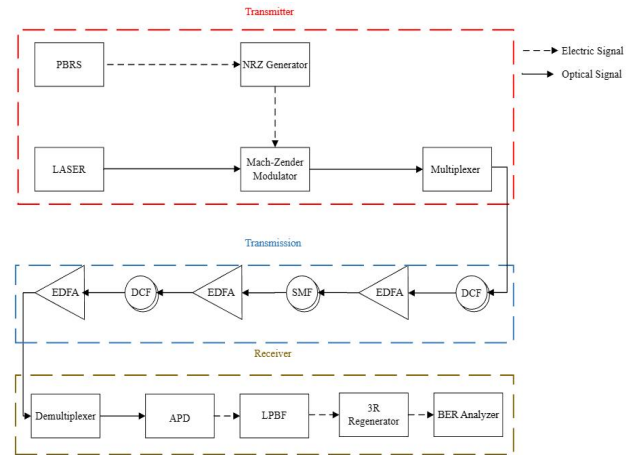
Gbr. 2 Blok Diagram Skema *Pre-Compensation*

Pada Gambar 2 merupakan skema DCF *Pre-Compensation* yang akan digunakan pada jaringan DWDM untuk simulasi. Dari gambar tersebut terlihat pada blok *transmission* serat DCF terletak sebelum serat SMF.



Gbr. 3 Blok Diagram Skema *Post-Compensation*

Gambar 3 menunjukkan blok diagram skema dari penggunaan DCF dengan *Post-Compensation* yang digunakan pada jaringan DWDM pada simulasi. Dari gambar tersebut terlihat pada blok *transmission* serat DCF terletak sesudah serat SMF.



Gbr. 4 Blok Diagram Skema *Symmetrical Compensation*

Gambar 4 merupakan blok diagram dari skema DCF *Symmetrical Compensation*, skema ini merupakan gabungan dari skema *Pre-Compensation* dan skema *Post-Compensation*. Serat DCF pada blok *transmission* diletakan sesudah dan sebelum serat SMF.

D. Parameter Simulasi

Penelitian ini menggunakan beberapa parameter yang digunakan untuk setiap perangkat mulai dari *transmitter*, media transmisi, dan *receiver*, untuk parameter simulasi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3, 4, dan 5.

TABEL III
Parameter Blok *Transmitter*

Parameter	Nilai / Jenis	Satuan
<i>WDM Multiplexer</i>	8	Kanal
<i>Channel spacing</i>	100	GHz
<i>Frequency</i>	193,1-193,8	THz
<i>Daya / power</i>	10	dBm
<i>Line Coding</i>	NRZ	-
<i>Modulator</i>	<i>Mach-Zender Modulator</i>	-
<i>Bit Rate</i>	2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15	Gbps

Tabel 3 menunjukkan parameter yang digunakan pada blok *transmitter*. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa kanal yang digunakan dalam sistem DWDM pada simulasi ini sebanyak 8 kanal, dengan frekuensi yang digunakan dengan rentang 193,1 THz sampai 193,8 THz, dengan *channel spacing* sebesar 100 GHz. Sementara besarnya daya atau *power* yang digunakan sebesar 10 dBm, serta menggunakan tipe pengkodean dengan jenis NRZ. Selain itu penggunaan nilai *bit rate* sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps.

TABEL IV
Parameter Blok Transmisi

Perangkat	Parameter	Nilai	Satuan
Single Mode Fiber (SMF)	Panjang	150	km
	Redaman	0,2	dB
	Dispersi	17	ps/nm×km
	Dispersion slope	0,08	ps/nm ² ×km
Dispersion Compensating Fiber (DCF)	Panjang	30	km
	Redaman	0,26	dB
	Dispersi	-85	ps/nm×km
Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)	Gain	10 dan 20	dB
	Noise figure	4	dB

Pada Tabel 4 menunjukkan parameter transmisi, jarak yang digunakan sejauh 150 km, dengan menggunakan Single Mode Fiber (SMF), yang memiliki nilai dispersi sebesar 17 ps/nm×km, dispersion slope 0.08 ps/nm²×km, dan nilai redaman sebesar 0.25 dB. Sedangkan untuk serat DCF memiliki nilai dispersi sebesar -85 ps/nm×km, dispersion slope -0.3 ps/nm²×km, dan nilai redaman sebesar 0.26 dB. Untuk menghitung panjang serat DCF yang digunakan, menggunakan Persamaan 2, yakni :

$$L_{DCF} = -\frac{D_{TF}}{D_{DCF}} L_{TF}$$

$$L_{DCF} = -\frac{17}{(-85)} 150$$

$$L_{DCF} = -\frac{2550}{(-85)}$$

$$L_{DCF} = 30 \text{ km}$$

Dari perhitungan terlihat bahwa panjang serat DCF yang digunakan dalam simulasi ini sepanjang 30 km.

TABEL V
Parameter Blok Receiver

Parameter	Nilai / Jenis	Satuan
WDM Multiplexer	8	Kanal
Channel spacing	100	Ghz
Frequency	193,1-193,8	THz
Photodetector	APD	
Cutoff Frequency	0,75*Bit Rate	Hz

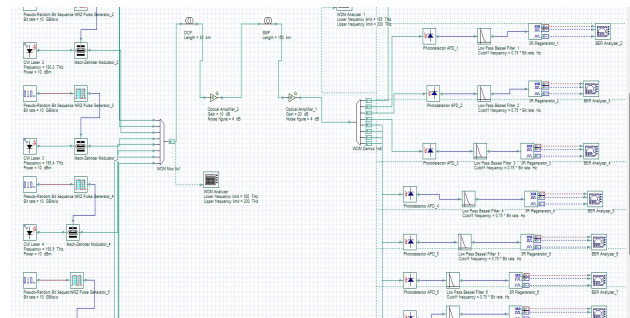
Pada Tabel 5 menunjukkan tentang parameter yang digunakan pada blok receiver. Dalam blok ini, sinyal diterima oleh demultiplexer yang kemudian disebarkan dan dideteksi oleh photodetector dan kemudian dikonversikan dari sinyal optik ke sinyal elektrik. Dalam simulasi ini, jenis photodetector yang digunakan adalah jenis APD. Selain photodetector, pada receiver juga terdapat filter yang digunakan untuk memfilter noise, jenis filter yang digunakan adalah Low Pass Bessel Filter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini berisi tentang hasil data dari simulasi serta pembahasan dari masing-masing hasil yang sudah didapatkan. Untuk hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dilakukan analisis pengaruh dari penggunaan variasi nilai bit rate sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps dan 15 Gbps terhadap skema yang telah dibuat yakni DCF-DWDM Pre-Compensation, DCF-DWDM Post-Compensation, dan DCF-DWDM Symmetrical Compensation. Hasil yang diamati adalah parameter BER dan Q-Factor dari masing-masing kanal, untuk diketahui mana skema yang memiliki hasil yang terbaik.

A. Skema DCF-DWDM Pre-Compensation

Dalam skema ini, penggunaan DCF pada DWDM 8 kanal terletak sebelum serat SMF. Jadi dalam skema ini nantinya akan menggunakan variasi bit rate sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dalam skema ini juga akan diamati hasil uji parameter BER dan Q-Factor. Untuk skema yang sudah didesain menggunakan software optisystem dapat dilihat pada Gambar 5.



Gbr. 5 Desain Skema Pre-Compensation

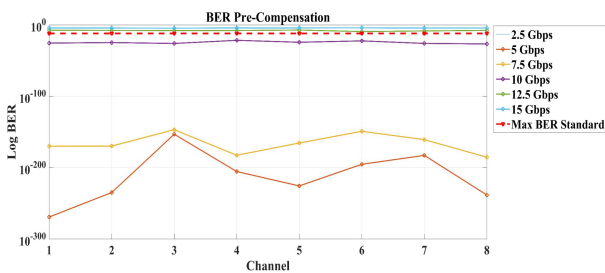
Dari simulasi yang dilakukan pada skema tersebut didapat hasil parameter BER yang tercantum pada Tabel 6.

TABEL VI
Hasil BER pada Skema Pre-Compensation

2,5 Gbps	Hasil BER 8 Kanal				
	5 Gbps	7,5 Gbps	10 Gbps	12,5 Gbps	15 Gbps
0	8,13×10 ⁻²⁷⁰	1,08×10 ⁻¹⁷⁰	3,41×10 ⁻²⁶	3,16×10 ⁻⁰⁸	4,47×10 ⁻⁰⁵
0	1,57×10 ⁻²³⁵	1,83×10 ⁻¹⁷⁰	1,81×10 ⁻²⁴	1,79×10 ⁻⁰⁸	3,94×10 ⁻⁰⁵
0	7,55×10 ⁻¹⁵⁴	1,61×10 ⁻¹⁴⁷	1,03×10 ⁻²⁶	1,20×10 ⁻⁰⁸	2,66×10 ⁻⁰⁵
0	4,01×10 ⁻²⁰⁶	2,28×10 ⁻¹⁸³	2,51×10 ⁻²²	1,37×10 ⁻⁰⁸	4,93×10 ⁻⁰⁵
0	2,88×10 ⁻²²⁶	4,15×10 ⁻¹⁶⁶	5,02×10 ⁻²⁵	6,16×10 ⁻⁰⁹	6,10×10 ⁻⁰⁵
0	5,57×10 ⁻¹⁹⁶	9,51×10 ⁻¹⁵⁰	4,14×10 ⁻²³	4,35×10 ⁻¹⁰	7,66×10 ⁻⁰⁵
0	1,70×10 ⁻¹⁸³	1,79×10 ⁻¹⁶¹	1,16×10 ⁻²⁶	3,68×10 ⁻⁰⁹	3,88×10 ⁻⁰⁵
0	5,27×10 ⁻²³⁹	4,61×10 ⁻¹⁸⁶	2,01×10 ⁻²⁷	2,14×10 ⁻⁰⁸	3,88×10 ⁻⁰⁵

Tabel 6 menunjukkan hasil dari pengukuran parameter BER yang dilakukan pada skema jaringan DCF-DWDM Pre-Compensation pada 8 kanal, dengan penggunaan nilai bit rate 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps,

10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Nilai BER yang dihasilkan merupakan hasil dari pengaruh dari perubahan penggunaan *bit rate* kecil hingga yang terbesar. Dilihat dari hasil yang diperoleh, terlihat bahwa nilai BER yang dihasilkan pada setiap kanal dengan penggunaan beberapa *bit rate* memiliki hasil yang bervariasi, dimana untuk nilai BER terbaik ada pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, pada setiap kanalnya BER bernilai 0 yang artinya tidak ada bit yang *error* pada saat pentransmisian data, selain itu hasil terbaik yang lain ada pada penggunaan *bit rate* 5 Gbps pada kanal 1 dengan hasil $8,13 \times 10^{-270}$. Untuk hasil perbandingan nilai BER pada skema ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gbr. 6 Grafik Hasil Log BER Pada Skema *Pre-Compensation*

Gambar 6 menunjukkan hasil dari nilai Log BER pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Terlihat bahwa nilai yang didapatkan bervariasi, dimana untuk nilai Log BER yang memenuhi dari standar BER yakni 10^{-12} adalah dengan penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, 10 Gbps, 5 Gbps, dan 7,5 Gbps, karena pada setiap kanalnya menghasilkan nilai yang sudah memenuhi standar. Untuk hasil BER yang tidak sesuai standar adalah pada saat penggunaan *bit rate* 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dari penggunaan variasi *bit rate* ini, dapat dilihat bahwa ketika *bit rate* yang digunakan semakin besar, maka nilai Log BER yang dihasilkan akan semakin buruk.

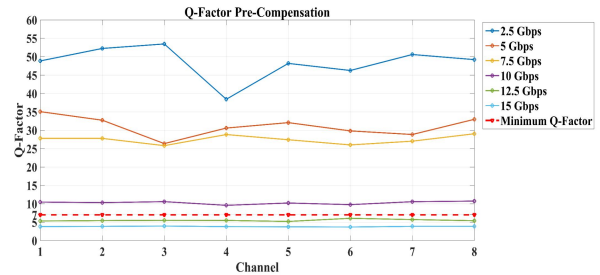
Selain parameter BER, parameter yang diamati ada parameter lain yang diamati, yakni parameter *Q-Factor* dari setiap masing-masing kanal dan penggunaan *bit rate*, hasil dapat dilihat pada Tabel 7.

TABEL VII
Hasil *Q-Factor* Pada Skema *Pre-Compensation*

Hasil <i>Q-Factor</i> 8 Kanal						
2,5 Gbps	5 Gbps	7,5 Gbps	10 Gbps	12,5 Gbps	15 Gbps	
48,85	35,06	27,80	10,47	5,33	3,83	
52,24	32,73	27,78	10,32	5,44	3,86	
53,46	26,37	25,81	10,59	5,50	3,95	
38,42	30,60	28,83	9,59	5,48	3,80	
48,17	32,07	27,42	10,22	6,01	3,75	
46,25	29,82	26,01	9,78	6,06	3,69	
50,59	28,84	27,03	10,58	6,00	3,87	
49,20	32,97	29,05	10,74	5,40	3,87	

Pada Tabel 7 terlihat dari nilai *Q-Factor* yang dihasilkan pada setiap kanal dapat dilihat bahwa untuk

penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps dan 10 Gbps sudah memenuhi standar minimal nilai *Q-Factor* yakni dengan nilai minimum 7. Nilai *Q-Factor* terbaik ada pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps di kanal 3, dengan nilai sebesar 53,46. Pada penggunaan *bit rate* 12,5 Gbps nilai *Q-Factor* terbesar hanya sebesar 6 yang berarti masih di bawah standar minimal. Hal tersebut juga terlihat pada penggunaan *bit rate* 15 Gbps yang hanya memiliki nilai rata-rata *Q-Factor* sebesar 3. Untuk hasil perbandingan nilai *Q-Factor* dari skema ini dapat dilihat pada Gambar 7.

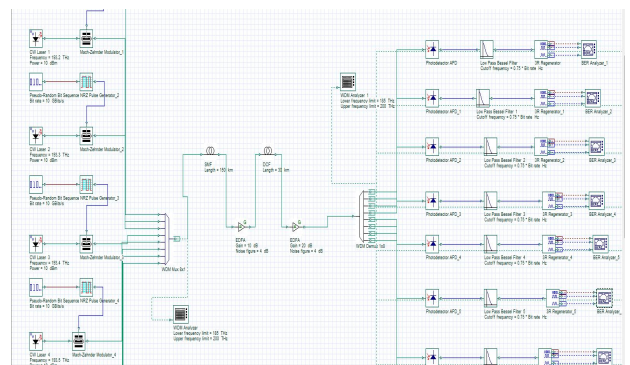


Gbr. 7 Grafik Hasil *Q-Factor* Pada Skema *Pre-Compensation*

Gambar 7 menunjukkan perbandingan nilai *Q-Factor* yang dihasilkan dari setiap kanal dengan penggunaan variasi *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps, pada sistem dengan skema *Pre-Compensation* yang telah dibuat. Terlihat bahwa nilai *Q-Factor* yang dihasilkan apabila *bit rate* yang digunakan semakin besar maka nilai *Q-Factor* yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari grafik yang ada untuk penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, dan 10 Gbps sudah memenuhi standar yakni lebih dari 7, sementara untuk penggunaan *bit rate* 12,5 Gbps dan 15 Gbps masih di bawah standar.

B. Skema DCF-DWDM *Post-Compensation*

Dalam skema ini, penggunaan DCF pada DWDM 8 kanal terletak setelah serat SMF. Jadi dalam skema ini nantinya akan menggunakan variasi *bit rate* sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dalam skema ini juga akan diamati hasil uji parameter *Q-Factor*, dan *Bit Error Rate* (BER). Untuk skema yang sudah didesain menggunakan *software optisystem* dapat dilihat pada Gambar 8.



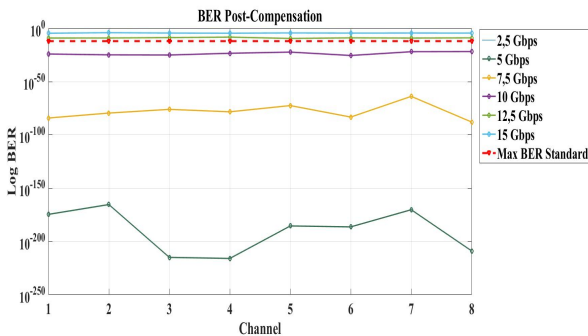
Gbr. 8 Desain Skema *Post-Compensation*

Dari simulasi yang dilakukan pada skema tersebut didapat hasil parameter BER yang tercantum pada Tabel 8.

TABEL VIII
Hasil BER Pada Skema Post-Compensation

Hasil BER 8 Kanal					
2,5 Gbps	5 Gbps	7,5 Gbps	10 Gbps	12,5 Gbps	15 Gbps
0	$2,54 \times 10^{-175}$	$7,38 \times 10^{-85}$	$8,68 \times 10^{-25}$	$8,68 \times 10^{-10}$	$2,71 \times 10^{-05}$
0	$4,19 \times 10^{-166}$	$3,21 \times 10^{-80}$	$1,43 \times 10^{-25}$	$9,45 \times 10^{-10}$	$9,53 \times 10^{-05}$
0	$1,11 \times 10^{-215}$	$9,62 \times 10^{-77}$	$9,92 \times 10^{-26}$	$2,39 \times 10^{-09}$	$4,12 \times 10^{-05}$
0	$1,07 \times 10^{-216}$	$4,80 \times 10^{-79}$	$4,25 \times 10^{-24}$	$6,23 \times 10^{-09}$	$2,91 \times 10^{-05}$
0	$3,42 \times 10^{-186}$	$3,37 \times 10^{-73}$	$5,53 \times 10^{-23}$	$3,69 \times 10^{-10}$	$5,39 \times 10^{-05}$
0	$4,68 \times 10^{-187}$	$5,66 \times 10^{-84}$	$3,70 \times 10^{-26}$	$1,27 \times 10^{-09}$	$3,69 \times 10^{-05}$
0	$5,72 \times 10^{-171}$	$1,45 \times 10^{-64}$	$1,23 \times 10^{-22}$	$8,40 \times 10^{-10}$	$4,31 \times 10^{-05}$
0	$1,15 \times 10^{-209}$	$1,17 \times 10^{-88}$	$1,79 \times 10^{-22}$	$1,26 \times 10^{-09}$	$3,77 \times 10^{-05}$

Tabel 8 menunjukkan hasil dari pengukuran parameter BER yang dilakukan pada skema jaringan DCF-DWDM Post-Compensation dengan bit rate 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dari data yang didapat terlihat bahwa pada saat menggunakan bit rate 2,5 Gbps, nilai BER adalah 0 dari setiap kanal, yang artinya tidak ada bit yang error dalam transmisi data, sekaligus menjadi hasil BER terbaik dalam skema ini. Selain penggunaan bit rate 2,5 Gbps memiliki hasil yang terbaik, penggunaan bit rate 5 Gbps juga menghasilkan nilai BER yang terbaik, yakni ada pada kanal 4 dengan nilai $1,07 \times 10^{-216}$. Untuk hasil perbandingan nilai BER dari skema ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gbr. 9 Grafik Hasil Log BER Pada Skema Post-Compensation

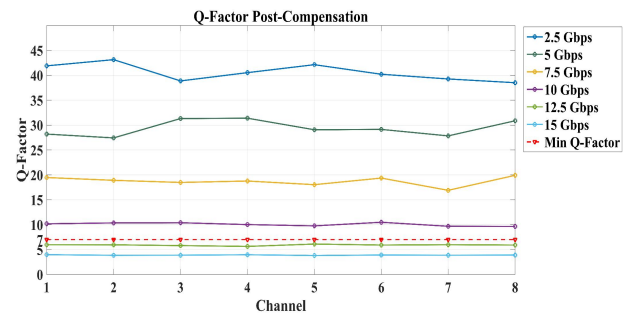
Gambar 9 menunjukkan hasil dari nilai Log BER pada penggunaan bit rate 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dari penggunaan variasi bit rate ini, dapat dilihat bahwa ketika bit rate yang digunakan semakin besar, maka nilai Log BER yang dihasilkan akan semakin buruk. Dari gambar 9 terlihat bahwa untuk penggunaan bit rate sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, dan 10 Gbps nilai Log BER masih berada di bawah nilai standar maksimum, dan untuk bit rate 12,5 Gbps dan 15 Gbps berada di atas nilai maksimum Log BER.

Untuk hasil Q-Factor dari skema ini dapat dilihat pada Tabel 9.

TABEL IX
Hasil Q-Factor Pada Skema Post-Compensation

Hasil Q-Factor 8 Kanal					
2,5 Gbps	5 Gbps	7,5 Gbps	10 Gbps	12,5 Gbps	15 Gbps
41,89	28,18	19,46	10,17	5,97	3,97
43,13	27,42	18,90	10,34	5,95	3,84
38,86	31,30	18,47	10,38	5,79	3,87
40,52	31,38	18,76	10,01	5,63	3,95
42,12	29,06	18,03	9,76	6,10	3,80
40,20	29,12	19,35	10,48	5,90	3,90
39,26	27,82	16,89	9,68	5,97	3,86
38,50	30,86	19,90	9,64	5,90	3,89

Pada Tabel 9 apabila dilihat dari hasil yang didapatkan, nilai Q-Factor dari masing-masing penggunaan bit rate memiliki hasil di setiap kanalnya. Hasil Q-Factor paling baik ketika menggunakan bit rate 2,5 Gbps adalah pada kanal 2 dengan nilai 43,14. Sedangkan nilai Q-Factor terendah pada saat menggunakan bit rate sebesar 15 Gbps pada kanal 5 dengan nilai sebesar 3,80. Untuk hasil perbandingan nilai Q-Factor dari skema ini dapat dilihat pada Gambar 10.



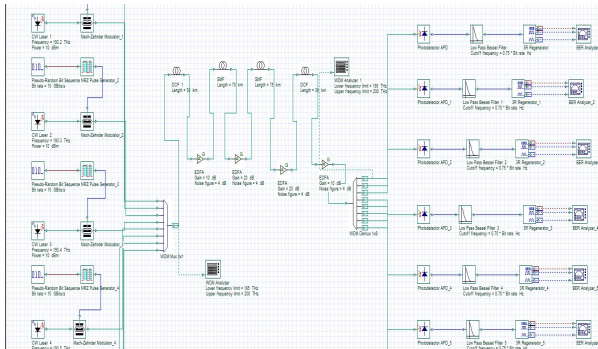
Gbr. 10 Grafik Hasil Q-Factor Pada Skema Post-Compensation

Gambar 10 menunjukkan perbandingan nilai Q-Factor yang dihasilkan dari setiap kanal dengan penggunaan variasi bit rate 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps, pada sistem dengan skema Post-Compensation. Terlihat bahwa nilai Q-Factor yang dihasilkan apabila bit rate yang digunakan semakin besar maka nilai Q-Factor yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari grafik yang ada untuk penggunaan bit rate 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, dan 10 Gbps sudah memenuhi standar yakni lebih dari 7, sementara untuk penggunaan bit rate 12,5 Gbps dan 15 Gbps masih di bawah standar.

C. Skema DCF-DWDM Symmetrical Compensation

Dalam skema ini, penggunaan DCF pada DWDM 8 kanal terletak sebelum dan sesudah serat SMF, jadi dalam skema ini nantinya akan menggunakan variasi bit rate sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dalam skema ini juga akan diamati hasil uji parameter Q-Factor, dan Bit Error Rate (BER).

Untuk skema yang sudah didesain menggunakan *software optisystem* dapat dilihat pada Gambar 11.



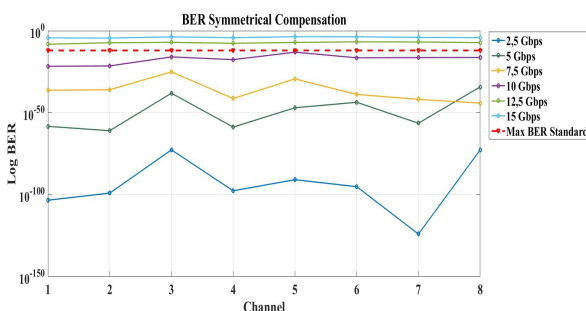
Gbr. 11 Skema *Symmetrical Compensation*

Dari simulasi yang dilakukan pada skema tersebut didapat hasil parameter BER yang tercantum pada Tabel 10.

TABEL X
Hasil BER Pada Skema *Symmetrical Compensation*

Hasil BER 8 Kanal					
2,5 Gbps	5 Gbps	7,5 Gbps	10 Gbps	12,5 Gbps	15 Gbps
$4,45 \times 10^{-104}$	$4,87 \times 10^{-59}$	$5,48 \times 10^{-37}$	$2,18 \times 10^{-22}$	$6,15 \times 10^{-09}$	$4,52 \times 10^{-05}$
$9,32 \times 10^{-100}$	$1,13 \times 10^{-61}$	$1,06 \times 10^{-36}$	$3,66 \times 10^{-22}$	$4,97 \times 10^{-08}$	$3,58 \times 10^{-05}$
$2,35 \times 10^{-73}$	$8,22 \times 10^{-39}$	$8,83 \times 10^{-26}$	$1,19 \times 10^{-16}$	$9,54 \times 10^{-08}$	$1,95 \times 10^{-04}$
$2,48 \times 10^{-98}$	$1,78 \times 10^{-59}$	$4,88 \times 10^{-42}$	$2,47 \times 10^{-18}$	$2,23 \times 10^{-08}$	$6,12 \times 10^{-05}$
$1,42 \times 10^{-91}$	$1,09 \times 10^{-47}$	$4,706 \times 10^{-30}$	$8,82 \times 10^{-14}$	$7,88 \times 10^{-08}$	$2,51 \times 10^{-04}$
$8,13 \times 10^{-96}$	$2,38 \times 10^{-44}$	$1,55 \times 10^{-39}$	$3,29 \times 10^{-17}$	$1,82 \times 10^{-07}$	$2,25 \times 10^{-04}$
$1,01 \times 10^{-124}$	$4,21 \times 10^{-57}$	$1,43 \times 10^{-42}$	$4,27 \times 10^{-17}$	$1,45 \times 10^{-07}$	$9,26 \times 10^{-05}$
$2,06 \times 10^{-73}$	$6,03 \times 10^{-35}$	$7,54 \times 10^{-45}$	$5,11 \times 10^{-17}$	$6,41 \times 10^{-08}$	$6,83 \times 10^{-05}$

Tabel 10 menunjukkan hasil dari pengukuran parameter BER yang dilakukan pada skema jaringan DCF-DWDM *Symmetrical Compensation* dengan *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dalam penggunaan skema *Symmetrical Compensation* ini, hasil yang didapat, pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, nilai BER yang terbaik, yakni ada pada kanal 7 dengan nilai BER sebesar $1,01 \times 10^{-124}$. Sementara penggunaan *bit rate* di atas 10 Gbps masih menghasilkan nilai BER di bawah standar. Untuk hasil perbandingan nilai BER dari skema ini dapat dilihat pada gambar 12.



Gbr. 12 Grafik Hasil Log BER Pada Skema *Symmetrical Compensation*

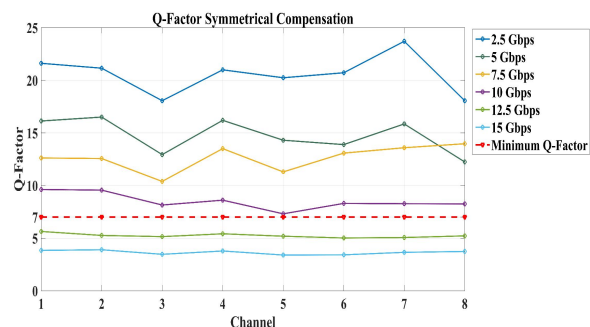
Gambar 12 menunjukkan hasil dari nilai Log BER pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps. Dari hasil tersebut terlihat bahwa ketika *bit rate* yang digunakan semakin besar maka nilai Log BER yang dihasilkan akan semakin buruk, dan ketika menggunakan *bit rate* yang kecil nilai Log BER akan semakin baik. Dari hasil tersebut untuk nilai Log BER pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, dan 10 Gbps, berada di bawah nilai standar maksimum BER, dan untuk *bit rate* 12,5 Gbps dan 15 Gbps, berada di atas nilai standar maksimum BER.

Untuk hasil pengukuran parameter *Q-Factor* dari skema ini dapat dilihat pada Tabel 11.

TABEL XI
Hasil *Q-Factor* Pada Skema *Symmetrical Compensation*

Hasil <i>Q-Factor</i> 8 Kanal					
2,5 Gbps	5 Gbps	7,5 Gbps	10 Gbps	12,5 Gbps	15 Gbps
21,61	16,13	12,61	9,62	5,63	3,83
21,14	16,50	12,56	9,56	5,25	3,89
18,05	12,93	10,39	8,14	5,14	3,46
20,99	16,19	13,50	8,60	5,41	3,77
20,24	14,30	11,29	7,31	5,18	3,39
20,71	13,88	13,07	8,30	5,01	3,41
23,70	15,85	13,59	8,27	5,05	3,65
18,05	12,24	13,97	8,25	5,21	3,73

Pada Tabel 11 terlihat bahwa nilai masing-masing *Q-Factor* dari setiap kanal memiliki nilai paling baik ketika menggunakan *bit rate* 2,5 Gbps, dimana untuk nilai terbesar ada pada kanal 7 dengan nilai *Q-Factor* sebesar 23,75. Sedangkan untuk nilai *Q-Factor* terburuk ada pada kanal 6 dengan nilai 3,41 pada penggunaan *bit rate* 15 Gbps. Oleh karena itu, untuk nilai *Q-Factor* yang sudah sesuai standar dengan nilai minimum 7 sesuai dengan yang tercantum pada tabel adalah pada penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, dan 10 Gbps. Untuk hasil perbandingan nilai *Q-Factor* dari skema ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gbr. 13 Grafik Hasil *Q-Factor* Pada Skema *Symmetrical Compensation*

Gambar 13 menunjukkan perbandingan nilai *Q-Factor* yang dihasilkan dari setiap kanal dengan penggunaan variasi *bit rate* 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, 10 Gbps, 12,5 Gbps, dan 15 Gbps, pada sistem dengan skema *Symmetrical Compensation*. Apabila dilihat,

ketika menggunakan *bit rate* yang semakin kecil, nilai *Q-Factor* yang dihasilkan akan semakin baik, dan sebaliknya. Dari hasil yang didapat untuk penggunaan *bit rate* sebesar 2,5 Gbps, 5 Gbps, 7,5 Gbps, dan 10 Gbps, nilai *Q-Factor* yang dihasilkan pada setiap kanal masih di atas nilai standar minimum *Q-Factor*. Sedangkan ketika menggunakan *bit rate* sebesar 12,5 Gbps, dan 15 Gbps, nilai yang dihasilkan pada setiap kanal memiliki nilai di bawah standar nilai minimum *Q-Factor*. Pengaruh skema DCF *Symmetrical Compensation* terhadap nilai *Q-Factor* adalah skema ini dapat memberikan stabilitas nilai *Q-Factor*, dengan cara mengurangi pelemahan sinyal yang disebabkan oleh dispersi secara merata dari arah *transmitter* dan dari arah sinyal transmisi.

V. KESIMPULAN

Pengaruh dari variasi penggunaan skema *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) yakni *Pre*, *Post*, dan *Symmetrical Compensation*, dan variasi penggunaan *bit rate* pada sistem DWDM 8 kanal, sangat mempengaruhi hasil nilai *Q-Factor* dan nilai BER yang didapat. Semakin besar nilai *bit rate* yang digunakan, maka nilai BER akan semakin meningkat dan *Q-Factor* akan semakin menurun. Dari hasil simulasi pada skema *Pre Compensation*, didapatkan nilai BER terbaik pada saat penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps, dimana hasil BER bernilai 0 di setiap kanalnya, yang artinya tidak ada bit yang *error* dalam proses transmisi dari *transmitter* ke *receiver*, dan pada penggunaan *bit rate* 5 Gbps pada kanal 1 dengan nilai sebesar $8,13 \times 10^{-270}$, dan nilai *Q-Factor* terbaik pada saat penggunaan *bit rate* 2,5 Gbps pada kanal 3 dengan nilai sebesar 53,46. Hasil terbaik ada pada penggunaan skema *Pre-Compensation* karena pada skema ini, memberikan kompensasi dispersi yang lebih efektif, karena dalam skema ini kompensasi dispersi dilakukan sebelum sinyal dikirim melalui serat transmisi, sehingga dapat meningkatkan kualitas sinyal sebelum ditransmisikan. Namun skema *Symmetrical Compensation* memiliki hasil yang lebih stabil dibandingkan 2 skema yang lain.

REFERENSI

- [1] Saputra, G.N.A.A., & Firdausi, A. (2022). Analisis Performa Sistem Dense Wavelength Division Multiplexing dengan Hybrid Optical Amplifier dan Single Amplifier Menggunakan Optisystem. *InComTech J. Telekomun. dan Komput.*, 12(2), 84–94.
- [2] Ginanjar, A. R., Hambali, A., & irfan Maulana, M.

(2017). Analisis Dan Simulasi Pengaruh Dispersion Compensating Fiber Pada Link Optik Berdasarkan Jarak Dan Bit Rate. *eProceedings of Engineering*, 4(2).

- [3] Khair, F., Zulherman, D., & Fahmi, F. (2018). Performance Comparison of Dispersion Compensation Schemes Using DCF in DWDM Optical Network. *JURNAL INFOTEL*, 10(2), 62–67.
- [4] Khair, F., Mustika, I. W., Zulherman, D., & Hario, F. (2018, July). Comparative analysis of dispersion compensating fiber in DWDM system using 10 Gbps and 40 Gbps bit rate. In *2018 10th international conference on information technology and electrical engineering (ICITEE)* (pp. 412–417). IEEE.
- [5] Pamukti, B., & Hambali, A. (2019, July). 40 Gb/s Balanced Parallel Scheme in Dispersion Compensating Fiber Performance for DWDM in the Long Haul Network. In *2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 61–65). IEEE.
- [6] Permadi, A. I., Isnawati, A. F., & Zulherman, D. (2019, November). Comparative analysis of the dispersion compensating fiber (DCF) scheme in long-haul dense wavelength division multiplexing (DWDM). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1367, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- [7] Pratama, I.P., Fahmi, A., & Pamukti, B. (2019). Perbandingan Kompensator Dispersi Antara Dispersion Compensating Fiber (dcf) Dan Fiber Bragg Grating (fbg) Didalam Jaringan Dwdm. *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- [8] Meena, M. L., & Meena, D. (2018). Performance analysis of DWDM optical network with dispersion compensation techniques for 4× 8 GBPS transmission system. *ICTACT Journal on Microelectronics*, 4(2), 613–617.
- [9] Ramachandran, S. (2007). *Fiber based dispersion compensation* (Vol. 5). Springer Science & Business Media.
- [10] ITU-T. (2018). Optical transport network physical layer interfaces. *Ser. G.959.1*.
- [11] I. T. Union. (2003). Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels. *Ser. O.201*.