

ANALISIS DAN SIMULASI PENGARUH *DISPERSION COMPENSATING FIBER* PADA *LINK OPTIK* BERDASARKAN JARAK DAN *BIT RATE*

ANALYSIS AND SIMULATION INFLUENCE OF DISPERSION COMPENSATING FIBER ON LINK OPTIK BASED ON DISTANCE AND BIT RATE

Ade Rizki Ginanjar¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T², M. Irfan Maulana, S.T., M.T³

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

¹aderizkiginanjar@gmail.com, ²akhmad.hambali@gmail.com,

³muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dispersi merupakan salahsatu faktor yang menurunkan performansi dari komunikasi serat optik. Dispersi kromatik adaah dispersi yang disebabkan oleh perubahan propagasi komponen frekuensi tertentu yang terkandung dalam pulsa optik yang menyebabkan pelebaran pulsa optik[6]. Salahsatu solusi yang digunakan untuk menanggulagi pelebaran pulsa adalah dengan menggunakan Dispersion Compensating Fiber (DCF). Penelitian penggunaan DCF ini sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti salah satunya adalah dengan menggunakan DCF skema *Pre Compensation* dan *post compensation* yang menghasilkan BER yang sangat baik[4]. Pada penelitian ini menggunakan jarak 150 km, 500 km, 1000 km dengan menggunakan *bit rate* 10 Gbps dan 40 Gbps dan menggunakan multipleksing DWDM dengan menggunakan skema DCF yaitu *Mix- Compensation*. Hasil akhir pada penelitian ini adalah optimasi pada *link* optik dengan jarak 150 km dengan *bit rate* 10 Gbps performansi *link* optik sudah layak tanpa menggunakan kompensator dispersi dengan *Q-factor* rata- rata = 11,717374, sementara pada *bit rate* 40 Gbps dengan kompensator DCF terjadi kenaikan performansi dari *link* optik yaitu nilai *Q-factor* rata- rata= 6,6431275. Jarak 500 km dengan *bit rate* 10 Gbps dengan kompensator DCF terjadi kenaikan performansi *link* optik dari nilai *Q-factor* rata- rata= 2,2341275 menjadi = 9,8901175. Pada *bit rate* 40 Gbps performansi *link* optik dari *Q-fator* rata- rata= 1,022676 menjadi = 3,3668025. Dan untuk jarak 1000 km sebelum dan setelah menggunakan kompensator dispersi DCF semua kanal baik dengan *bit rate* 10 Gbps ataupun 40 Gbps menghasilkan nilai *Q- factor* = 0. Nilai *Q-factor* optimal pada *bit rate* 10 Gbps maksimal 500 km, sementara pada *bit rate* 40 Gbps maksimal 80 km.

Kata Kunci DCF, BER, Q-Factor, DWDM, *Bit rate*, Jarak

Abstract

Dispersion is one of the factors that degrade the performance of fiber optik communication. Chromatic dispersions are dispersions caused by changes in the propagation of certain frequency components contained in optikal pulses leading to optikal pulse width [6]. One of the solutions used to tackle pulse width is to use Dispersion Compensating Fiber (DCF). This DCF usage research has been done by some researchers one of them is by using DCF Pre Compensation and post compensation scheme which produce excellent BER [4]. In this study using distance 150 km, 500 km, 1000 km using bit rate 10 Gbps and 40 Gbps and use multiplexing DWDM by using DCF scheme that is Mix-Compensation. The final result of this research is optimization of optical link with distance of 150 km with 10 Gbps bit rate optical link performance is feasible without using dispersion compensator with average Q- factor = 11.717374, while at bit rate 40 Gbps with DCF compensator happened The increase in performance of the optical link is the average Q-factor = 6.6431275. 500 km distance with 10 Gbps bit rate with DCF compensator increase optical link performance from average Q-factor = 2,2341275 to = 9,8901175. At the 40 Gbps bit rate the optical link performance of the average Q-fator = 1.022676 becomes = 3.3668025. And for a distance of 1000 km before and after using DCF dispersion compensators all channels with either 10 Gbps or 40 Gbps bit rate resulted in Q-factor = 0. The optimal Q-factor value at 10 Gbps bit rate is maximum 500 km, while at bit rate 40 Gbps maximum 80 km.

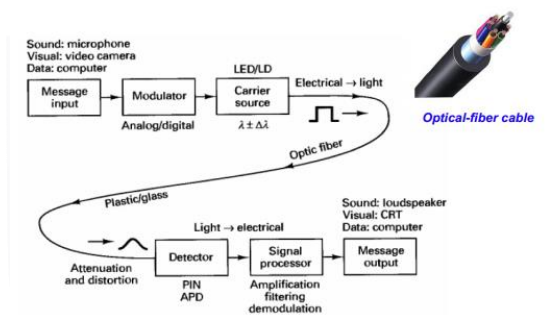
Keywords : DCF, BER, Q-Factor, DWDM, bit rate, Distence

1. Pendahuluan

Serat optik merupakan media untuk mengirim data yang mempunyai kelebihan kapasitas yang besar dan memiliki ukuran fisik yang sangat efisien dalam penggunaan tempat. Namun komunikasi serat optik memiliki kekurangan dengan adanya dispersi yang disebabkan oleh perubahan propagasi komponen frekuensi tertentu yang terkandung dalam pulsa optik yang menyebabkan pelebaran pulsa optik yang disebut dispersi kromatik[6] 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. Salah satu kompensator yang sering digunakan adalah *Dispersion Compensating Fiber* (DCF). Penelitian untuk menanggulangi dispersi dengan menggunakan *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) sudah pernah dilakukan, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Mampreet Kaur, dkk (2015) dengan judul “*Dispersion Compensation with Dispersion Compensating Fibers (DCF)*”. Pada penelitian ini menggunakan 3 skema, dengan *modulator* NRZ dan *bit rate* 10 Gb/s, dengan jarak 250 KM dan panjang kabel DCF 50 km, dengan menghasilkan untuk *mix compensation* BER $5,86482 \times 10^{-026}$, dan nilai faktor kualitas adalah 10,4526 [4]. Selanjutnya penelitian oleh Robin Singh, Prof. Love Kumar, Prof. Neeru Malhotra dengan judul “*Dispersion compensation in Optical Fiber communication for 40 Gbps using dispersion compensating fiber*”. Dengan menghasilkan BER 1×10^{-040} dan faktor kualitas untuk *mix compensation* adalah 30,433 [11]. Penelitian kompensator dispersi pada sistem WDM yang dilakukan oleh Gopika P, dkk dengan judul “*Performance Analysis of Dispersion Compensation using FBG and DCF in WDM System*”. Dengan menghasilkan BER untuk *mix compensation* adalah $1,263 \times 10^{-067}$ dan faktor kualitas 15,9 [9]. Pada penelitian sekarang meneliti pengaruh kompensator DCF dengan menggunakan skema *mix compensation* menggunakan *bit rate* 10 Gbps dan 40 Gbps dengan beberapa *sample* jarak *link* optik yaitu 250 km, 500 km dan 1000 km.

2. Dasar Teori

2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik[6]



Gambar 1. Konsep Jaringan Sistem Komunikasi Optik[11]

Dalam komunikasi serat optik sinyal informasi ditumpangkan pada sinyal *carrier* berupa sinyal cahaya. Secara umum komponen dari sistem komunikasi optik terdiri dari *transmitter*, serat optik sebagai media transmisi, dan *receiver*. Namun selain komponen dasar yang telah disebutkan terdapat beberapa komponen pendukung dalam komunikasi serat optik, misalnya kompensator dispersi, *splitter*, *repeater*, dll. Terdapat beberapa keuntungan dari sistem komunikasi optik diantaranya:

- 1) Mempunyai redaman yang kecil, sehingga sangat cocok digunakan untuk jarak jauh
- 2) Mempunyai kapasitas *bandwidth* yang sangat besar, sehingga dapat mengirim data informasi sangat banyak
- 3) Mempunyai ukuran kabel yang kecil dan ringan, sehingga lebih efisien tempat
- 4) Tahan terhadap interferensi elektrik

2.2 Dispersi pada Serat Optik *Single Mode* [6]

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*.

Nilai dispersi pada serat optik *single mode* suatu *link* optik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut, sesuai dengan persamaan pada standar ITU-T G.655 :

$$D_{\text{link}} = L_{\text{link}} [D_{1550} + S_{1550} (\lambda - 1550)] \quad (2.1)$$

2.3 Dispersion Compensating Fiber (DCF)[4]

Dalam upaya meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan maka dispersi harus dikurangi menjadi lebih kecil. Ada beberapa jenis kompensator yang diklasifikasikan diantaranya, *Dispersion Compensator Fiber (DCF)*, *chirped Fiber Bragg Gratings (FBG)*, dan *High- Order Mode (HOM) fiber*. Ide menggunakan kompensator ini diusulkan sejak 1980. 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.

Penggunaan kompensator dispersi adalah cara yang efisien untuk meng-*upgrade link existing* dengan serat optik mode *single mode*. DCF memiliki dispersi negatif yang tinggi sekitar -70 sampai -90 ps/km.nm dan dapat digunakan di serat optik yang memiliki dispersi positif dengan daerah transmisi di daerah C-Band. Ada beberapa skema dalam pemasangan kompensator DCF, yaitu *Pre- Compensation* yaitu menempatkan kompensator DCF sebelum kabel serat optik. Selanjutnya *Post- Compensation* yaitu menempatkan kompensator DCF setelah kabel optik. Dan yang terakhir adalah *Mix-Compensation* yaitu gabungan dari dua skema *Pre-compensation* dan *post-compensation* [4].

DCF merupakan serat optik yang dimodifikasi dispersinya sehingga dihasilkan dispersi negatif yang besar yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Besarnya dispersi pada DCF untuk mengkompensasi dispersi pada kabel optik *single mode* dengan jarak tertentu (L) dengan menambahkan DCF sepanjang yang telah ditentukan (l). jika sinyal optik menjalar melalui *single mode fiber* maka sinyal akan mengalami dispersi sepanjang L, dan D adalah dispersi per satuan panjang. DCF direalisasikan dengan memotong kabel serat optik *single mode* dengan panjang l dan menghasilkan dispersi sebesar nilai D', pada panjang gelombang yang sama dengan panjang gelombang operasi. Dengan cara itu, maka DL' akan menghilangkan nilai DL[13]. Adapun persamaan untuk panjang DCF didapatkan dari :

$$D(\text{SMF}) \times L(\text{SMF}) + D(\text{DCF}) \times L(\text{DCF}) = 0 \quad (2.2)$$

DCF biasanya digunakan dengan cara menyisipkan serat optik pada *link* optik. Penyisipan dilakukan dengan beberapa skema.



Gambar 2.3 Skema penyisipan DCF pada link optik [13]

2.4 Erbium Doped Fiber Amplifier[6]

EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) merupakan suatu sistem optik yang dapat meningkatkan kualitas jaringan optik. EDFA merupakan Optikal *Amplifier* yang dapat bekerja pada panjang gelombang 1550 nm serta memiliki medium aktif yaitu serat silica yang diberi doping unsur Erbium (Er). OA ini menggunakan *Pumping* yang menggunakan cahaya dengan panjang gelombang lebih pendek. EDFA merupakan salah satu amplifier yang dapat digunakan untuk komunikasi optik untuk jarak jauh. Serat yang terdada dengan Erbium dapat mengurangi penggunaan piranti pengulang sinyal optik seperti repeater yang biasanya digunakan dalam sistem konvensional untuk menimbulkan kembali sinyal optik yang sudah lemah. Penguatan yang dilakukan oleh EDFA didasarkan pada proses emisi terstimulasi yang merupakan prinsip dasar dari operasi sumber optik yaitu laser. Beberapa keuntungan dari EDFA adalah sebagai berikut [6]:

- a. *High gain* (~ 50 dB).
- b. *High output power* (> 100 mW).
- c. *Low noise figure* (~ 4 dB).
- d. *Less gain variation*.
- e. *Wide band operation baik untuk Wavelength Division Multiplexing (WDM)*.
- f. *Low insertion loss*.
- g. *Cross talk immunity* di dalam sistem multichannel.
- h. *Low power* untuk *pumping source*.

2.5 Dense Wavelength Division Multiplexing[7]

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan teknik perkembangan dari *multiplexing* WDM, yaitu sejumlah sinyal optik dengan panjang gelombang yang berbeda- beda ditransmisikan secara bersamaan melalui sebuah *single fiber*. Menurut ITU-T Rec G-694.1 standar spasi antar panjang gelombang yang dibolehkan berkisar antara 12,5 GHz sampai 1000 GHz. Prinsip kerja dari DWDM sama dengan multipleksing WDM, yaitu panjang gelombang yang digunakan umumnya 1330 nm dan 1550 nm. Cara kerja DWDM yaitu input yang berupa trafik dengan format data dan laju bit yang berbeda dihubungkan dengan laser DWDM. Kemudian laser akan mengubah masing- masing sinyal informasi dan memancarkan dalam panjang gelombang yang berbeda- beda. Kemudian panjang gelombang yang berbeda- beda tersebut dimasukan sebagai inputan ke dalam multiplekser dan keluaran dari multiplekser dimasukan kedalam *single fiber*. Selanjutnya ditransmisikan sepanjang jaringan serat optik. Demultiplekser (*Demux*) digunakan pada sisi penerima untuk memisahkan kembali antar panjang gelombang yang selanjutnya akan dideteksi oleh *photodetector*. Pada proses transmisi pada jaringan single fiber, karena sinyal akan melemah dan jarak jaringan yang jauh dapat digunakan amplifier sebagai penguat sinyal optik, sehingga sinyal optik dapat sampai pada detektor.

2.6 OSNR, 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 eror.

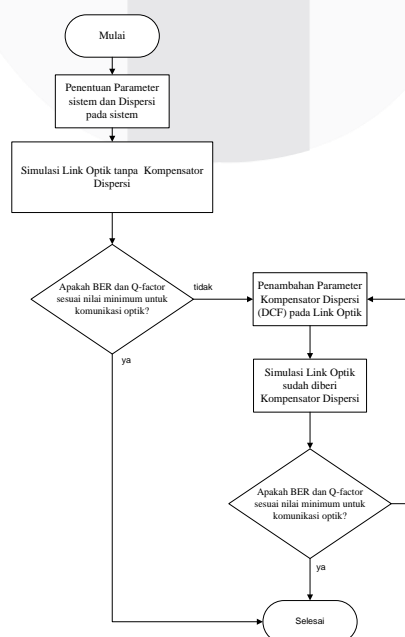
$$BER = \frac{1}{Q \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \tag{2.3}$$

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* optik:

$$Q = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{Sinyal}{Noise}} \right) \tag{2.4}$$

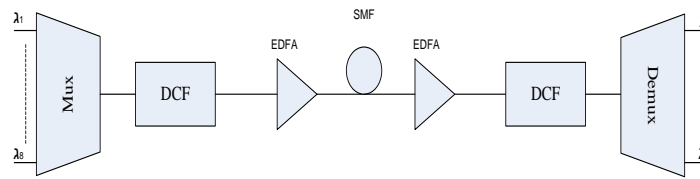
3. Perencanaan Pemodelan dan Simulasi Kompensator Dispersi

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan kompensasi dispersi menggunakan DCF

3.2 Model Sistem



Gambar 3.2 Model Sistem Jaringan Optik

Tabel 3.1 Parameter Transmitter

Parameter	Nilai
Panjang Gelombang	1550,1 nm – 1552,5 nm
Daya	0 dBm
Bit Rate	10 Gbps dan 40 Gbps

Tabel 3.2 Parameter Media Transmisi

Parameter	Detail	Nilai
Serat Optik : <i>Single Mode Optikal Fiber –Non Zero Dispersion Shifted Fiber</i>	Panjang Kabel	5 km/ haspel
	Redaman	0,22 dB/km
	Dispersi kromatik	6 ps/(nm.km)
	λ_{min}	1530 nm
	λ_{maks}	1650 nm
	Nilai Dispersi	Positif
Redaman Sambungan	Redaman <i>Splicing</i>	0,1 dB/buah
	Redaman Konektor	0,2 dB/buah
Penguat Daya Optik	<i>Gain</i>	22 dB

Tabel 3.3 Parameter DCF

Parameter	Detail	Nilai
Serat Optik: Single Mode Fiber (DCF-38)	Panjang Gelombang	1550 nm
	Redaman	0,2/km
	Panjang Kabel per haspel	5 km/ haspel
	Dispersi Kromatik	-30 s/d -49 ps/nm.km
	<i>Dispersion Slope</i>	0,018 ps/nm ² .km

3.3 Perhitungan Panjang Kabel DCF

Panjang kabel DCF yang digunakan sebagai kompensator dispersi ini yaitu sebagai kabel eksternal, sehingga panjang kabel akan menambah jarak kabel optik. Penentuan kebutuhan panjang kabel DCF dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D(\text{SMF}) \times L(\text{SMF}) + D(\text{DCF}) \times L(\text{DCF}) = 0$$

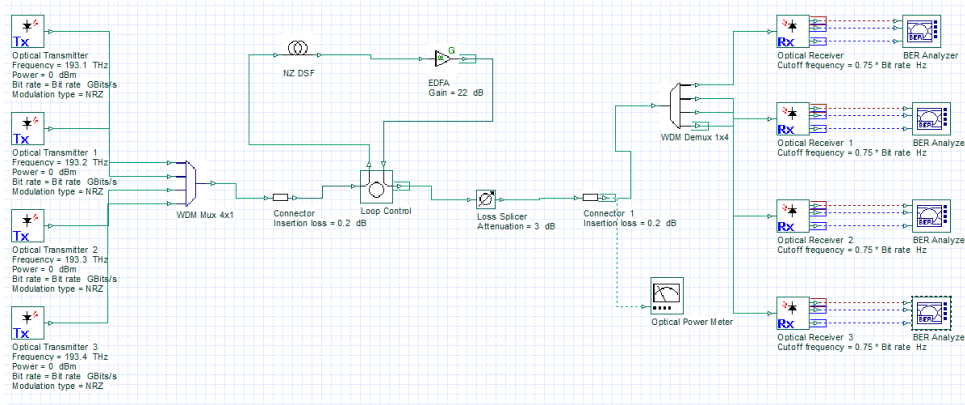
Tabel 3.4 Panjang Kabel DCF

Jarak	Panjang Kabe DCF
150 km	18,36 km
500 km	61,224 km
1000 km	122,44 km

4. Simulasi Dan Analisa Sistem

4.1 Analisa Performansi Link Optik Tanpa DCF

Pada bagian pertama ini dilakukan simulasi mengukur performansi link optik dengan jarak 150 km, 500 km, dan 1000 km tanpa menggunakan kompensator dispersi. Berikut *Set Up* yang disimulasikan pada skenario tanpa kompensator dispersi.



Gambar 4.1 Set Up Link Optik Tanpa DCF

Hasil simulasi *Link* optik dengan jarak 150 km, 500 km dan 1000 km tanpa kompensator dispersi, sebagai berikut:

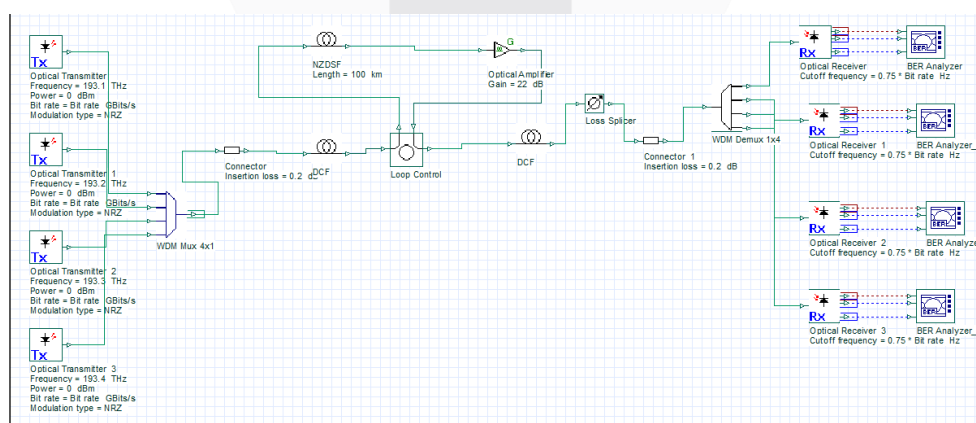
Tabel 4.1 BER Hasil Simulasi *Link* Optik Tanpa Kompensator

Bit rate \ Jarak	150 km	500 km	1000 km
10 Gbps	$9,10934 \times 10^{-037}$	0,00897074	1
40 Gbps	0,000229895	1	1

Analisa hasil simulasi *link* optik tanpa kompensator dispersi merupakan analisa performansi *link* optik tanpa menggunakan DCF sebagai kompensator dispersi. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa *bit rate* sangat berpengaruh pada performansi *link* optik. Semakin jauh jarak *link* optik maka performansi *link* optik semakin buruk. Pada *bit rate* 10 Gbps untuk jarak 150 km performansi *link* optik sudah bagus, namun untuk *bit rate* 40 Gbps memiliki performansi buruk. Pada jarak 500 km dan 1000 km hasil BER kedua simple bitrate memiliki performansi BER yang buruk.

4.2 Analisa Performansi Link Optik Dengan DCF

Pada bagian kedua ini dilakukan optimasi pada jaringan optik mengukur performansi *link* optik dengan jarak 150 km, 500 km, dan 1000 km dengan menggunakan kompensator dispersi. Berikut model sistem yang disimulasikan pada skenario dengan kompensator dispersi.



Gambar 4.2 Set Up Link Optik Dengan DCF

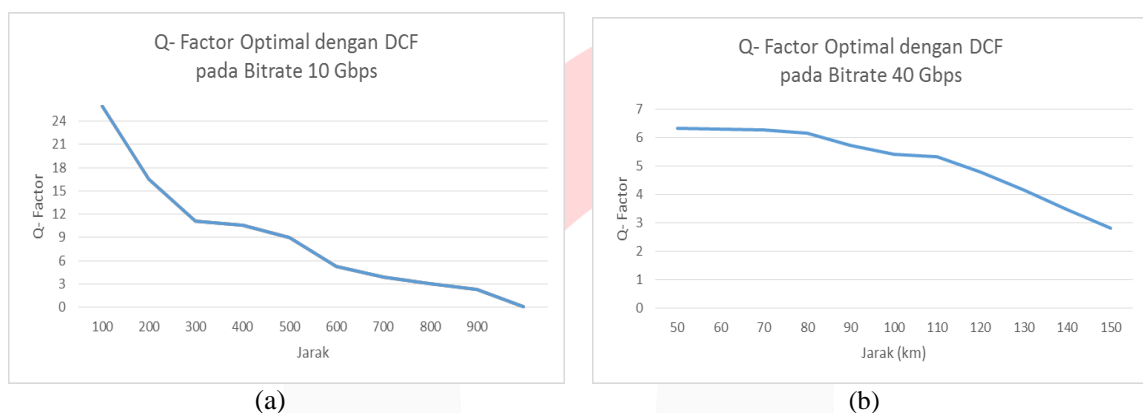
Hasil simulasi *link* optik dengan jarak 150 km, 500 km dan 1000 km tanpa kompensator dispersi, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.2 BER Hasil Simulasi Link Optik Dengan Kompensator

Bit rate \ Jarak	150 km	500 km	1000 km
10 Gbps	-	$5,03138 \times 10^{-026}$	1
40 Gbps	0,000211174	0,000262485	1

Analisa hasil simulasi *link* optik dengan kompensator dispersi merupakan analisa performansi *link* optik dengan optimasi menggunakan DCF sebagai kompensator dispersi. Dari data diatas dapat diambil kesimpulan dengan menggunakan kompensator dispersi dapat meningkatkan performansi link optik untuk *bit rate* yang tinggi terdapat beberapa jarak yang memiliki BER lebih besar dari 10^{-9} .

Dilihat dari hasil simulasi, semakin panjang jarak link optic, maka performansi link optic semakin turun, penggunaan *bit rate* pada *link* optik sangat berpengaruh terhadap performansi link optik serta jarak *link* optik. Nilai *Q-factor* optimal terhadap jarak pada *bit rate* 10 Gbps dengan menggunakan DCF adalah 500 km, sementara pada bit rate 40 Gbps adalah 80 km. Berikut grafik *Q-factor* optimal terhadap jarak:

Gambar 4.3 Grafik *Q-factor* terhadap Jarak (a) bitrate 10 Gbps (b) Bit rate 40 Gbps

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi pengaruh kompensator DCF berdasarkan jarak dan *bit rate*:

1. Pada jarak 150 km dengan *bit rate* 10 Gbps tanpa menggunakan kompensator DCF, performansi *link* optik sudah layak dengan nilai rata-rata *Q-factor*=11,717374, dan BER paling besar = $5,29982 \times 10^{-028}$. Untuk *bit rate* 40 Gbps hasil simulasi tanpa DCF masih dibawah standar kelayakan dengan nilai *Q-factor* rata-rata = 3,1927275 sehingga dioptimasi dengan menambahkan DCF dengan hasil optimasi mengalami kenaikan performansi dengan nilai *Q-factor* rata-rata = 3,33486 dengan BER paling besar = 0,000954446.
2. Pada jarak 500 km tanpa DCF, hasil simulasi tanpa kompensator dispersi dengan *bit rate* 10 Gbps menghasilkan nilai *Q-factor* rata-rata = 2,2341525 dan nilai BER terbesar = 0,00897074 dan dengan *bit rate* 40 Gbps menghasilkan nilai *Q-factor* rata-rata = 1,02676 dan BER terbesar= 1. Setelah dilakukan optimasi dengan kompensator DCF terjadi kenaikan performansi *link* optik yaitu pada *bit rate* 10 Gbps menghasilkan nilai *Q-factor* rata-rata = 9,8901175 dan BER terbesar = $1,41687 \times 10^{-019}$, sementara pada *bit rate* 40 Gbps menghasilkan nilai *Q-factor* rata-rata = 3,3668025 dengan BER terbesar = 0.000436966.
3. Pada jarak 1000 km tanpa DCF, hasil simulasi dengan *bit rate* 10 Gbps maupun dengan *bit rate* 40 Gbps menghasilkan minimal BER= 1. Setelah dioptimasi dengan kompensator DCF performansi *link* optik tidak mengalami kenaikan, dengan hasil *Q-factor* rata-rata = 0 dan BER = 1.
4. Performansi optimal dengan nilai *Q-factor* minimal = 6, pada *bit rate* 10 Gbps jarak maksimal yang dapat digunakan adalah 500 km, sementara pada *bit rate* 40 Gbps jarak maksimal yang dapat digunakan adalah 80 km.
5. Pengaruh jarak, *bit rate* dan nilai dispersi pada link optik terhadap performansi *link* optik sangat berpengaruh sekali, semakin besar nilai dispersi atau *bit rate* pada *link* optik, maka semakin pendek jarak *link* optik. Sehingga berpengaruh pada performansi *link* optik jadi semakin jauh maka semakin buruk performansi *link* optik tersebut.

5.2 Saran

Penelitian ini sangat memungkinkan untuk dikembangkan apalagi masalah dispersi ini merupakan masalah yang sekarang sedang dikembangkan kompensatornya. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya diantaranya:

1. Melakukan optimasi terhadap semua jarak sehingga semua kanal mempunyai nilai Q -factor ≥ 6 dan BER $\geq 10^{-9}$.
2. Membandingkan berbagai kompensator dispersi, tidak hanya 1 kompensator dispersi.

Daftar Pustaka:

- [1] Agrawal, G. 2017. Fiber-Optic Communication System [Powerpoint slides] Retrieved from :<https://classes.soe.ucsc.edu/ee230/Winter06/Lecture%2017.ppt>
- [2] Dhawan, Divya. Gupta, Neena. "Optimization of Fiber Based Dispersion Compensation in RZ and NRZ Data Modulation Formats". Journal of Engineering Science and Technology vol. 6 No. 6. 2011 651-663.
- [3] Devi, Kapila Beemanpally. Reddy, Karunakar Pottim. "Linear Distorsion Management in Optik Fiber using Dispersion Compensating Fiber". <https://sites.google.com/site/dcspprojectcognizats/> , diakses tanggal 9 oktober 2016.
- [4] Kaur, Manpreet dkk, "Dispersion Compensation with Dispersion Compensating Fibers (DCF)", IJARCEE vol. 4, Issue 2, February 2015, 354-346
- [5] Kaur, Rupinder. Singh, Mandeep. "Analysis on Dispersion Compensation with DCF based on Optisystem – A Review". International Journal of Engineering Sciences vol. 17, January 2016, 390-395
- [6] Keiser, Gerd. "Optical Fiber Communications" second Edition. : McGRAW-HILL, 1991.
- [7] Keiser, Gerd. "Optical Fiber Communications" Fourth Edition: Tata McGraw-Hill, Singapore.
- [8] Lucki, M., Zeleny, R. "Broadband Dispersion Compensating Photonic Crystal Fibre" conference proceedings, SPIE Vol. 8306. Bellingham (Washington): SPIE, 83060Z-1-83060Z-6, 2011.
- [9] P, Gopika. Ann Thomas, Sunu, "Performance Analysis of Dispersion Compensation using FBG and DCF in WDM System" IJARCEE vol 4, Issue 10, October 2015, 223-226.
- [10] Poole, Ian, "BER Bit Error Rate Tutorial and Definition". <http://www.radio-electronics.com/info/ef-technology-design/ber/bit-error-rate-tutorial-definition>, diakses tanggal 28 September 2016
- [11] Singh, Robin dkk, "Dispersion compensation in Optik Fiber communication for 40 Gbps using dispersion compensating fiber". IJSETT vol. 19 (1). 2015, 19-22.
- [12] Song, Seok Ho, "Optikal Communication System". Departement of Physics. Hanyang University.
- [13] Wicaksono, Prima. 2009. Perancangan Dispersion Compensating Fiber pada Fiber Single Mode dengan Panjang Gelombang 1550 nm. Bandung: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom