

PENGGUNAAN KOMPENSATOR DISPERSI PADA JARINGAN BERBASIS OPTIK ANTARA STO LEMBONG DAN STO CIANJUR MENGGUNAKAN FIBER BRAGG GRATING

DISPERSION COMPENSATOR ON OPTICAL FIBER NETWORK BETWEEN STO LEMBONG AND STO CIANJUR USING FIBER BRAGG GRATING

Ratih Kusuma W¹, Ir Akhmad Hambali, M.T.², Zulfi, S.T.,M.T.³

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

¹ratihooh@gmail.com ²ahambali@telkomuniversity.ac.id ³zulfi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem komunikasi serat optik memiliki kelebihan berupa transmisi *loss* yang kecil, *bandwidth* yang lebar, tidak terpengaruh gelombang elektromagnetik, dan keamanan data. Sehingga dengan kelebihan yang dimilikinya, penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan performansi sistem komunikasi serat optik.

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan kelayakan suatu jaringan serat optik berkaitan dengan bit rate adalah *rise time budget*. Besar *rise time system* harus lebih kecil sama dengan 70% data NRZ, sehingga dibutuhkan kompensator dispersi untuk mengurangi besar dispersi untuk dapat mentransmisikan *bit rate* sesuai yang diinginkan. Pada penelitian kali ini dilakukan analisis peletakan kompensator dispersi terhadap performansi *link* optik antara STO Lembong dan STO Cianjur sejauh 67,46 Km menggunakan kompensator dispersi *fiber bragg grating* menggunakan *software OptiSystem*.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa peletakan kompensator dispersi dengan pengaruh efek non-linearitas mempengaruhi performansi suatu jaringan, pada bit rate 10 Gbps semakin besar jarak peletakan kompensator dispersi terhadap *transmitter* maka nilai BER dan *Q-Factor* semakin bagus. Performa terbaik adalah pada jarak 52,642 Km dengan nilai BER $2,31822 \times 10^{-12}$ dan *Q-Factor* 6,91173, performa terburuk pada jarak 4,804 dengan nilai BER $3,66458 \times 10^{-12}$ dan *Q-Factor* 6,84697. Sedangkan pada *bit rate* 40 Gbps semakin besar jarak peletakan kompensator dispersi terhadap *transmitter* maka nilai BER dan *Q-Factor* semakin. Performa terbaik adalah ketika kompensator dispersi diletakan pada jarak 4,804 Km dengan nilai BER 0,007568 dan *Q-Factor* 2,29233, performa terburuk pada jarak 52,642 dengan nilai BER 0,008145 dan *Q-Factor* 2,2629. Pada skenario kedua, peletakan kompensator dispersi tanpa efek *non-linearitas* menghasilkan nilai BER dan *Q-Factor* yang sama di semua jarak. Pada *bit rate* 10 Gbps BER sebesar $3,32078 \times 10^{-12}$ dan *Q-Factor* sebesar 6,86077. Sedangkan dengan *bit rate* 40 Gbps nilai BER sebesar 0,008153 dan *Q-Factor* sebesar 2,26279. Hal ini terjadi karena pada skenario kedua tidak terdapat efek *non-linearitas* yang tidak menimbulkan beberapa sinyal baru.

Abstract

Optical fiber communication has many advantages such as low loss transmission, wide bandwidth, not been influenced by electromagnetic, and data security. With it's advantages, improvement the performance of optical fiber communication always be increase.

One of the method that is used to determine proper a fiber optic network is related to bit rate is rise time budget. The number of rise time system must be more small with 70% bit NRZ or 35 percent bit RZ, So that it was needed to reduce kompensator dispersion great dispersion to be able transmit bit rate according to be desired. In this simulation will be done analysis of the placement kompensator dispersion to performance of optical fiber network between STO Lembong and STO Cianjur as far as 67.46 Km using kompensator dispersion Fiber Bragg Grating using software optisystem.

Based on the result of simulation, concluded that the placement dispersion kompensator wit non-linear effect affected a network performance. On first scenario at bit rate 10 Gbps, longer distance placement dispersion kompensator to transmitter, the BER and Q-factor is better, the best performance at distance 52,642 Km with BER value is $2,31822 \times 10^{-12}$ and Q-Factor value is 6,91173. The worst performance at distance 4,804 with BER value is $3,66458 \times 10^{-12}$ and Q-Factor value is 6,84697. While at bit rate 40 Gbps, smaller distance placement dispersion kompensator to transmitter is better. The best performance at distance 4.804 km with BER value is 0,007568 and Q-Factor value is 2,29233 while the worst performance at distance 52.642 with BER value is 0,008145 and Q-Factor value is 2,2629. On second scenario, placement dispersion kompensator without non-linear effect results BER and Q-factor value are same at every distance. At bit rate 10 Gbps BER value is $3,32078 \times 10^{-12}$ and Q-Factor value is 6,86077.

While at bit rate 40 Gbps BER value is 0,008153 and Q-Factor value is 2,26279. This is because in second scenario there is no non-linearitas that doesn't raise another a few new signals.

1. Pendahuluan

Sistem komunikasi serat optik yang menggunakan serat optik sebagai mediana, mengubah sinyal informasi dalam bentuk listrik menjadi sinyal cahaya oleh dioda laser, kemudian ditransmisikan melalui serat optik, dan pada sisi penerima ditangkap oleh detektor cahaya yang kemudian sinyal informasi tersebut diubah kembali menjadi sinyal listrik. Sistem komunikasi serat optik memiliki kelebihan berupa transmisi *loss* yang kecil, *bandwidth* yang lebar, tidak terpengaruh gelombang elektromagnetik, dan keamanan data [2]. Sehingga dengan kelebihan yang dimilikinya, penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan performansi sistem komunikasi serat optik.

Namun, serat optik juga memiliki kelemahan yaitu berupa dispersi. Dispersi merupakan pelebaran pulsa yang disebabkan oleh perbedaan kecepatan sinyal informasi akibat indeks bias yang berbeda. Dispersi dalam jumlah besar dapat mempengaruhi performansi sistem komunikasi serat optik, salah satu akibatnya adalah rendahnya data rate yang mampu ditransmisikan yang ditandai dengan besarnya nilai BER. Salah satu cara untuk menanggulangi kekurangan tersebut adalah dengan menggunakan kompensator dispersi. Salah satu jenis kompensator dispersi yang dapat digunakan adalah *Fiber Bragg Grating* (FBG). Pada penelitian [1] telah dibuktikan bahwa FBG mampu mengkompensasi dispersi. Pada penelitian ini dilakukan analisis dan simulasi peletakan kompensator dispersi pada link STO Lembong sampai STO Cianjur dengan menggunakan *fiber bragg grating*.

2. Dasar Teori

2.1 Dense Wavelength Division Multiplexing

DWDM merupakan suatu teknologi *multiplexing* dalam sistem komunikasi serat optik umumnya digunakan untuk transmisi data yang memiliki jarak jauh. DWDM mampu mengirimkan beberapa panjang gelombang operasi yang 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. Jarak atau *spacing* antar kanal umumnya berkisar antara 200, 100, dan 50 Ghz atau setara dengan 0,4, 0,8, dan 1,6 nm. *Spacing* tersebut diperlukan supaya tidak terjadi interferensi dari masing-masing kanal, sehingga proses *multiplexing* dan *demultiplexing* sesuai dengan kebutuhan.

2.2 Karakteristik Sistem Komunikasi Optik

Dispersi intramodal adalah pelebaran pulsa yang terjadi pada serat optik jenis *single mode*. Dispersi intramodal dihasilkan dari kecepatan grup yang menjadi fungsi dari panjang gelombang. *Material dispersion* terjadi karena variasi dari indeks bias sebagai fungsi dari panjang gelombang. Kecepatan grup (V_g) mode adalah fungsi dari indeks bias, komponen spektral berbeda dari mode tertentu akan berjalan pada kecepatan yang berbeda, tergantung pada panjang gelombang. Sinyal yang menjalar sepanjang *fiber* memiliki kecepatan yang berbeda dan mengalami *time delay* atau *group delay*. Dispersi material yang merupakan efek dari dispersi intramodal, menjadi sangat penting untuk bumbung gelombang *single mode* dan untuk sistem LED, karena LED memiliki spektrum *output* yang lebih lebar dari laser dioda. Dispersi ini terjadi karena variasi kecepatan grup terhadap suatu panjang gelombang suatu mode. Besarnya dispersi pandu gelombang tergantung pada rancangan *fiber*.

2.3 Kompensator Dispersi

Agar dapat bekerja untuk mengkompensasi dispersi FBG dioperasikan bekerja berkebalikan dengan yang dialami oleh gelombang yang menjalar pada serat optik biasa. Dispersi disebabkan oleh kecepatan gelombang yang berbeda pada indeks bias tertentu sehingga sampai pada ujung serat optik dalam waktu yang bersamaan. Dalam kasus ini panjang gelombang lebih rendah akan menjalar lebih cepat dibandingkan dengan panjang gelombang yang lebih tinggi. Untuk melawan sifat ini FBG bekerja pada daerah *detuning* negatif (Δk), dimana pada daerah tersebut FBG memperlakukan untuk panjang gelombang yang lebih tinggi dirambatkan dengan kecepatan yang lebih tinggi.

Jadi yang perlu diperhatikan dalam merencanakan pembuatan FBG untuk dapat mengkompensasi dispersi adalah FBG didesain agar perlakuan terhadap gelombang berkebalikan dengan perlakuan serat optik terhadap gelombang. Untuk itu FBG harus didesain sehingga bekerja dalam daerah *detuning* negatif ($\Delta k < 0$) dan bekerja di luar *photonic band gap* yaitu pada daerah $|\frac{\omega}{c} - k| < 1$. Dua hal tersebut menjadi syarat utama yang harus diperhatikan dalam mendesain suatu FBG agar dapat digunakan untuk mengkompensasi dispersi [4].

2.4 Rise Time Budget^[3]

Rise time budget merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui batasan dispersi dari suatu jaringan serat optik. Besar *rise time system* tidak boleh lebih dari 70% data NRZ (*Non Return To Zero*) atau 35% data

RZ (*Return To Zero*), NRZ dan RZ merupakan jenis *line coding*. *Line coding* berfungsi sebagai perhitungan waktu, dengan tujuan memberi tanda mulai dan akhir dari *interval* waktu dan mempertahankan jarak pulsa yang diperlukan.

Untuk menghitung *rise time budget* dapat dihitung dengan persamaan

$$T_{\text{total}} = \sqrt{T_{\text{fiber}}^2 + T_{\text{dispersi}}^2 + T_{\text{non-linear}}^2 + T_{\text{komponen}}^2}$$

Menentukan *rise time material*

$$T_{\text{material}} = \Delta\sigma \times \lambda \times D_1$$

2.5 Link Power Budget^[3]

Link power budget berfungsi untuk mengetahui batasan redaman total yang diizinkan sesuai dengan daya pancar dan sensitifitas penerima. Redaman total ini berasal dari redaman serat optik, jumlah konektor yang digunakan, dan jumlah *splice* yang ada. Untuk menghitung *Link power budget* dapat dihitung dengan persamaan

$$P_{\text{input}} - P_{\text{output}} = \alpha_{\text{serat}} + \alpha_{\text{konektor}} + \alpha_{\text{splice}}$$

2.6 Bit Error Rate Dan Q-Factor

BER merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital^[3]. *Q-Factor* adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu link atau jaringan DWDM. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya DWDM, minimal ukuran *Q-Factor* yang bagus adalah 6 atau 10^{-9} dalam *Bit Error Rate (BER)*^[2], namun pada penelitian kali ini nilai BER dan *Q-Factor* didapatkan dari simulasi pada *software OptiSystem*.

3. Pembahasan

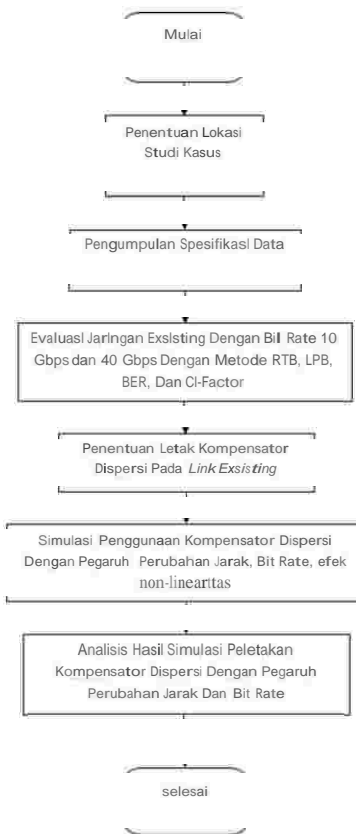


Figure 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Penentuan Lokasi

Penelitian kali ini merupakan studi kasus *link backbone* antara STO Lembong sampai dengan STO Cianjur yang menggunakan teknologi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Berikut adalah skema *link backbone* tersebut:



Figure 3.2 Skema Jaringan Exsisting

Pada jaringan tersebut, *end point* berada di STO Cianjur, sedangkan pada STO lainnya hanya dilakukan *direct splice* (sambungan langsung) sehingga pada penelitian ini *link* yang akan disimulasikan adalah antara STO Lembong sampai dengan STO Cianjur dengan jarak 67,46 Km. Berikut adalah tabel jarak antar STO:

Table 3.1 Jarak Antar STO

STO	Jarak (Km)
Lembong - Rajawali	4,804
Rajawali - Cimahi	5,574
Cimahi - padalarang Baru	11,298
Padalarang Baru - Cipatat	14,754
Cipatat - Ciranjang	16,212
Ciranjang - Cianjur	15
Lembong - Cianjur	67,46

3.2 Pengumpulan Spesifikasi Data Perangkat

Pada *link backbone* antara STO Lembong sampai STO Cianjur digunakan perangkat DWDM ZTE M920 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Table 3.2 Data parameter link STO Lembong – STO Cianjur

Parameter Link Existing	
Bit Rate	10 Gbps
Jarak	67,46 Km
Daya Transmitter	7 dBm
Daya Receiver	-16,841 dBm
Rise Time Transmitter	35 ps
Rise Time Receiver	36 ps
Jenis Sumber	Laser APD
Lebar Spektral	0,2 nm
Line Coding	NRZ
Panjang Gelombang	1550 nm
Parameter Serat Optik	
Jenis Kabel	G.655 C
Redaman Kabel	0,2 dB/Km
Redaman splicing	0,1 dB
Redaman Konektor	0,3 dB
Dispersi Kromatis	2 ps/nm.Km
Indeks Non-Linearitas	2,60E-20
Parameter Kompensator Dispersi	
Jenis	Fiber Bragg Grating
apodization	Uniform
Chirp	Linear
Linear Chirp	0,0001
Modulasi Index	0,0001
Effective Index	1,45

3.3 Evaluasi Jaringan Existing Pada Bit Rate 10 Gbps Dan 40 Gbps

3.3.1 Perhitungan Rise Time Budget

Berikut perhitungan *rise time budget* untuk *link* antara STO Lembong sampai STO Cianjur:

Bit rate = 10 Gbps dengan format NRZ, sehingga:

$$tr = \frac{0.7}{B} = \frac{0.7}{10} = 0,07ns = 70ps$$

$$B = 10 \times 10^9$$

menunjukkan bahwa batas toleransi dispersi yang diizinkan ialah sebesar 70 ps. Dimana nilai dispersi pada serat optik *single mode* sendiri dapat dihitung dengan persamaan:

$$T_{material} = \Delta\sigma \times L \times Dm$$

$$= 0.2 \text{ nm} \times 67.46 \text{ Km} \times 0.002 \text{ ns/nm.Km} = 0.026984 \text{ ns}$$

$$= 26 \text{ ps}$$

$$T_{\text{modus}} = 0, \text{ karena single mode}$$

Sehingga besar *rise time system* untuk *link existing* adalah

$$= [(0.035)^2 + (0.026984)^2 + (0)^2 + (0.036)^2]^{1/2}$$

$$= 0.058226 \text{ ns} = 58 \text{ ps}$$

Maka *rise time budget* jaringan *existing* layak dengan *bit rate* sebesar 10 Gbps. Sedangkan jika *bit rate* dinaikkan menjadi 40 Gbps dengan format NRZ:

$$tr = \frac{0.7}{Br} = \frac{0.7}{40 \times 10^9} = 0,0175 \text{ ns} = 17 \text{ ps}$$

maka batas toleransi dispersi yang diizinkan ialah sebesar 17 ps. Hal ini menunjukkan *rise time budget* jaringan *existing* jika menggunakan *bit rate* 40 Gbps tidak layak.

3.3.2 Perhitungan Link Power Budget

Data-data yang digunakan pada perhitungan antara lain :

- Daya keluaran sumber optik (*laser*) : 7 dBm
- Sensitivitas detektor (*APD*) : -19,6 dBm
- Redaman Serat optik G.655 (1550) : 0,22 dB/Km
- Redaman *Splice* : 0.1 dB/splice
- Redaman Konektor : 0.3 dB
- Jumlah Sambungan : 24 buah
- Jumlah Konektor : 2 buah

Pada *link* tersebut arah *uplink* dan *downlink* menggunakan serat optik yang berbeda namun memiliki spesifikasi yang sama. Perhitungan *Link Power Budget* sebagai berikut :

$$\alpha_{\text{tot}} = (67,46 \times 0.22) + (2 \times 0.3) + (24 \times 0.1) + 6$$

$$= 14,841 + 0,6 + 2,4$$

$$\alpha_{\text{tot}} = 17,841 \text{ dB}$$

Sehingga : $P_{rx} = P_{tx} - \alpha_{\text{tot}} - M_s$

$$P_{rx} = 7 - 17,841 - 6$$

$$P_{rx} = -16,841 \text{ dBm}$$

Maka : $P_{rx} \geq \text{Sensitivitas Detektor}$

$$-16,841 \text{ dBm} \geq -19,6 \text{ dBm}$$

Setelah melakukan perhitungan, nilai *Prx* diperoleh sebesar -16,841 dBm. Hal ini berarti bahwa *link* diatas memenuhi kelayakan *link power budget*.

3.3.3 Bit Error Rate Dan Q-Factor

Evaluasi dilakukan dengan menggunakan simulasi pada *OptiSystem*. Untuk *bit rate* 10 Gbps besar BER sebesar $1,46685 \times 10^{-10}$ dan *Q-Factor* sebesar 6,29547 sedangkan pada *bit rate* 40 Gbps nilai BER sebesar 0,0317308 dan *Q-Factor* sebesar 1,85796. Hasil tersebut sesuai dengan evaluasi berdasarkan perhitungan *rise time budget*, yaitu *bit rate* 10 Gbps layak, sedangkan jika menerapkan *bit rate* 40 Gbps tidak layak memenuhi batasan dispersi pada *link existing*.

3.4 Penentuan Letak Kompensator

Peletakan kompensator dispersi sesuai dengan letak STO yang dilalui, dengan pertimbangan efisiensi pemasangan pada jaringan *existing* dan karena FBG sensitif terhadap suhu. Berikut ini tabel jarak peletakan kompensator dispersi:

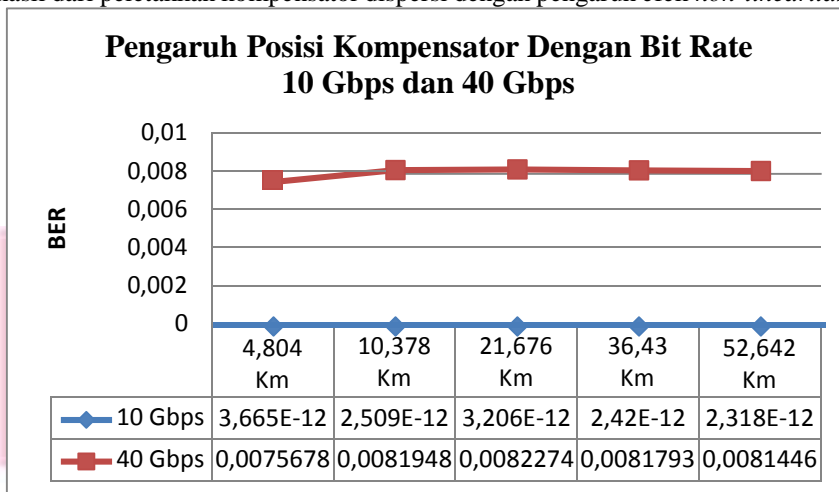
Table 3.3 Jarak peletakan kompensator dispersi

Skenario	Jarak (Km)
1	4,804
2	10, 378
3	21,676
4	36,43
5	52,642

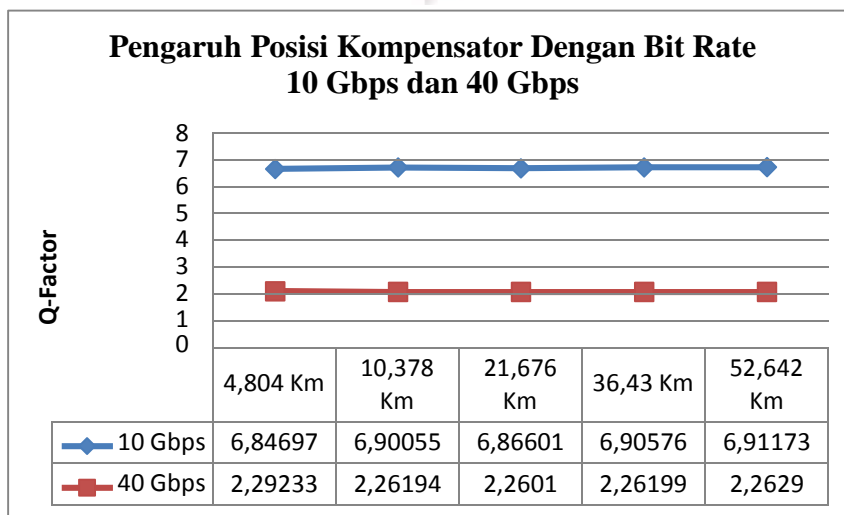
3.5 Pengaruh Peletakan Kompensator Dispersi Dengan Pengaruh Efek Non-Linearitas

Pada skenario pertama digunakan *bit rate* 10 Gbps dan 40 Gbps dengan jumlah jumlah 4 kanal dan lebar spasi kanal 1,6 nm. Pada skenario pertama terdapat pengaruh efek *non-linearitas* terhadap performa *link existing* dengan

parameter BER dan Q-Factor. Pada kondisi awal tanpa peletakan kompensator dengan bit rate 10 Gbps, besar BER sebesar $1,42497 \times 10^{-10}$ dan Q-Factor sebesar 6,301. Besar BER dan Q-Factor sudah menunjukkan bahwa link layak digunakan untuk bit rate 10 Gbps. Sedangkan pada bit rate 40 Gbps, BER sebesar 0,007649 dan Q-Factor sebesar 2,31564. Hal ini menunjukkan bahwa performa link existing tidak layak mentransmisikan bit rate sebesar 40 Gbps. Berikut ini grafik hasil dari peletakan kompensator dispersi dengan pengaruh efek non-linearitas:



Gambar 3.3 Pengaruh posisi kompensator dispersi pada bit rate 10 Gbps dan 40 Gbps dengan parameter BER



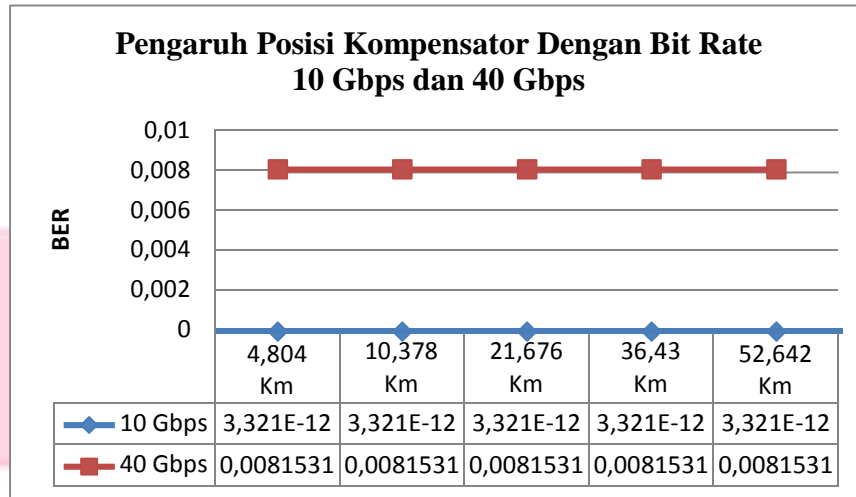
Gambar 3.4 Pengaruh posisi kompensator dispersi pada bit rate 10 Gbps dan 40 Gbps dengan parameter Q-Factor

Dari hasil simulasi pada skenario pertama, dapat dilihat bahwa jarak peletakan kompensator dispersi dengan pengaruh efek non-linearitas pada bit rate 40 Gbps memiliki performa terbaik adalah pada jarak 4,804 Km dengan besar BER 0,007568 dan Q-Factor 2,29233, sedangkan performa terburuk peletakan kompensator dispersi pada jarak 21,676 Km dengan besar BER 0,008227 dan Q-Factor 2,2601. Perubahan besar BER dan Q-Factor tidak cukup signifikan. Pada bit rate besar seperti 40 Gbps peletakan kompensator dispersi tidak memiliki pengaruh yang linear terhadap performa link, karena pada bit rate yang sangat besar terdapat pengaruh PMD (Polarization Mode Dispersion).

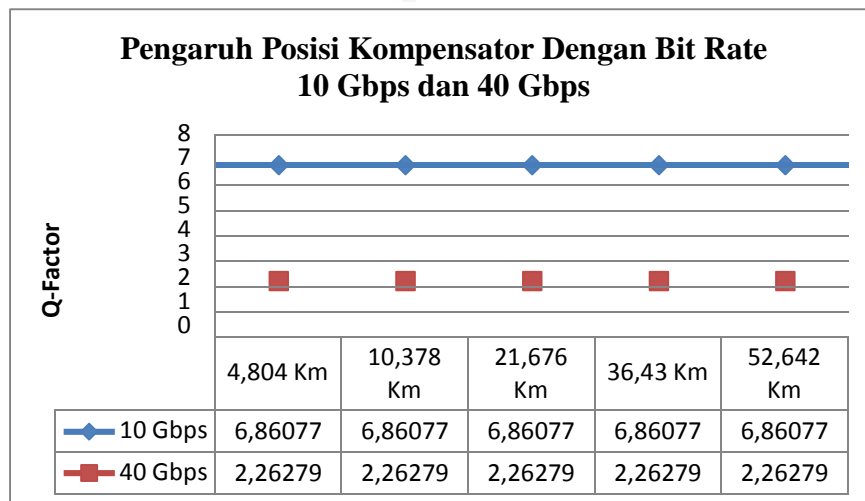
Hal ini terjadi karena serat optik memiliki gangguan berupa dispersi, dispersi yang terjadi akan semakin besar pada link jarak jauh sehingga ketika kompensator dispersi diletakan semakin jauh dengan transmitter, kompensator dispersi dapat mengkompensasi dispersi yang lebih besar. Selain itu pada teknologi DWDM efek non-linearitas menimbulkan Four wave mixing, yaitu salah satu fenomena penting yang dapat mempengaruhi performansi jaringan DWDM. Efek non linear ini mengakibatkan munculnya beberapa sinyal baru yang tidak diinginkan yang ikut ditransmisikan. Sehingga ketika kompensator dispersi diletakan pada jarak yang semakin jauh maka performa link semakin baik. Hal tersebut dibuktikan dengan terjadinya penurunan nilai BER dan kenaikan nilai Q-Factor jika kompensator dispersi diletakan pada jarak yang semakin jauh.

3.6 Pengaruh Peletakan Kompensator Dispersi Tanpa Pengaruh Efek Non-Linearitas

Pada skenario kedua digunakan *bit rate* 10 Gbps dan 40 Gbps dengan jumlah 4 kanal dan lebar spasi kanal 1,6 nm. Pada skenario kedua tidak terdapat pengaruh efek *non-linearitas* terhadap performa *link existing* dengan parameter BER dan Q-Factor. Berikut ini grafik hasil dari peletakan kompensator dispersi tanpa pengaruh efek *non-linearitas*:



Gambar 3.5 Pengaruh posisi kompensator dispersi pada bit rate 10 Gbps dan 40 Gbps dengan parameter BER



Gambar 3.6 Pengaruh posisi kompensator dispersi pada bit rate 10 Gbps dan 40 Gbps dengan parameter Q-Factor

Berdasarkan hasil penelitian, pada *bit rate* 10 Gbps nilai BER dan Q-Factor yang didapatkan memiliki besar yang sama yaitu BER sebesar $3,32078 \times 10^{-12}$ dan Q-Factor sebesar 6,86077. Sedangkan pada *bit rate* 40 Gbps BER sebesar 0,008153 dan Q-Factor sebesar 2,26279. Dari hasil simulasi pada *bit rate* 10 Gbps dan 40 Gbps nilai BER dan Q-Factor tetap disetiap jarak peletakan kompensator dispersi. Hal ini terjadi karena pada skenario kedua tidak terdapat efek *non-linearitas* yang tidak menimbulkan beberapa sinyal baru seperti pada skenario pertama, sehingga hanya terdapat gangguan berupa dispersi.

4. Kesimpulan

1. Perubahan besar *bit rate* pada *link* yang sama mempengaruhi performa *link*, terlihat dari nilai BER pada *bit rate* 10 Gbps sebesar $1,42497 \times 10^{-10}$ dan Q-Factor sebesar 6,301 sedangkan pada *bit rate* 40 Gbps nilai BER menjadi sebesar 0,007649 dan Q-Factor sebesar 2,31564
2. Penggunaan kompensator dispersi mempengaruhi performa *link*, terlihat dari nilai BER pada skenario pertama menjadi semakin kecil dan nilai Q-Factor semakin besar ketika diletakan kompensator dispersi pada jarak tertentu

3. Jarak peletakan kompensator dispersi mempengaruhi performa *link*, pada skenario pertama dengan bit rate 10 Gbps nilai BER yang semakin kecil dan *Q-Factor* semakin besar ketika kompensator dispersi diletakan semakin jauh dengan *transmitter*. Hal ini terjadi karena serat optik memiliki nilai dispersi dan semakin jauh cahaya melewati serat optik, maka dispersi yang terjadi semakin besar. Selain itu terdapat efek *non-linearitas* yang diakibatkan oleh indeks bias *non linear* dan menyebabkan termodulasinya sinyal baru yang mempunyai nilai spektrum frekuensi yang hampir sama dengan frekuensi informasi
4. Sedangkan dengan *bit rate* 40 Gbps pada skenario pertama, semakin jauh jarak peletakan kompensator dispersi performa *link existing* menjadi lebih buruk karena pada penggunaan *bit rate* besar terdapat pengaruh PMD (*Polarization Mode Dispersion*)
5. Pada teknologi DWDM efek *non-linearitas* mempengaruhi performansi *link* ketika menggunakan kompensator dispersi
6. Pada skenario pertama dengan *bit rate* 10 Gbps, performa terbaik adalah ketika kompensator dispersi diletakan pada jarak 52,642 Km dengan BER sebesar $2,31822 \times 10^{-12}$ dan *Q-Factor* 6,91173, sedangkan performa terburuk peletakan kompensator dispersi pada jarak 4,804 Km dengan BER sebesar $3,66458 \times 10^{-12}$ dan *Q-Factor* 6,84697
7. Pada skenario pertama dengan *bit rate* 40 Gbps, performa terbaik adalah ketika kompensator dispersi diletakan pada jarak 4,804 Km dengan besar BER 0,007568 dan *Q-Factor* 2,29233, sedangkan performa terburuk peletakan kompensator dispersi pada jarak 21,676 Km dengan besar BER 0,008227 dan *Q-Factor* 2,2601.
8. Pada skenario kedua dengan *bit rate* 10 Gbps, performa *link* sama disemua jarak peletakan kompensator dispersi yaitu BER sebesar $3,32078 \times 10^{-12}$ dan *Q-Factor* sebesar 6,86077. Sedangkan dengan *bit rate* 40 Gbps nilai BER sebesar 0,008153 dan *Q-Factor* sebesar 2,26279. Hal ini terjadi karena pada skenario kedua tidak terdapat efek *non-linearitas* yang tidak menimbulkan beberapa sinyal baru seperti pada skenario pertama, sehingga hanya terdapat gangguan berupa dispersi.

Daftar Pustaka:

- [1] A.Ojuswini, K.G.Amit, "Impact Of Fiber Bragg Grating As Dispersion Compensator On The Receiver Characteristics" Global Journals Inc, VOL.11, 2011
- [2] Firdaus, Ramla., " Dasar-Dasar Parameter Elektris Radio Access Network (Ran) Dalam Dunia Telekomunikasi", <http://mandorkawat2009.com/>, diakses tanggal 27 Maret 2015
- [3] Keiser, Gerd. "Optical Fiber Communications", Second Edition.: McGRAW-HILL,1991
- [4] Siburian. I, "Analisis Karakteristik Filter Optik Fiber Bragg Grating Pada Serat Optik Single Mode" Tugas akhir Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, ITU-T Telecommunication