

PERBANDINGAN KOMPENSATOR DISPERSI ANTARA *DISPERSION COMPENSATING FIBER* (DCF) DAN *FIBER BRAGG GRATTING* (FBG) DIDALAM JARINGAN DWDM

COMPARISON OF DISPERSION COMPENSATOR BETWEEN DISPERSION COMPENSATING FIBER (DCF) AND FIBER BRAGG GRATTING (FBG) IN DWDM NETWORK

Ilham putra pratama¹, Dr. Arfianto fahmi, ST,MT², Brian pamukti ST,MT³

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

¹ilhamputrpratama@gmail.com, ²arfiantof@telkomuniversity.ac.id, ³Brianm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Terdapat beberapa pilihan untuk mengurangi permasalahan dispersi di sepanjang serat kabel optik. Dalam penelitian ini, pilihan tersebut ada pada Dispersion Compensating Fiber (DCF) dan Fiber Bragg Grating (FBG). DCF adalah serat optik yang memiliki nilai dispersi negatif, sehingga bisa mengembalikan pelebaran pulsa yang terjadi. FBG adalah sebuah perangkat yang berisikan kisi-kisi indeks bias yang berbeda, bertujuan untuk mengembalikan nilai periode bit, seperti sebelum terjadi dispersi. Baik FBG maupun DCF, memiliki karakternya masing-masing. Sehingga akan diteliti perangkat mana yang layak untuk mengatasi dispersi pada jarak hingga 500 km di jaringan DWDM. DCF memiliki tiga skema, post-dispersion, pre-dispersion dan mix dispersion, sedangkan FBG akan diletakan satu kali pada posisi batas rise time budget.

Penelitian ini diharapkan mendapatkan pilihan yang terbaik untuk mengatasi dispersi yang terjadi disepanjang jarak 500 km. Penulis memiliki hipotesis bahwa DCF memiliki keunggulan dibanding DCF, karena penurunan dispersi dilakukan secara bertahap melalui panjang kabel DCF. Akan tetapi, tidak mustahil bahwa FBG bisa lebih baik karena kisi-kisi yang dilewati oleh sinyal bisa mengatasi dispersi pada jarak hingga 500 km..

Kata kunci : Dispersion Compensating Fiber, Fiber Bragg Grating, Dense Wavelength Division Multiplexing, Sistem Komunikasi Optik

Abstract

Optical communication systems have the advantage of small transmission losses, wide bandwidth, not affected by electromagnetic waves, and data security. So that with its advantages, research continues to be carried out to improve the performance of fiber optic communication systems. There is a major problem in trying to get the advantages it has, namely dispersion along the optical fiber. There are several options for reducing dispersion problems along optical fiber fibers. In this study, the choice was in Dispersion Compensating Fiber (DCF) and Fiber Bragg Grating (FBG). DCF is an optical fiber that has a negative dispersion value, so it can restore pulse widening that occurs. FBG is a device containing a different refractive index grid, aiming to return a bit period value, such as before dispersion occurs. Both FBG and DCF have their own characters. So that it will be investigated which devices are suitable for dealing with dispersions at distances of up to 500 km on DWDM networks. DCF has three schemes, post-dispersion, pre-dispersion and mix dispersion, while the FBG will be placed once at the rise time budget boundary position.

This research is expected to get the best choice to overcome the dispersion that occurs along a distance of 500 km. The author hypothesizes that DCF has an advantage over DCF, because the decrease in dispersion is carried out gradually through the length of the DCF cable. However, it is not impossible that the FBG can be better because the lattice passed by the signal can overcome dispersion at distances of up to 500 km.

Keywords: Dispersion Compensating Fiber, Bragg Grating Fiber, Dense Wavelength Division Multiplexing, Optical Communication System

1. Pendahuluan

Penambahan kapasitas dapat dilakukan dengan menumpangkan beberapa panjang gelombang ke dalam satu serat optik. Teknologi ini disebut dengan Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) oleh karena itu dibutuhkan diperlukan adanya suatu filter optik [1]. Teknologi ini pun mengalami dispersi di sepanjang lintasan tersebut, salah satu cara untuk menangani masalah dispersi pada fiber optik yaitu dengan Dispersion Compensating Fiber (DCF) dan Fiber Bragg Grating (FBG).

DCF tersebut mempunyai karakteristik dispersi berlawanan, dan memungkinkan untuk meng-eliminasi dan menkompensasi dispersi. sehingga dimungkinkan transmisi melalui fiber pada jarak yang jauh dengan bit rate 10 Gbps. FBG merupakan suatu jenis reflektor (Bragg) yang terdistribusi dalam bentuk segmen-segmen atau kisi dalam serat optik. Fiber Bragg Grating (FBG) memantulkan beberapa panjang gelombang cahaya tertentu

dan meneruskan sisanya, dimana hal ini dapat terjadi karena adanya penambahan suatu variasi periodik terhadap indeks bias inti serat optik [1].

Pada penelitian Mehtab Singh dengan judul “Performance Analysis Of Different Dispersion Compensation Schemes In A 2.5 Gbps Optical Fiber Communication Link”[2], dengan menggunakan 3 skema pre-compensation, post-compensation, dan symmetrical-compensation peneliti tersebut mendapatkan hasil bahwa skema DCF terbaik adalah symmetrical –compensation dengan nilai Q- factor 48.1097. Pada penelitian selanjutnya oleh Rupinder Kaur dan Mandeep Singh dengan judul “Dispersion Compensation in Optical Fiber Communication System Using WDM with DCF and FBG”[3], menggunakan metode yang sama peneliti memperoleh hasil yaitu bahwa skema terbaik adalah symmetric-compensation dengan Q-factor 36 untuk 8 channel WDM. Selanjutnya penelitian dari Rekha dan Mritunjay Kumar Rai dengan judul “Analysis and Comparison of Dispersion Compensation by DCF Schemes & Fiber Bragg Grating”[4], disimpulkan bahwa kompensator yang dapat bekerja secara maksimal antara DCF dan FBG adalah FBG dan pre-compensation adalah skema yang terburuk.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan sebuah simulasi perbandingan antara kompensator DCF dan FBG . karena masalah yang dihadapi yaitu dispersi dalam jumlah besar yang dapat mempengaruhi kinerja sistem komunikasi serat optik , salah satu akibatnya yang diperoleh yaitu rendahnya data rate yang mampu ditransmisikan dengan ditandai dengan nilai BER. Oleh karena itu tugas akhir ini dilakukan untuk menentukan kompensator dispersi mana yang lebih baik antara DCF dan FBG pada sistem DWDM. Data rate yang digunakan adalah 10 Gbps sebagai pembanding pengaruh data rate terhadap Q faktor, BER, SNR, link power budget, rise time budget dan jarak akan dibagi berdasarkan kapasitas longhaul.

2 Dasar Teori dan Skenario Simulasi

2.1 Dispersi

Dispersi dalam komunikasi serat optik adalah proses penyebaran pulsa optik ketika mereka berjalan melewati serat optik. Penyebaran ini terjadi karena kecepatan pulsa optik tidak sama. Ketidaksamaan ini disebabkan oleh indeks bias yang berbeda. Dispersi Modal (Modal Dispersion), hanya terjadi pada kabel jenis fiber multimode[5]. Hal ini diakibatkan perbedaan mode pada transmisi dan mengakibatkan perbedaan waktu penerimaan. Dengan menggunakan graded index hal ini dapat dikurangi. Dispersi total dari sebuah kabel fiber biasanya sudah ditentukan oleh pabrik. Biasanya nilai dispersi untuk standart G.652 (tahun 2000) adalah 20 ps/nm.km untuk panjang gelombang 1550 nm dan 3,5 ps/nm.km.

2.2 DWDM

DWDM merupakan suatu teknologi multiplexing dalam sistem komunikasi serat optik yang umumnya digunakan untuk transmisi data jarak jauh. DWDM mampu mengirimkan beberapa panjang gelombang operasi berbeda-beda kedalam satu serat optik dengan memperkecil spasi antar kanal sehingga terjadi peningkatan jumlah kanal yang mampu di-multiplex, karena itu DWDM memiliki kapasitas kanal yang besar dan bervariasi yaitu 4, 16, 32, 64, dan 128 kanal tergantung konfigurasi. Inti perbaikan dari DWDM ini terdapat pada infrastruktur yang digunakan, seperti jenis laser dan penguat [6].

2.3 Kompensator Dispersi

2.3.1 Fiber Bragg Grating

Fiber bragg grating (FBG) adalah teknologi yang dapat mengubah indeks bias yang terdapat pada serat optik secara periodik [6]. FBG bekerja berdasarkan prinsip kerja refleksi bragg. Pada core terdapat kisi-kisi yang berjarak tertentu. Kisi kisi ini berfungsi sebagai reflektor yang membentuk resonator dan puncak transmisi dari resonator tergantung jarak antar kisi-kisinya. Ketika cahaya melalui daerah yang indeks biasnya berubah secara periodik tinggi dan rendah, maka cahaya yang memenuhi kondisi bragg akan direfleksikan dan kondisi lainnya akan ditransmisikan. Panjang gelombang yang ditransmisikan disebut panjang gelombang bragg. Panjang gelombang bragg (λ) dengan periode grating (Λ) dan indeks refraktif rata-rata (n_{eff}) diperoleh dengan persamaan bragg.

$$\lambda_{bragg} = 2 n_{eff} \cdot \Lambda \quad (2.1)$$

2.3.2 Dispersion compensating fiber

DCF adalah salah satu jenis kompensator yang digunakan untuk menangani masalah dispersi selain Chirped fiber bragg grating(FBG) atau Electronic dispersion compensation fiber dalam rangka mencapai sistem yang lebih baik. DCF merupakan kompensator yang memiliki karakteristik lebih bagus diantaranya lebih stabil, tidak mudah terpengaruh oleh suhu, memiliki bandwidth yang lebar, sehingga DCF merupakan kompensator yang paling cocok untuk menjadi kompensator dispersi. Pada serat optik single mode, dispersi yang terjadi adalah dispersi positif, sedangkan DCF memiliki dispersi negatif, sehingga hasil dispersi rata- rata mendekati nol.

3.2 Penentuan Parameter

3.2.1 Penentuan Parameter DCF

Jenis fiber optik yang digunakan adalah single mode fiber SMF-8e Shifted Zero sesuai dengan standard ITU-T-REC-G.652-2016 bekerja pada gelombang 1330 nm atau 1550nm, baik analog maupun digital transmisi dapat digunakan pada fiber ini. Berdasarkan standard maka dalam penelitian ini menggunakan laju bit 10 Gbps yang terdapat pada point 3.2.7 “optical tributary signal class NRZ 40G: A class of continuous digital signals with non-return to zero (NRZ) line coding, from nominally 9.9 Gbit/s to nominally 43.02 Gbit/s. Optical tributary signal class NRZ 40G includes a signal with STM-256 bit rate according to [ITU-T G.707] and OTU3 bit rate according to [ITU-T G.709]”[7].

Untuk bagian transmitter karena menggunakan DWDM 8 kanal maka membutuhkan multiplekser berdasarkan ITU-T G.694.1 C-Band λ : 1530 nm - 1565 nm dengan kanal maksimum berjumlah 360 kanal (12,5 GHz Grid) L-Band λ : 1565 nm - 1625 nm dengan kanal maksimum berjumlah 560 kanal (12,5 GHz Grid), sedangkan di penelitian ini hanya menggunakan 8 kanal grid 100 Ghz[7].

Tabel 1 Parameter media transmisi [7]

Jenis Kabel	Parameter	Nilai
Single mode Fiber E28	Attenuation 1550nm	0.19-0.2 dB/km
	Attenuation 1625 nm	0.2-0.23 dB/km
	Macrobend Loss 1550 nm	≤ 0.05 dB
	Dispersi 1550nm kromatik	≤ 6 ps / nm km
	λ_{min}	1550nm
	λ_{max}	1625nm
	Dispersion slope	0.086 ps nm/km
	Penguat EDFA	Gain
Redaman sambungan	Redaman Splicing	0.1 dB/buah
	Redaman Konektor	0.2 dB/buah
DCF	Dispersi 1550nm kromatik	-49 to -30 ps nm/km
	Dispersion slope	-0.155 to -0.075 ps nm/km
	Attenuation	≤ 0.265 nm
	Cladding diameter	125 μ m
	Coating Diameter	250 μ m
DWDM	MFD	5.72 μ m
	Optical return loss	≥ 60 dB
	Spasi kanal	0.8 (100ghz grid)

3.2.2 Penentuan Parameter FBG

Komponen kompensator dispersi yang digunakan diperancangan ini adalah kompensator Fiber Bragg Grating (FBG) berguna untuk mengurangi dispersi. Spesifikasi kabel FBG yang digunakan dapat dilihat pada table 1.

Tabel 2 Spesifikasi kabel FBG yang digunakan [8]

Parameter	Detail	Nilai
Serat optik <i>mode fiber</i> (FBG os 1100)	Panjang kabel	1 m
	Panjang FBG	10 mm
	<i>Radius bending</i>	≥ 17 mm
	<i>fiber recoating diameter</i>	145 - 165
	<i>Loss FBG</i>	0,2 dB

Di perancangan ini juga menggunakan optical amplifier EDFA, perangkat ini diperlukan untuk memberi power tambahan atau penguat pada link komunikasi. Dengan jarak komunikasinya yang jauh 100 km – 500 km

maka powernya akan berkurang di setiap jarak yang ditempuh. Dengan berkurangnya daya selama pengiriman bisa mengakibatkan sinyal yang dikirim dari transmitter tidak diterima atau tidak sampai di receiver[8].

Pemasangan penguat EDFA ini dipasang pada link komunikasi setelah link berjarak 100km. setelah jarak 100km penguat ini dipasang dan terus diulang di setiap kelipatan 100 km. Nilai besaran penguat (gain) dipasang sesuai dengan kebutuhan berikut parameter perangkat EDFA-nya. Spesifikasi penguat dapat dilihat pada table 3[16].

Tabel 3 Parameter optical amplifier[8]

Type	EDFA
Wavelength	1528-1562 & 1570-1605 nm
Peletakan EDFA	100 km
Pump Power	100 mW
Wavelength Pump	1480 nm
Gain	5 - 20
Noise figure	< 6,5 dB
Saturated output power	14 – 23 dBm

3.2.3 Parameter Kinerja Pemandang

3.2.3.1 Jarak Terhadap DCF dan FBG

Panjang jarak yang digunakan akan diubah-ubah dari 100 sampai 500. Setiap panjang jarak akan dilihat kinerjanya pada kompensator DCF, melalui BER, SNR, Q-factor, RTB dan LPB. Selain DCF panjang jarak juga akan dilihat pada kompensator FBG, melalui BER, SNR, Q-factor, RTB dan LPB.

3.2.3.2 Jumlah Panjang Gelombang Terhadap DCF dan FBG

Jumlah panjang gelombang yang digunakan akan diubah-ubah dari 2, 4, dan 8. Setiap Jumlah panjang gelombang akan dilihat kinerjanya pada kompensator DCF, melalui BER, SNR, Q-factor, RTB dan LPB. Selain DCF panjang gelombang juga akan dilihat pada kompensator FBG, melalui BER, SNR, Q-factor, RTB dan LPB.

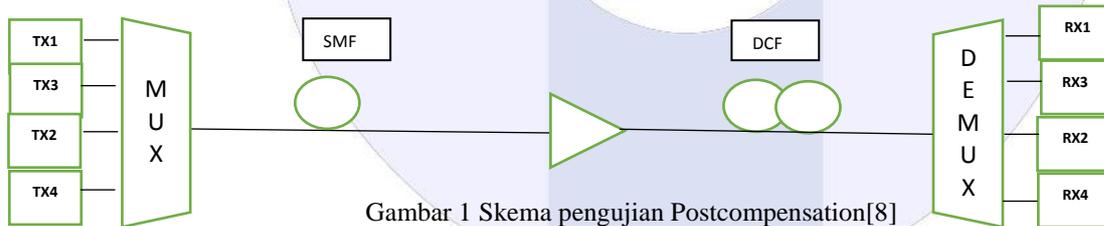
3.2.3.3 Kapasitas Layanan Terhadap DCF dan FBG

Jumlah bit rate yang digunakan akan diubah-ubah dari 5Gbps, 10Gbps, 15Gbps. Setiap Jumlah bit rate akan dilihat kinerjanya pada kompensator DCF, melalui BER, SNR, Q-factor, RTB dan LPB. Selain DCF Jumlah bit rate juga akan dilihat pada kompensator FBG, melalui BER, SNR, Q-factor, RTB dan LPB.

3.3 Skenario DCF dan FBG

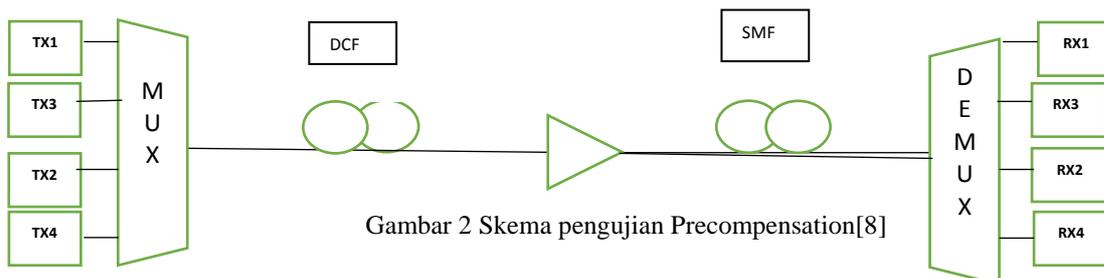
3.3.1 Skenario DCF

Gambar 1 menunjukan skema post-compensation dimana panjang DCF untuk tiap jarak sudah ditentukan



Gambar 1 Skema pengujian Postcompensation[8]

Skema awal adalah dengan simulasi jaringan pada bit rate 10 Gbps pada masing – masing jarak, Untuk melihat efek dispersi tiap jarak terhadap bit rate, lalu membandingkan hasilnya dengan post compensation pada gambar 1 , jarak bervariasi dari 50km hingga long haul (500 km).

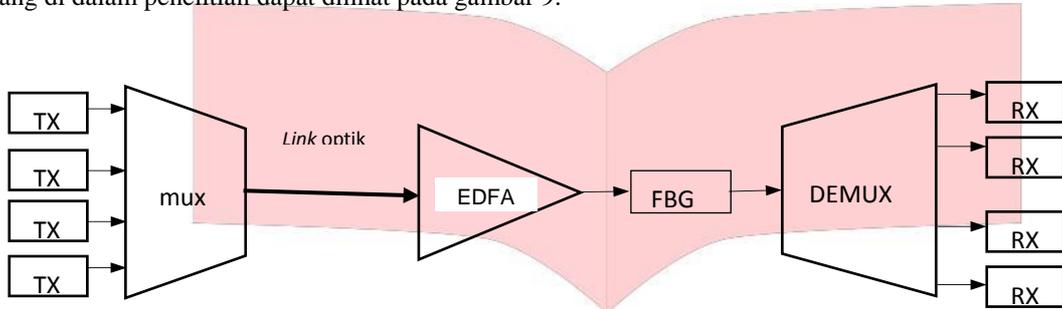


Gambar 2 Skema pengujian Precompensation[8]

Gambar 2 yaitu skema pre-compensation dimana meletakkan fiber DCF sebelum SMF . Skema pengujian dengan simulasi jaringan pada bit rate 10 Gbps dan , Untuk melihat efek dispersi tiap jarak terhadap bit rate, lalu membandingkan hasilnya dengan post compensation pada gambar 2, jarak bervariasi dari 100km hingga long haul[7].

3.3.2 Skenario FBG

Pada perancangn system yang akan diuji dibentuk diagram model model sistem jaringan link optic yang dirancang di dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 9.



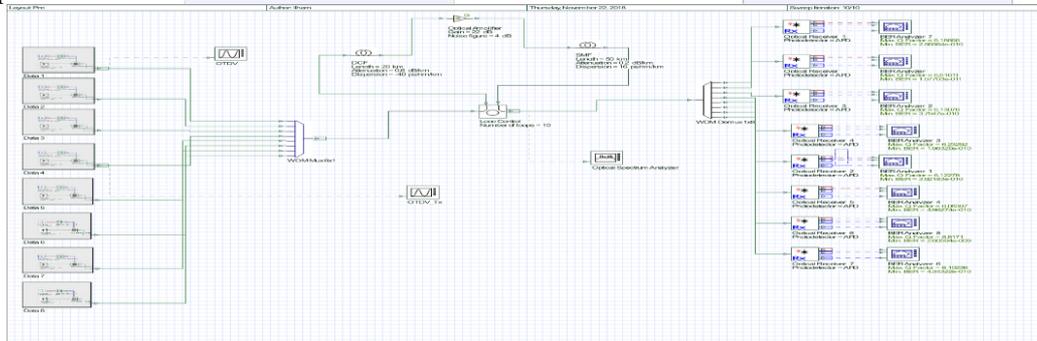
Gambar 3 Blok diagram sistem dan pemasangan FBG[8]

Pada gambar 7 sistem komunikasi optic tersebut dibagi 3 bagian utama, yaitu pengirim (transmitter), media transmisi (link optic), dan penerima (Receiver). Transmitter berisi parameter seperti bit generator, modulator optic, laju bit yang digunakan, Photodiode dan masuk ke Muliteplexer. Panjang gelombang yang digunakan pada penelitian ini dengan 4 panjang gelombang dan spasi kanal 0,1 THz, modulasi yang digunakan adalah NRZ, photodiode menggunakan laser karena jarak tempuh dari sinyal optic jauh[8].

4.2 Hasil Kinerja DCF

4.2.1 Peletakan DCF Pre – Compensating

Pada bagian ini dilakukan simulasi untuk mengukur performansi dengan jarak 50 km sampai 500 km dengan kenaikan 50 km, disetiap analisis dengan menggunakan pre-compensating dispersi. Berikut pemodelan sistem pada software simulasi :



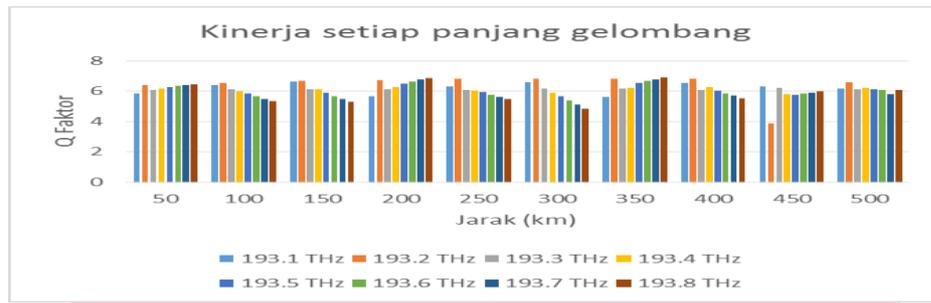
Gambar 4 Skema pengujian menggunakan pre-compensating dispersi

4.2.1.1 Hasil pengujian simulasi DCF Pre – Compensating

Tabel 4 hasil simulasi pre-compensating dispersi

Jarak (KM)	Q-faktor									BER
	193.1 (THz)	193.2 (THz)	193.3 (THz)	193.4 (THz)	193.5 (THz)	193.6 (THz)	193.7 (THz)	193.8 (THz)	Rata-rata	
50	5,85	6,4	6,09	6,16	6,28	6,34	6,40	6,46	6,24	2,07E-10
100	6,39	6,56	6,10	5,98	5,83	5,67	5,50	5,33	5,92	1,58E-09
150	6,62	6,66	6,12	6,13	5,88	5,67	5,47	5,27	5,98	1,11E-09
200	5,67	6,74	6,13	6,28	6,51	6,63	6,75	6,87	6,44	5,63E-11
250	6,32	6,8	6,1	6,04	5,93	5,77	5,62	5,46	6,0	9,45E-10
300	6,6	6,8	6,16	5,9	5,68	5,40	5,13	4,85	5,81	3E-09
350	5,6	6,8	6,18	6,24	6,53	6,66	6,79	6,92	6,46	5,06E-11
400	6,56	6,8	6,1	6,25	6,02	5,85	5,69	5,53	6,10	5,25E-10
450	6,3	3,86	6,2	5,8	5,75	5,83	5,91	6,0	5,70	5,72E-09

500	6,18	6,6	6,13	6,23	6,12	6,08	5,8	6,10	6,15	3,75E-10
-----	------	-----	------	------	------	------	-----	------	------	----------



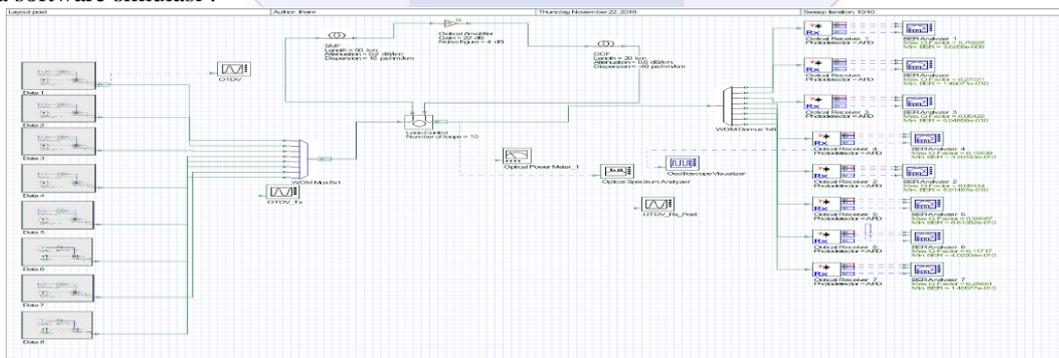
Gambar 5 Diagram batang pre-compensating pada performansi Q-faktor

Gambar 4.3 menjelaskan hasil performansi Q-faktor disetiap panjang gelombang. Dari grafik tersebut bisa dianalisis, bahwa performansi menggunakan pre-compensator tidak sepenuhnya optimal. Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,1 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km, 200 km, 350 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Kemudian frekuensi cahaya dengan nilai 193,2 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 1 yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 450 km akan tetapi kesembilan jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,3 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, semua jarak telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Lalu pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,4 THz terlihat hasilnya dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 100 km, 300 km, 450 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$).

Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,5 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 5 jarak yang memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 50 km, 200 km, 350 km, 400 km, 500 km, akan tetapi kelima jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Kemudian pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,6 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 50 km, 200 km, 350 km, 500 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Selanjutnya pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,7 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 50 km, 200 km, 350 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Yang terakhir pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,8 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada ada 4 jarak yang memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 50 km, 200 km, 350 km, 500 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$).

4.2.2 Peletakan DCF Post – Compensating

Pada bagian ini dilakukan simulasi untuk mengukur performansi dengan jarak 50 km sampai 500 km dengan kenaikan 50 km, disetiap analisis dengan menggunakan pre-compensating dispersi. Berikut pemodelan sistem pada software simulasi :



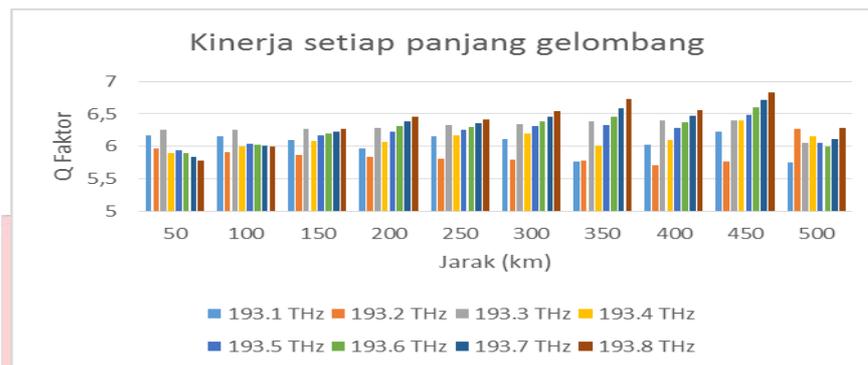
Gambar 6 Skema pengujian menggunakan post-compensating dispersi

4.2.2.1 Hasil pengujian simulasi Post – Compensating

Table 5 hasil simulasi post-compensating dispersi

Jarak (KM)	Q-faktor								Rata-rata	BER
	193.1 (THz)	193.2 (THz)	193.3 (THz)	193.4 (THz)	193.5 (THz)	193.6 (THz)	193.7 (THz)	193.8 (THz)		
50	6,17	5,96	6,25	5,9	5,94	5,88	5,83	5,78	5,96	1,22E-09

100	6,16	5,91	6,26	5,99	6,04	6,02	6,00	5,99	6,04	7,33E-10
150	6,10	5,87	6,27	6,08	6,16	6,19	6,22	6,26	6,14	3,95E-10
200	5,97	5,84	6,29	6,07	6,23	6,30	6,38	6,45	6,19	2,96E-10
250	6,16	5,81	6,32	6,17	6,25	6,30	6,35	6,41	6,22	2,44E-10
300	6,11	5,79	6,34	6,19	6,30	6,38	6,46	6,54	6,26	1,86E-10
350	5,76	5,78	6,38	6,01	6,32	6,45	6,59	6,72	6,25	2,02E-10
400	6,03	5,7	6,4	6,1	6,28	6,37	6,46	6,55	6,23	2,19E-10
450	6,23	5,76	6,4	6,4	6,48	6,6	6,71	6,83	6,42	6,49E-11
500	5,75	6,27	6,05	6,15	6,05	5,99	6,11	6,28	6,08	5,96E-10



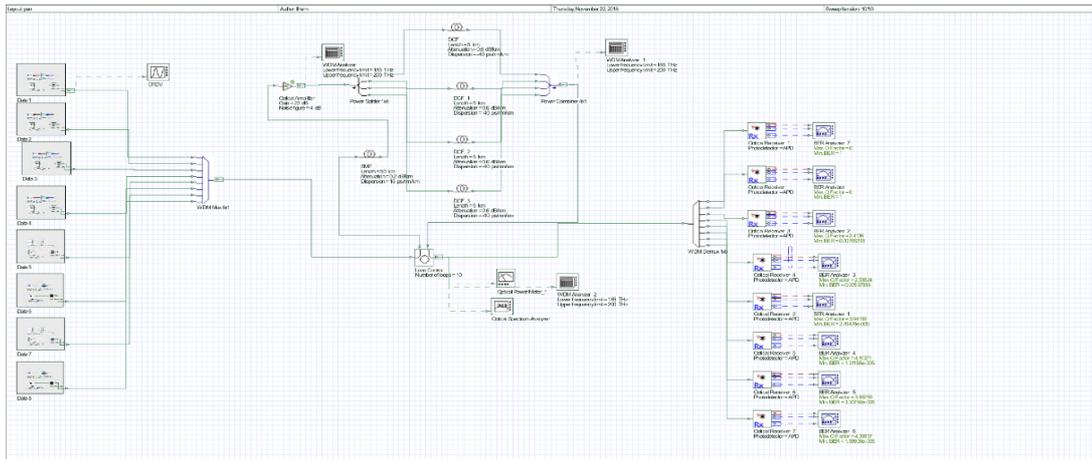
Gambar 7 Diagram batang post-compensating pada performansi Q-faktor

Gambar 7 menjelaskan hasil performansi Q-faktor disetiap panjang gelombang. Dari grafik tersebut bisa dianalisis, bahwa performansi menggunakan pre-compensator tidak sepenuhnya optimal. Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,1 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 200 km, 350 km, 500 km akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Kemudian frekuensi cahaya dengan nilai 193,2 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 1 yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 500 km akan tetapi kesembilan jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,3 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, semua jarak telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Lalu pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,4 THz terlihat hasilnya dari 10 jarak yang dianalisis, ada 2 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km dan 100 km, akan tetapi kedelapan jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$).

Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,5 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 1 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km, akan tetapi kesembilan jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Kemudian pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,6 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 2 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km dan 500 km, akan tetapi kedelapan jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Selanjutnya pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,7 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 1 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km, akan tetapi kesembilan jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Yang terakhir pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,8 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada ada 2 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km dan 100 km, akan tetapi kedelapan jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$).

4.2.3 Peletakan DCF Paralel – Compensating

Pada bagian ini dilakukan simulasi untuk mengukur performansi dengan jarak 50 km sampai 500 km dengan kenaikan 50 km, disetiap analisis dengan menggunakan pre-compensating dispersi. Berikut pemodelan sistem pada software simulasi :

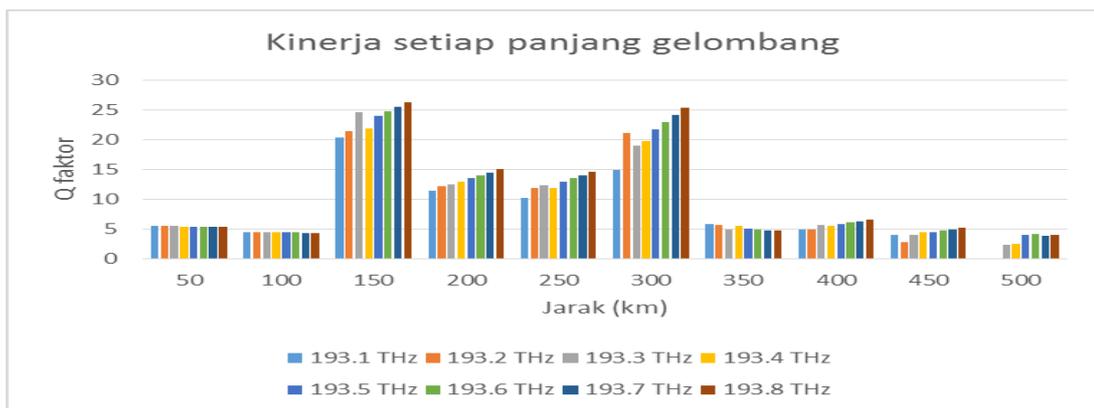


Gambar 8 Skema pengujian menggunakan post-compensating dispersi

4.2.2.1 Hasil pengujian simulasi Paralel – Compensating

tabel 6 hasil simulasi paralel-compensating disperse

Jarak (km)	Q-faktor								Rata-rata	BER
	193.1 (THz)	193.2 (THz)	193.3 (THz)	193.4 (THz)	193.5 (THz)	193.6 (THz)	193.7 (THz)	193.8 (THz)		
50	5,5	5,5	5,5	5,4	5,4	5,37	5,34	5,31	5,41	3,06E-08
100	4,42	4,45	4,4	4,4	4,39	4,37	4,36	4,35	4,39	5,53E-06
150	20,3	21,4	24,6	21,8	23,9	24,7	25,4	26,2	23,5	4,4E-123
200	11,3	12,1	12,4	12,9	13,4	14	14,5	15,0	13,2	2,59E-40
250	10,2	11,9	12,3	11,9	12,9	13,4	14,0	14,5	12,6	4,17E-37
300	14,9	21,0	19,0	19,6	21,7	22,9	24,1	25,4	21,1	2,5E-99
350	5,74	5,6	4,89	5,52	5,09	4,95	4,82	4,68	5,16	1,21E-07
400	4,97	4,88	5,59	5,53	5,84	6,07	6,31	6,55	5,72	5,31E-09
450	3,96	2,85	4,05	4,41	4,45	4,71	4,96	5,22	4,32	7,54E-06
500	0	0	2,4	2,5	3,94	4,11	3,89	4,06	2,61	0,004494



Gambar 9 Diagram batang paralel-compensating pada performansi Q-faktor

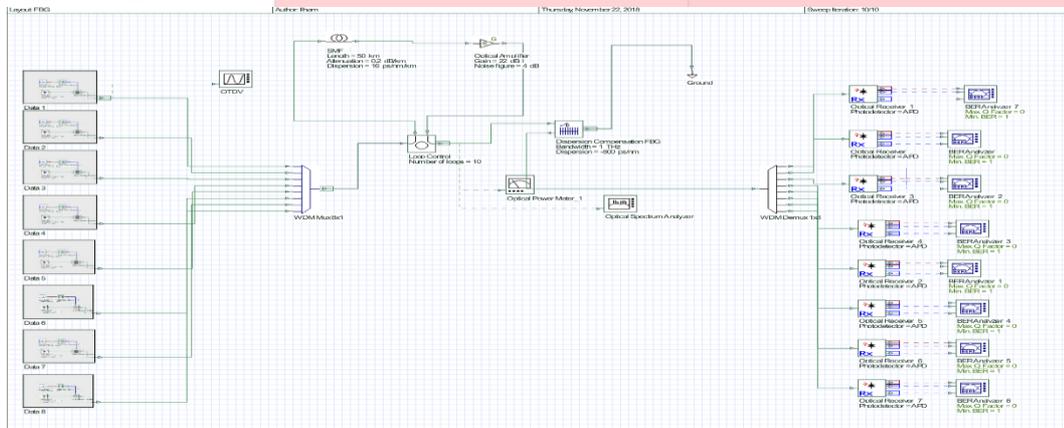
Gambar 9 menjelaskan hasil performansi Q-faktor disetiap panjang gelombang. Dari grafik tersebut bisa dianalisis, bahwa performansi menggunakan pre-compensator tidak sepenuhnya optimal. Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,1 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, 300 km akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Kemudian frekuensi cahaya dengan nilai 193,2 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, 300 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,3 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang telah memenuhi

standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, 300 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Lalu pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,4 THz terlihat hasilnya dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, 300 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$).

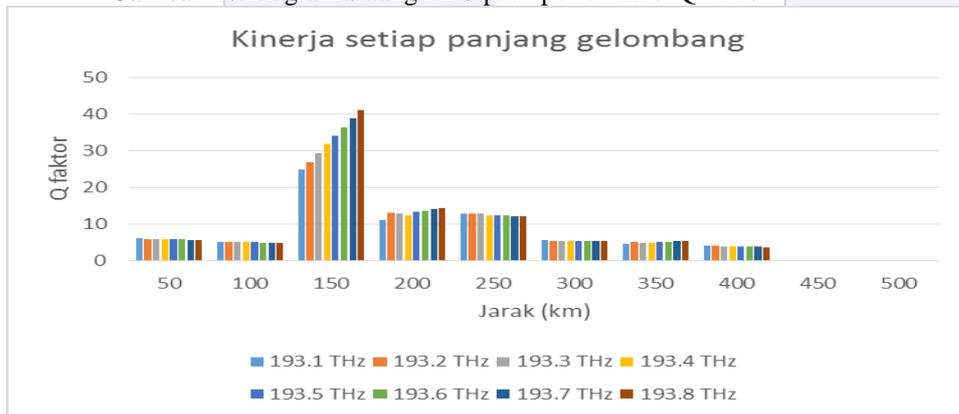
Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,5 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, 300 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Kemudian pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,6 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 5 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km, 100 km, 350 km, 450 km, 500 km, akan tetapi kelima jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Selanjutnya pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,7 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 5 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km, 100 km, 350 km, 450 km, 500 km, akan tetapi kelima jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$). Yang terakhir pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,8 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 5 jarak yang tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$) adalah 50 km, 100 km, 350 km, 450 km, 500 km, akan tetapi kelima jarak yang tersisa telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$).

4.3 Hasil kinerja FBG

Pada bagian ini dilakukan simulasi untuk mengukur performansi dengan jarak 50 km sampai 500 km dengan kenaikan 50 km, disetiap analisis dengan menggunakan pre-compensating dispersi. Berikut pemodelan sistem pada software simulasi :



Gambar 10 Diagram batang FBG pada performansi Q-faktor



Gambar 11 Diagram batang FBG pada performansi Q-faktor

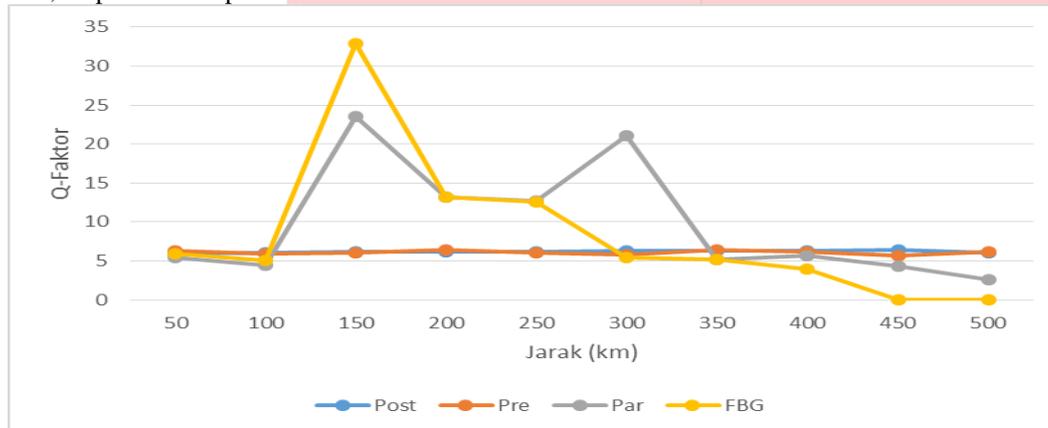
Gambar 11 menjelaskan hasil performansi Q-faktor disetiap panjang gelombang. Dari grafik tersebut bisa dianalisis, bahwa performansi menggunakan pre-compensator tidak sepenuhnya optimal. Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,1 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 50 km, 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Kemudian frekuensi cahaya dengan nilai 193,2 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 4 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 50 km, 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi keenam jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,3 THz dapat dilihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Lalu pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,4 THz terlihat hasilnya dari 10 jarak yang

dianalisis, ada 3 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$).

Pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,5 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Kemudian pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,6 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Selanjutnya pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,7 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$). Yang terakhir pada frekuensi cahaya dengan nilai 193,8 THz terlihat bahwa dari 10 jarak yang dianalisis, ada 3 jarak yang telah memenuhi standar Q-faktor ($Q > 6$) adalah 150 km, 200 km, 250 km, akan tetapi ketujuh jarak yang tersisa tidak memenuhi standar Q-faktor ($Q < 6$).

4.4 Hasil Perbandingan Kinerja DCF dan FBG

Pada hasil simulasi ini dianalisis mengenai perbandingan kinerja dari setiap skema kompensator. Skema ini dimulai dari DCF dengan Post, Pre, Paralel serta FBG. Analisis dilakukan pada jumlah frekuensi cahaya dua, empat dan delapan.



Gambar 12 Perbandingan rata-rata kompensator 8 kanal

Gambar 12 menjelaskan perbandingan berbagai macam skema *compensator*. Post-compensating dan Pre-compensating memiliki nilai yang relative stabil dimana selalu memiliki nilai Q factor 6. Akan tetapi, nilai ini tidak sepenuhnya baik, karena nilai tersebut didapatkan dari simulasi. Memperhatikan hasil FBG dan Paralel-compensating memiliki lonjakan yang sama di jarak 150 km. Hal tersebut bisa terjadi karena FBG yang memiliki kisi-kisi untuk mengembalikan dispersi, optimal pada jarak 150 km. Namun, setelah melalui jarak 150 km, kinerja FBG justru terus menurun hingga pada jarak 450 km mendapatkan Q factor nol. Kinerja pada parallel-compensating justru memiliki perbedaan tersendiri, dimana lonjakan kinerja terjadi pada jarak 150 km dan 300 km. Bisa dianalisis bahwa saat pembagian daya menggunakan splitter, serta melewati kabel DCF dan digabungkan dalam satu kabel melalui combiner, merupakan kinerja kompensasi disperse paling optimal. Setelah melewati jarak 300 km, Q factor terus menurun, hingga di jarak 450 km sudah dibawah 6.

Dari hasil penelitian seluruh skema kompensator, penulis menyimpulkan bahwa penggunaan Post dan Pre-compensating, lebih baik jika mempertimbangkan nilai Q factor yang selalu stabil. Dengan perhitungan dan simulasi yang digunakan, dapat dianalisis bahwa untuk mencapai jarak maksimum 500 km, pemilihan terbaik adalah Pre-compensating. Hal tersebut dipilih karena kontrol dan perawatan penggunaan DCF lebih utama diawal transmisi data (central)..

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi pada penelitian ini, ada beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Skema Pre compensation, mampu menangani dispersi hingga jarak 500 km. Nilai BER yang memenuhi standard berada pada jarak 500 km yaitu 3.74796×10^{-10} dengan Q factor 6.15525. Nilai BER dan Q-faktor memenuhi standard kualitas link optik.
2. Skema Post compensation, mampu menangani dispersi hingga jarak 500 km. Nilai BER yang memenuhi standard berada pada jarak 500 km yaitu 1.03×10^{-9} dengan Q factor 5.999 mendekati 6. Nilai BER memenuhi standard kualitas link optik, karena kurang dari 10^{-9} .
3. Skema Parallel compensation, mampu menangani dispersi hingga jarak 300 km. Nilai BER yang memenuhi standard berada pada jarak 300 km yaitu 2.03×10^{-99} dengan Q factor 21.122. Nilai BER dan Q-faktor memenuhi standard kualitas link optik, karena kurang dari 10^{-9} .

4. Fiber Bragg Grating mampu menangani dispersi hingga jarak 250 km. Nilai BER yang memenuhi standard berada pada jarak 250 km yaitu 1.41×10^{-36} dengan Q factor 21.122. Nilai BER dan Q-faktor memenuhi standard kualitas link optik, karena kurang dari 10^{-9} .
5. Dari hasil perbandingan tersebut, skema terbaik yang bias diterapkan pada model simulasi ini adalah Pre-compensating. Selain nilai yang stabil hingga jarak 500 km, juga mudah dilakukan perawatan dan kontrol berkala, jika disimpan di awal transmisi (dekat sentral utama).

Daftar Pustaka

- [1] Takasima, Imada. 2012. "Analisis Karakteristik Filter Optik Fiber Bragg Grating (FBG) Pada Serat Singlemode". Bandung: Universitas Telkom.
- [2] Singh, Mehtab. "Performance Analysis Of Different Dispersion Compensation Schemes In A 2.5 Gbps Optical Fiber Communication Link". International Journal Of Technology Enhancements And Emerging Engineering Research, VOL 3, ISSUE 08 ISSN 2347-428.
- [3] Kaur, Rupinder, dan Mandeep Singh. "Dispersion Compensation in Optical Fiber Communication System Using WDM with DCF and FBG". IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE) e-ISSN: 2278-2834, p-ISSN: 2278-8735. Volume 11, Issue 2, Ver. II (May-Jun .2016), PP 122-130 www.iosrjournals.org.
- [4] Kumar Rai, Mritunjay dan Rekha. "Analysis and Comparison of Dispersion Compensation by DCF Schemes & Fiber Bragg Grating". Associate Professor, School of Electronics and Electrical Engineering, Lovely Professional University, Jalandhar, Punjab
- [5] K.O.Hill, G.Meltz, "Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals And Overview" Journal Of Lightwave technology, VOL.15, pp.1263-1276,1997
- [6] Firnadya, Ajeng R. (2015), " Analysis Of Non-Linearity Effect On Fiber For Optical Fiber Communication System Link", Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung.
- [7] Wildan Almaiz, Achmad. 2017. "Pengaruh Kabel Dispersion Compensating Fiber (DCF) Pada Link Sistem Komunikasi Optik Long Haul Dengan Skema Berbeda". Bandung: Telkom university Bandung
- [8] Rizky D, Muhamad. 2018. "Pengaruh Penggunaan Kompensator Dispersi Fiber Bragg Grating (FBG) Pada Sistem Komunikasi Optik Long Haul". Bandung: Telkom university Bandung.