

PENGARUH PENGGUNAAN KOMPENSATOR DISPERSI FIBER BRAGG GRATING (FBG) PADA SISTEM KOMUNIKASI OPTIK LONG HAUL

Effect of Using Dispersion Compensator Fiber Bragg Grating in Long Haul Optical Communication

Muhamad Rizky Darmawansyah¹, Ir. Akhmad Hambali, M. T², M. Irfan Maulana, S.T., M. T³
 1,2,3,Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1muhamadrizkydarmawansyah@gmail.com](mailto:muhamadrizkydarmawansyah@gmail.com), [2akhmad.hambali@gmail.com](mailto:akhmad.hambali@gmail.com),
[3muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id](mailto:muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id)

ABSTRAK

Dispersi merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan performansi dari komunikasi optik khususnya di komunikasi yang jaraknya jauh (long haul). Hal tersebut mengakibatkan kualitas komunikasi yang buruk dan dapat menyebabkan kegagalan komunikasi. maka dari itu dibutuhkan tindakan untuk mengatasi hal tersebut. Di dalam ilmu teknik telekomunikasi ada beberapa tehnik kompensasi untuk menanggulangi dispersi, dan salah satu yang bisa digunakan adalah teknik penggunaan kompensator dispersi *Fiber Bragg Grating* (FBG). Penggunaan metode *Fiber Bragg Grating* (FBG) pada penelitian ini menjadi salah satu solusi untuk menanggulangi dispersi di komunikasi optik. Penelitian ini dilakukan pada komunikasi long haul optik dengan jarak komunikasi sejauh 100 km – 300 km dengan *bit rate* 10 Gbps. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah perbandingan jaringan sebelum dan sesudah ditambahkan kompensator dispersi *Fiber Bragg Grating* (FBG). Dengan penelitian pada 3 jarak yang berbeda yaitu 100 km, 200 km, dan 300 km dengan *bit rate* 10 Gbps. Hasil dari jarak terjauh yaitu 300 km, sebelum nilai performansinya adalah $BER = 0,486$, $Q\text{-factor} = 1,64$, dan setelah ditambahkan kompensator dispersi *Fiber Bragg Grating* (FBG) hasil nilai performansi-nya adalah $BER = 1,62 \times 10^{-91}$, dan $Q\text{-factor-nya} = 20,26$.

Kata kunci: Komunikasi Longhaul, Dispersi, Kompensator, FBG, BER, Q-factor.

ABSTRACT

Dispersion is one of the factors that reduce the performance of fiber optic communication, especially in long haul communication which results in poor communication quality and can lead to communication failure. In the field of telecommunications engineering, there are several compensation techniques for preventing dispersion. The use of the Fiber Bragg Grating (FBG) method in this study is one solution to overcome dispersion in optical communication. This research was conducted on optical communication with a distance of 100 km - 300 km with a 10 Gbps bit rate. The Fiber Bragg Grating (FBG) compensator is added. By using 3 different distances, 100 km, 200 km and 300 km with 10 Gbps bit rate. The sample from the farthest distance is 300 km with the results before its performance is $BER = 0,486$, $Q\text{-factor} = 1,64$, and after adding the compensator of the Fiber Bragg Grating dispersion (FBG) the performance result is $BER = 1,62 \times 10^{-91}$, and the $Q\text{-factor} = 20,26$.

Keywords: Longhaul Optic, Dispersion, FBG, BER, Q-factor

1. Pendahuluan

Pada saat ini dengan perkembangan teknologi khususnya di komunikasi optik yang sangat di butuhkan unyuk saling berkomunikasi, kebutuhan kapasitas jaringan telekomunikasi untuk proses pengiriman dan penerimaan data terus bertambah. Serat optik merupakan media untuk mengirim data yang mempunyai kelebihan kapasitas yang besar dan memiliki ukuran fisik yang sangat efisien dalam penggunaan tempat. Dengan digunakannya optik sebagai komunikasi yang paling efisien maka komunikasi-nya pun juga bertambah jauh, namun komunikasi serat optik yang memiliki jarak yang jauh berakibat pengiriman data bisa rusak atau hilang dalam proses pengiriman. Salah satu penyebabnya adalah terjadinya dispersi. Dispersi adalah penurunan kualitas komunikasi optik yang disebabkan oleh perubahan propagasi komponen frekuensi tertentu yang terkandung dalam pulsa optik yang menyebabkan pelebaran pulsa optik yang dapat mengakibatkan BER tinggi dan nilai Q-factor

pada *link* optik buruk. Untuk menanggulangi dispersi tersebut, salah satu solusinya adalah dengan menggunakan kompensator dispersi. Ada beberapa teknik kompensator dispersi yang telah ditemukan, dan salah satu metode kompensator yang bisa digunakan adalah *Fiber Bragg Grating* (FBG). Maka dilakukan penelitian untuk menanggulangi dispersi yang terjadi di *link* optik dengan menggunakan teknik *Fiber Bragg Grating* (FBG). Tujuannya untuk memperbaiki performansi komunikasi optik yang sebelumnya tidak menggunakan kompensator dispersi pada jarak jauh (long haul). Dengan menggunakan *bit rate* 10 Gbps dengan *sample* jarak *link* optik 100 km sampai 300 km, dan juga mencari nilai *BER* dan *Q-factor* yang optimal terhadap jarak *link* optik tersebut.

2. Kompensator Dispersi

2.1 Dispersi serat optik

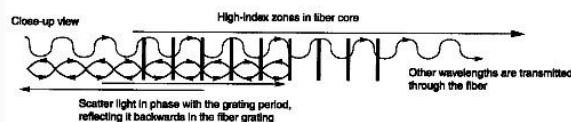
Dispersi pada serat optik *single mode* adalah efek intramodal yang merupakan efek dari dispersi material, dispersi pandu gelombang dan dispersi polarisasi. Efek ini sebagai hasil dari grup kecepatan yang tergantung dari panjang gelombang dan menyebabkan beberapa sinyal mengalami distorsi tergantung pada lebar *spectral* dari sumber optik yang digunakan. Dispersi intramodal ini merupakan satu- satunya dispersi yang terjadi pada serat *single mode*. Dispersi adalah suatu distorsi yang terjadi jika suatu berkas cahaya melintas didalam inti serat optik yang disebabkan adanya *mode* (modus), panjang gelombang ataupun ataupun kecepatan yang berbeda.

Akibat dispersi yaitu:

- Pelebaran pulsa cahaya
- *Bandwidth* mengecil
- Memperpendek jarak
- Membatasi kecepatan *bit*

2.2 *Fiber Bragg Grating* (FBG)

Fiber bragg grating (FBG) adalah teknologi yang dapat mengubah indeks bias yang terdapat pada serat optik secara periodik. 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 bias-nya 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* [3].



Gambar 1 Prinsip kerja *Fiber Bragg Grating* Sebagai Kompensator [3]

2.3 Kelebihan Dan Kekurangan FBG

Kelebihan *Fiber bragg grating* mempunyai banyak keuntungan tergantung pada properti spesefikasinya, seperti [3]:

1. Ukurannya kecil dan sederhana.
2. Tahan terhadap interferensi elektromagnetik.
3. *Fiber bragg grating* dapat melakukan banyak fungsi didalam *fiber* optik seperti refleksi dan pemfilteran dan *insertion loss* yang kecil.
4. Respon spektrum dari FBG bergantung pada perubahan lingkungan (suhu dan tekanan), karena baik indeks refraktif dan dimensi fisiknya berubah sesuai suhu maupun tekanan, yang mempengaruhi panjang gelombang *bragg*.

Kekurangan yang dimiliki *fiber bragg grating* adalah [3]:

1. Dalam aplikasi dibutuhkan *recover* sinyal refleksi yaitu *optikal circulator* agar tidak menimbulkan *noise*.
2. Pada panjang gelombang yang lebih pendek dari λ_{bragg} bisaanya mengalami *loss* transmisi tambahan karena tidak ada cahaya sesuai yang direfleksikan. *Loss* itu disebabkan oleh cahaya yang direfleksikan kedalam mode *cladding* pada *fiber*.

2.4 Q-Factor dan BER

Bit Error Rate (BER) adalah laju kesalahan *bit* yang terjadi dalam sistem transmisi digital, *BER* merupakan parameter kunci yang digunakan untuk menilai sistem yang mengirimkan data digital dari suatu tempat ke tempat lain. Sistem yang memiliki nilai *BER* rendah diantaranya *link* radio, sistem komunikasi optik, *Ethernet*. Pada setiap jenis *link* komunikasi memiliki standar maksimal *BER* yang berbeda- beda, misalnya untuk *link* optik adalah $<10^{-9}$, jadi dari satu milyar *bit* yang dikirim hanya 1*bit* yang *error* [9]. Berikut persamaan untuk menghitung BER.

$$BER = \frac{1}{Q \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (1)$$

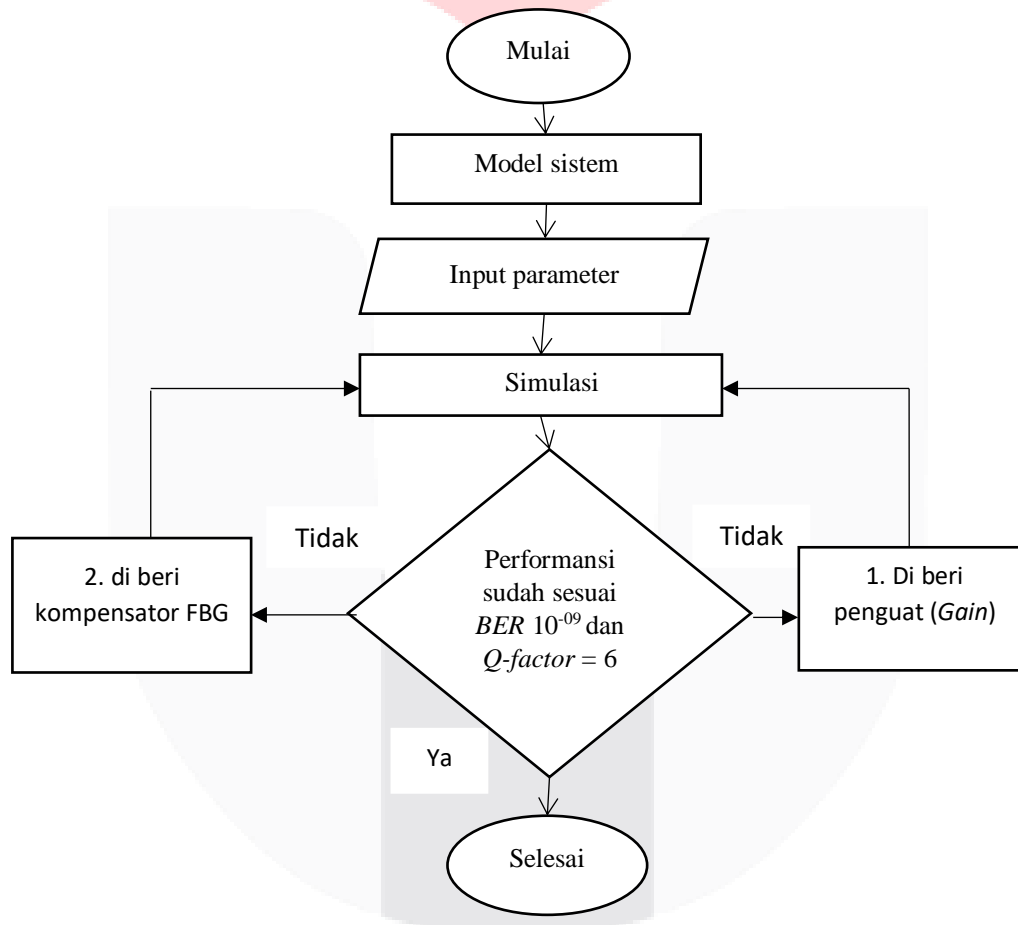
Q-factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan kelayakan suatu link bagus atau tidak. Nilai *Q-factor* minimal suatu *link* optik bekerja adalah 6. Berikut formula untuk mengetahui nilai *Q-factor* pada sebuah *link* optic. Berikut persamaan untuk menghitung *Q-factor*. Berikut persamaan untuk menghitung *Q-factor*.

$$Q = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\text{signal}}{\text{Noise}}} \right) \quad (2)$$

Perancangan Model Sistem

3.1 Diagram Alir penelitian

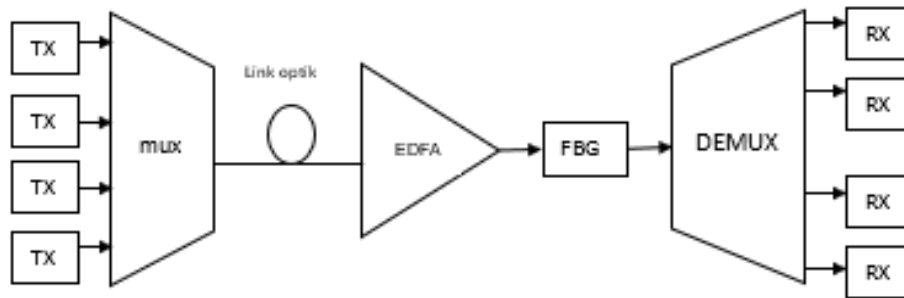
Analisis pada penelitian ini, diawali dengan membuat sebuah jaringan komunikasi optik dengan memasukan parameter. Diagram alir penelitian bisa di lihat pada gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir Perancangan *link* optik *longhaul* dan penambahan kompensator disperse.

3.2 Model Sistem

Berikut perancangan model sistem yang digunakan dalam penelitian ini, gambar blok diagram system dapat di lihat pada gambar 3.



Gambar 3 Blok diagram sistem dan pemasangan FBG

Sistem dibagi menjadi 3 bagian besar, yaitu *transmitter*, media transmisi, dan *receiver*. *Transmitter* berisi parameter seperti *bit* generator, modulator optik, laju *bit* yang digunakan, *photodiode* dan masuk ke *multiplexer*. Pada penelitian ini menggunakan 4 panjang gelombang yang berbeda dan spasi kana 0,1 THz, karena menggunakan *bit rate* yang tinggi, modulasi yang digunakan adalah NRZ, *photodiode* menggunakan *laser* karena jarak tempuh dari sinyal optik sangat jauh.

3.3 Parameter Simulasi

Berikut adalah nilai parameter yang akan digunakan dalam penerapan penelitian ini. dengan parameter Transmitter, dan media transmisi. Parameter yang digunakan di *transmitter* adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Parameter *transmitter*

PARAMETER	Nilai
Panjang gelombang	193,1 THz - 193,4 THz
Daya	0 dBm
<i>Bit rate</i>	10 Gbps

Parameter yang digunakan pada media transmisinya bisa di lihat pada tabel 2.

Tabel 2 Parameter Media Transmisi

Parameter	Detail	Nilai
Serat optik : NZ-DSF	Panjang kabel	5km / haspel
	Redaman	0,2 dB/km
	Dispersi	16 ps/(nm km)
Redaman	Redaman <i>splice</i>	0,1 / buah
	Redaman konektor	0,2 / buah

Parameter yang digunakan di bagian *receiver* bisa di lihat pada tabel 3.

Tabel 3 Parameter *Receiver*

PARAMETER	Nilai
<i>Photodetector</i>	APD
Multiplikasi	10
Sensitifitas	-27 nm

Parameter kompensator disperse FBG yang digunakan bisa di lihat pada tabel 4.

Tabel 4 Spesifikasi kabel FBG yang di gunakan [4]

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

3.4 Perhitungan Performansi

Berikut hasil perhitungan keseluruhan *link power budget* yang dilakukan dalam penelitian ini dapat di lihat pada tabel 5.

Tabel 5 Perhitungan *link power budget* 100 km -300 km

P _{Tx}	L (km)	L.αf (dB/km)	αc (dB)	αs (dB)	EDFA (dB)	M.sis	Loss FBG (dB)	Ltot	P _{Rx} (dBm)	s.RX	status
0	50	0,2	0,4	1,15	10	6	0,2	1,75	-7,75	-27	layak
0	100	0,2	0,4	2,4	20	6	0,2	3	-9	-27	layak
0	150	0,2	0,4	3,65	30	6	0,2	4,25	-10,25	-27	layak
0	200	0,2	0,4	4,9	40	6	0,2	5,5	-11,5	-27	layak
0	250	0,2	0,4	6,15	50	6	0,2	6,75	-12,75	-27	layak
0	300	0,2	0,4	7,4	60	6	0,2	8	-14	-27	layak

Berikut hasil perhitungan keseluruhan *link power budget* yang dilakukan dalam penelitian ini dapat di lihat pada tabel 6.

Tabel 6 Perhitungan *rise time budget* 100 km – 300km

L(km)	t _{rx} (s)	t _{tx} (s)	T _{ma} (s)	Spektral (nm)	Dmat (s/km.nm)	T _{sys}	T _{mod} NRZ	D_FBG (s/nm)	Mode
50	2,50E-12	3,50E-11	5,63E-12	0,15	1,68E-11	3,554E-11	7,00E-11	8,00E-10	NRZ
100	2,50E-12	3,50E-11	1,13E-11	0,15	1,68E-11	3,685E-11	7,00E-11	1,60E-09	NRZ
150	2,50E-12	3,50E-11	1,69E-11	0,15	1,68E-11	3,894E-11	7,00E-11	2,40E-09	NRZ
200	2,50E-12	3,50E-11	2,25E-11	0,15	1,68E-11	4,168E-11	7,00E-11	3,20E-09	NRZ
250	2,50E-12	3,50E-11	2,81E-11	0,15	1,68E-11	4,497E-11	7,00E-11	4,00E-09	NRZ
300	2,50E-12	3,50E-11	3,38E-11	0,15	1,68E-11	4,869E-11	7,00E-11	4,80E-09	NRZ

Perhitungan *SNR, Q factor, BER*

Berikut parameternya:

L(km): 100 – 300 km, P_{RX} (w): per jarak, M (x=0,8): 10, q: 1,60x10⁻¹⁹, R (A/W): 1, F (M): 6,31, BW (Hz): 2,5Ghz, K_b :1,38x10⁻²³, T (kelvin): 300, R_L (ohm): 30ohm.

Perhitungan diambil jarak 300km sebelum penambahan kompensator yang berbeda berada di besar daya yang di terima (*link power budget*). Berikut perhitungannya.

$$Q\text{-factor} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\text{Sinyal}}{\text{Noise}}} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Noise} &= 2 \times q \times P_{Tx} \times R \times m^2 \times F \times Bw \times (4 \times kb \times T \times (Bw/RL)) \\ &= 2 \times (1,6 \times 10^{-19}) \times (1,25 \times 10^{-03}) \times 1 \times (10)^2 \times 6,31 \times (2,5 \times 10^8) \times (4 \times (1,38 \times 10^{23}) \times 300 \times (2,5 \times 10^8 \times 30)) \\ &= 2,15 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

$$\text{Sinyal} = (P_{Tx} \times R \times M)^2 = ((1,25 \times 10^{-03}) \times 1 \times 10)^2 = 1,58 \times 10^{-07}. \text{ Maka: } Q\text{-factor} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{1,58 \times 10^{-07}}{2,15 \times 10^{-12}}} \right) = 3,69 \times 10^{+04}$$

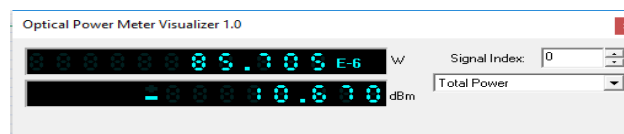
$$BER = 1 / (Q \sqrt{2\pi})^{-Q^2/2} = 1 / (3,69 \times 10^{+04} \sqrt{2\pi})^{-(3,69 \times 10^{+04}) \times 2/2} = 0$$

4 Simulasi dan analisis Sistem

Disini akan membahas analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan. Yaitu penelitian rancangan tanpa menggunakan kompensator, dan juga analisis terhadap rancangan sebelum dan sudah ditambahkan kompensator dispersi *Fiber Bragg Grating* (FBG).

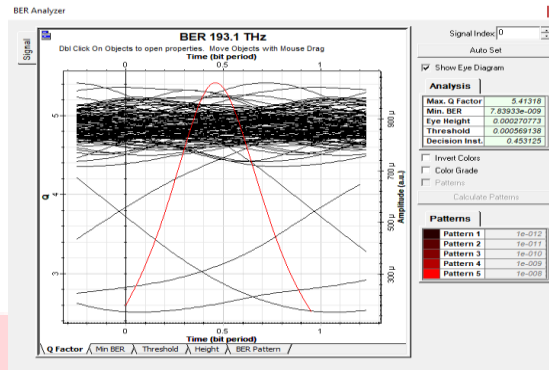
4.1 Analisis Tanpa Kompensator

Hasil daya yang di dapatkan di tampilkan dalam tampilan instrument yang ada pada simulasi pada penelitian ini. Hasil daya yang di terima di RX sebelum ditambahkan kompensator disperse dapat di lihat pada gambit 6.



Gambar 6 *Power* di RX sebelum ditambahkan kompensator dispersi

Hasil *Q-factor*, dan BER juga ditampilkan dalam instrument simulasi pada penelitian ini. Berikut gambar tampilan hasil *Q-factor* dan BER pada perancangan sebelum ditambahkan kompensator dispersi



Gambar 7 Eye diagram BER dan *Q-factor* di RX sebelum ditambahkan kompensator disperse.

Hasil simulasi tanpa kompensator pada jarak 100 km – 300 km, hasilnya bisa dilihat pada tabel 7.

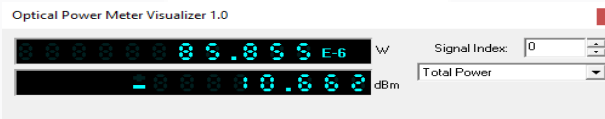
Tabel 7 Hasil simulasi tanpa kompensator.

Tanpa FBG	Parameter			
	Jarak	P_{rx} (dBm)	<i>Q-factor</i>	BER
	50	-4,57	4,02	0,0000275
	100	-5,75	3,58	0,000157
	150	-6,98	3,524	0,000206
	200	-8,126	3,478	0,00025
	250	-9,32	2,34	0,0089
	300	-10,521	1,64	0,0486

Dari hasil tabel 7 diatas menunjukkan hasil nilai BER dan *Q-factor*nya belum memenuhi standar.

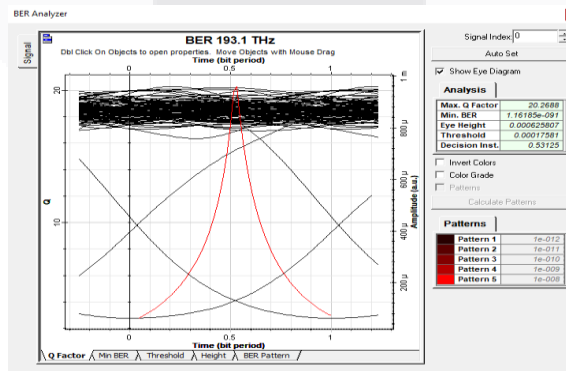
4.2 Analisa Dengan Kompensator

Hasil daya yang di dapatkan di tampilkan dalam tampilan instrument yang ada pada simulasi pada penelitian ini. Berikut gambar hasil daya yang di terima di RX sesudah ditambahkan kompensator disperse. Hasilnya dapat di lihat pada gambar 8.



Gambar 8 Power RX setelah ditambahkan kompensator dispersi.

Hasil *Q-factor*, dan BER juga ditampilkan dalam instrument simulasi pada penelitian ini. Berikut gambar tampilan hasil *Q-factor* dan BER pada perancangan sesudah ditambahkan kompensator disperse. Hasilnya dapat di lihat pada gambar 9.



Gambar 9 Eye diagram BER dan *Q-factor* di RX setelah diditambahkan kompensator dispersi.

Hasil simulasi Dengan kompensator pada jarak 100 – 300 km adalah:
 Hasil simulasi dengan kompensator pada jarak 100 km – 300 km, hasilnya bisa dilihat pada tabel 8.

Tabel 8 Hasil simulasi dengan Kompensator

Dengan FBG	Parameter		
Jarak	P_{rx} (dBm)	Q -factor	BER
50	-4,64	34,83	3,74E-266
100	-5,84	34,91	2,04-e267
150	-7,055	31,03	9,3E-212
200	-8,247	26,355	2,24E-153
250	-9,45	21,99	1,64E-107
300	-10,662	20,26	1,61E-91

Dari hasil tersebut bisa dilihat perbandingannya sebelum dan sesudah ditambah dengan kompensator dispersinya untuk jarak keseluruhan 100 – 300 km hasilnya lebih baik dari sebelum ditambahkan kompensator disperse. Hasil awal sebelum ditambahkan kompensator dispersi pada jaringan komunikasi tersebut performansinya adalah $BER=0,486$, Q -factor=1,64 dan setelah dilakukan ditambahkan kompensator dispersi dengan menambahkan kompensator FBG hasil performansinya adalah $BER = 1,61 \times 10^{-91}$, Q -factor = 20,26. Setelah didapat hasilnya. lalu dihasil tersebut dibandingkan Q -factor dan BER sebelum dan sesudah ditambahkan kompensator dispersi. Hasil perbandingan hasil hitungan dan simulasi sebelum ditambahkan kompensator disperse dapat di lihat pada tabel 9.

Tabel 9 Perbandingan hasil perhitungan dan simulasi sebelum ditambahkan kompensator dispersi

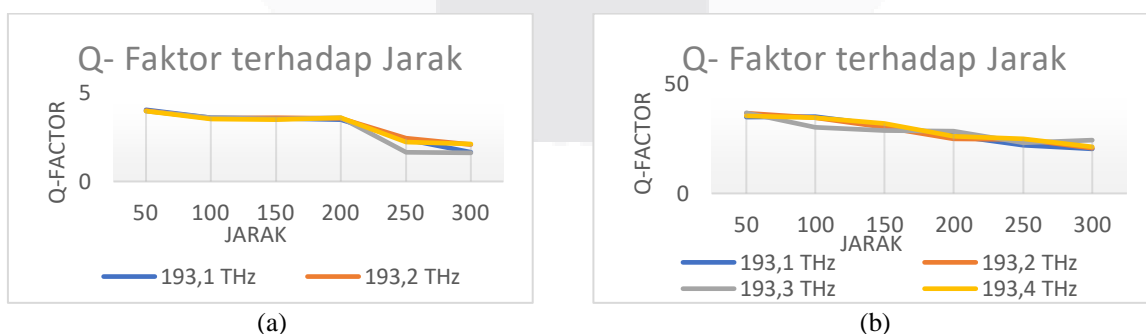
Tanpa FBG	Simulasi		Hitungan	
Jarak	Q -Factor	BER	Q -Factor	BER
50	4,02	2,75E-05	1,94E+05	0,00E+00
100	3,58	0,000157	1,44E+05	0,00E+00
150	3,524	0,000206	1,07E+05	0,00E+00
200	3,478	0,00025	7,90E+04	0,00E+00
250	2,34	0,0089	5,82E+04	0,00E+00
300	1,64	0,0486	4,26E+04	0,00E+00

Tabel 9 menunjukan nilai Q -factor pada perhitungan dan simulasi hampir mendekati hasil yang sama, namun BER pada perhitungan dan BER simulasi berbeda lebih bagus pada bagian BER perhitungan karena jika sudah masuk kedalam simulasi hasilnya berbeda karena faktor pada simulasi. Dan hasil perbandingan perhitungan dengan hasil simulasi yang sudah ditambahkan kompensator disperse dapat di lihat pada tabel 10.

Tabel 10 Perbandingan hasil perhitungan dan simulasi setelah ditambahkan kompensator dispersi

Dengan FBG	Simulasi		Hitungan	
Jarak	Q -Factor	BER	Q -Factor	BER
50	34,83	3,7E-266	1,85E+05	0,00E+00
100	34,91	2,04-e267	1,37E+05	0,00E+00
150	31,03	9,3E-212	1,02E+05	0,00E+00
200	26,355	2,2E-153	7,53E+04	0,00E+00
250	21,99	1,6E-107	5,54E+04	0,00E+00
300	20,26	1,61E-91	4,05E+04	0,00E+00

Dari hasil perbandingan kedua simulasi dan hasil perhitungan tersebut bisa dilihat perbandingannya sebelum dan sesudah ditambah dengan kompensator dispersi untuk jarak 100 km – 300 km hasilnya membaik dari sebelum ditambahkan kompensator disperse. Hasil perbandingan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 (a) Grafik Q -factor sebelum ditambahkan kompensator dispersi, (b) Grafik Q -factor setelah ditambahkan kompensator dispersi

Dilihat dari gambar 6, dua grafik diatas bisa dilihat perubahannya. Grafik (a) menunjukkan hasil sebelum ditambahkan kompensator dispersi nilai Q -factor-nya = 4, dan setelah ditambahkan kompensator dispersi grafik (b) dilihat perubahannya dengan menggunakan kompensator dispersi. Perubahannya yang sangat baik Q -factor-nya = 38.

5 Kesimpulan

1. Pada penelitian ini dari hasil perhitungan dan simulasi sebelum dan sesudah ditambahkan kompensator dispersi, maka ditarik kesimpulan sebagai berikut: Untuk hasil simulasi pertama perancangan jaringan komunikasi optic dengan penambahan optical amplifier (EDFA) tetapi tanpa menggunakan kompensator dispersi *Fiber Bragg Grating* (FBG) didapatkan hasil pada jarak komunikasi 100 km hasilnya adalah $BER = 2,7 \times 10^{-05}$, Q -factor = 3,58. jarak komunikasi 200 km hasil yang didapatkan adalah $BER = 2,5 \times 10^{-04}$, Q -factor = 3,487. Dan pada jarak komunikasi 300 km hasil yang didapatkan adalah $BER = 0,0486$, Q -factor = 1,64. itu menunjukkan hasilnya masih belum layak digunakan karena masih dibawah standar komunikasi optik. Dan setelah dengan penambahan penguat (*Gain*), juga masih belum didapatkan hasil yang memenuhi standar yaitu $BER = <10^{-09}$ dan, Q -factor = 6.
2. Untuk hasil simulasi kedua yaitu perancangan dengan menggunakan kompensator dispersi *Fiber Bragg Grating* (FBG) didapatkan hasil pada jarak komunikasi 100 km hasilnya adalah $BER = 2,04 \times 10^{-267}$, Q -factor = 34,91. Pada jarak komunikasi 200km hasil performansinya adalah $BER = 2,24 \times 10^{-153}$, Q -factor = 26,355. Dan hasil pada jarak komunikasi 300km hasilnya adalah $BER = 1,61 \times 10^{-91}$, Q -factor = 20,26. Dari hasil yang didapat sudah bisa dilihat bahwa hasilnya sudah memenuhi standar komunikasi optik yaitu $BER = <10^{-09}$ dan, Q -factor = 6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agrawal, G. 2017. *Fiber-Optik Communication Sistem*. Retrieved from: <https://classes.soe.ucsc.edu/ee230/Winter06/Lecture%2017.ppt>
- [2] *Fiber bragg grating | os1100*”, <http://www.micronoptiks.com/wp-content/uploads/2017/07/os1100-1.pdf> di akses tanggal 8 november 2017
- [3] Kaur, Manpreet dkk, “*Dispersion Compensation with Dispersion Compensating Fibers (DCF)*”, IJARCEE vol. 4, Issue 2, February 2015, 354-346
- [4] Keiser, Gerd. “*Optikal Fiber Communications*” second Edition.: McGRAW-HILL,1991.
- [5] Keiser, Gerd. “*Optikal Fiber Communications*” third Edition: Tata McGraw-Hill, Singapore.
- [6] P, Gopika. Ann Thomas, Sunu, “*Performance Analysis of Dispersion Compensation using FBG and DCF in WDM Sistem*” IJARCEE vol 4, Issue 10, October 2015, 223-226.
- [7] Poole, Ian, “*BER Bit Error Rate Tutorial and Definition*”. <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-tutorial-definition>, diakses tanggal 30 oktober 2017
- [8] Siburian. I, “*Analisis Karakteristik Filter Optik Fiber bragg grating Pada Serat Optik Single Mode*” Tugas akhir Sekolah Tinggi Teknologi Telkom,
- [9] Singh, Robin dkk, “*Dispersion compensation in Optikal Fiber communication for 40 Gbps using dispersion compensating fiber*”. IJSETT vol. 19 (1). 2015, 19-22. 43