

# Analisis Performansi Pengaruh Efek Non-Linearitas *Four Wave Mixing (FWM)* Pada Sistem DWDM *Link* Singkawang-Penajam

1<sup>st</sup> Rivaldo Subaja Gultom  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

rivaldogultom@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Akhmad Hambali  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

ahambali@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Brian Pamukti  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

brianpam@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**—Serat optik menawarkan suatu medium yang lebih menguntungkan daripada kabel elektrik seperti bandwidth yang besar dan kecepatan pengiriman yang tinggi untuk jarak jauh, serta tahan terhadap gangguan interferensi. *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*, merupakan sebuah teknologi transmisi yang menggunakan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda sebagai saluran informasi, sehingga semua panjang gelombang dapat ditransmisikan melalui serat optik setelah proses *multiplexing*. Pada Tugas Akhir ini menganalisis degradasi sinyal akibat efek non-linearitas *Four Wave Mixing (FWM)* dengan mengubah-ubah *bitrate*. Selanjutnya dari parameter-parameter tersebut akan dilakukan simulasi serta uji performansi pada sistem jaringan DWDM dengan memasukan jarak *link*, spasi kanal, *bitrate*, dan daya pengiriman sinyal pada perangkat lunak. Pada penelitian ini menggunakan *bitrate* 10,12,15 Gbps dengan jumlah kanal sebanyak 4 kanal. Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi, menunjukkan bahwa *bitrate* 10 Gbps dengan panjang serat optik 287,83 km dan spasi kanal sebesar 1 nm, memiliki performansi terbaik dengan nilai *Q-factor* sebesar 6,61 dan BER sebesar  $1,448 \times 10^{-11}$ , sedangkan untuk nilai performansi terburuk terdapat pada *bitrate* 15 Gbps panjang serat optik 74,04 km dan spasi kanal sebesar 0,8 nm dengan nilai *Q-factor*=2,81 dan BER= $1,449 \times 10^{-03}$ . Efek non-linear FWM menjadi pengaruh besar terhadap menurunnya performansi DWDM selain parameter jarak dan *bitrate*.

**Kata kunci**—*Dense Wavelength Division Multiplexing, Four Wave Mixing, Non-Linearitas, Bitrate.*

## I. PENDAHULUAN

Saat ini komunikasi serat optik sebagai media transmisi yang banyak dipakai dibandingkan dengan kabel elektrik, karena serat optik menawarkan suatu medium yang lebih menguntungkan seperti *bandwidth* yang besar dan kecepatan pengiriman yang tinggi untuk jarak jauh,

serta tahan terhadap gangguan interferensi. Ada beberapa cara untuk mengirimkan sebuah informasi melalui serat optik tunggal. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*, merupakan sebuah teknologi transmisi yang menggunakan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda sebagai saluran informasi, sehingga semua panjang gelombang dapat ditransmisikan melalui serat optik setelah proses *multiplexing* [1]. DWDM menggunakan panjang gelombang 1500nm – 1600nm dengan redaman minimum untuk transmisi jarak yang jauh. Namun, dibalik kelebihan dari DWDM terdapat kekurangannya, yaitu DWDM seringkali terjadi gangguan dalam proses transmisi sinyal seperti efek non-linearitas dan dispersi. Kekurangan dari DWDM ini memperburuk kinerja sistem pada saat mentransmisikan sinyal informasi, sehingga mempengaruhi performansi sistem, penggunaan kanal, dan degradasi sinyal [2]. Efek non-linearitas fiber terwujud dalam fenomena *Four Wave Mixing (FWM)* dimana fenomena tersebut menyebabkan jumlah sinyal yang ditransmisikan lebih banyak daripada jumlah sinyal yang seharusnya [1]. Penguat optik dalam sistem DWDM, seperti *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)* dapat mengatasi degradasi sinyal. EDFA merupakan komponen yang digunakan untuk memperkuat sinyal pada saat ditransmisikan dan dapat digunakan pada jarak ratusan kilometer. Dalam penggunaannya EDFA dapat memperoleh kerataan penguatan, degradasi sinyal yang kecil, dan kualitas *eye diagram* yang baik [2].

## II. KAJIAN TEORI

### A. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

DWDM merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses multiplexing seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat optik [3].

### B. Efek Non-Linear

Sistem DWDM seringkali terjadi gangguan dalam proses transmisi sinyal seperti efek non-linear dan dispersi. Efek non linear merupakan efek yang memperburuk kinerja sistem pada saat mentransmisikan sinyal informasi sehingga mempengaruhi performa sistem, penggunaan kanal, dan degradasi sinyal. Interaksi daya yang terjadi pada medium bias berhubungan dengan *kerr effect*, dimana penyebab *kerr effect* adalah indeks bias refraktif yang berubah-ubah akibat intensitas daya optik, fenomena tersebut ditunjukkan dalam rumus dibawah ini

$$n = n_0 + n_2 I \quad (1)$$

Dimana  $n$  adalah indeks bias reaktif,  $n_0=1,5$  dan  $n_2=3 \times 10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$  dan  $I$  = Intensitas daya pada optik[4].

### C. Four Wave Mixing (FWM)

*Four Wave Mixing* merupakan fenomena dan masalah penting untuk jaringan DWDM. Efek non-linear ini menciptakan beberapa pulsa baru, yang juga ditransmisikan. Sinyal muncul karena indeks bias non-linear dan memodulasi sinyal baru dengan nilai spektrum yang hampir sama dengan frekuensi informasi. FWM menurunkan performansi semua jaringan optik DWDM. Ketika FWM ini terjadi, muncul spektrum frekuensi yang mengganggu sinyal informasi dan nilai akurasi penerima, sehingga menyebabkan nilai BER yang tinggi [5].

### D. Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA adalah suatu penguat sistem optik yang meminimalkan efek rugi-rugi daya dan redaman sebagai akibat dari transmisi pulsa melalui serat optik. Penguat optik EDFA memungkinkan munculnya teknologi DWDM berkecepatan tinggi dan volume transmisi tinggi. Prinsipnya, laser digunakan untuk memompa serat *erbium doped* dan atom - atom di serat akan berpindah pita energi dari tingkat terendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sinyal optik yang melewati serat *erbium doped* berfungsi sebagai perangsang sehingga terjadi emisi yang melepaskan energi foton. Energi tersebut bersifat koheren dan dengan demikian terjadi penguatan sinyal secara optik [6].

### E. Link Power Budget (LPB)

*Link Power Budget* merupakan nilai daya terima dari sinyal masukan yang mengalami

degradasi sinyal atau *attenuation*. *Link Power Budget* dapat dituliskan dengan persamaan (2) sebagai berikut

$$LPB = P_{in} - (\alpha_{total} + m) \quad (2)$$

dengan  $P_{in}$  sebagai daya input,  $\alpha_{total}$  adalah redaman total sistem, dan  $m$  adalah margin sistem. Redaman total sistem dapat dituliskan dengan persamaan (3) sebagai berikut

$$\alpha_{total} = (L \cdot \alpha_{serat}) + (N_c \cdot \alpha_c) + (N_s \cdot \alpha_s) + \alpha_{sp} \quad (3)$$

dengan  $L$  merupakan total panjang serat, lalu  $\alpha_{serat}$  adalah redaman pada serat optik,  $N_c$  adalah jumlah konektor,  $\alpha_c$  merupakan redaman konektor,  $N_s$  adalah jumlah *splice*, dan  $\alpha_{sp}$  merupakan redaman *splice*.

### F. Signal to Noise Ratio (SNR)

*Signal to Noise Ratio* (SNR) merupakan perbandingan daya dalam suatu sinyal terhadap daya yang dikandung oleh noise yang muncul pada titik-titik tertentu pada saat transmisi. Hubungan daya sinyal dan *noise* tampak pada persamaan (4) berikut

$$SNR = \frac{(P_{in} \cdot R \cdot M)^2}{2 \cdot I_n \cdot R \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot B_e + \frac{4 \cdot K_b \cdot T \cdot B_e}{R_L}} \quad (4)$$

dengan  $P_{in}$  merupakan daya terima APD,  $P$  adalah *responsivity*,  $M$  merupakan *avalanche photodiode gain*.  $F(M)$  adalah *noise figure*,  $q$  adalah muatan elektron dengan nilai  $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ ,  $B_e$  adalah *receiver electrical bandwidth*,  $K_b$  adalah konstanta boltzman dengan nilai  $1,3810^{-23} \text{J/K}$   $T$  adalah suhu ruangan dengan nilai  $300^\circ \text{K}$ , dan  $R_L$  adalah resistansi (W) [7].

### G. Q-Factor

*Q-factor* adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu link atau jaringan DWDM. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya DWDM, nilai *Q-Factor* yang digunakan sebagai tolak ukur adalah minimal 6. Persamaan (5) dibawah digunakan untuk mencari nilai *Q-factor* [7]

$$Q = \frac{5NR}{2} \quad (5)$$

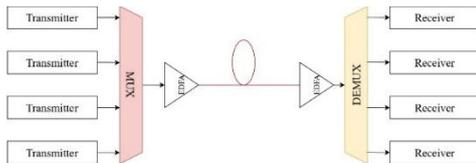
### H. Bit Error Rate (BER)

BER merupakan rasio perbandingan bit error dengan keseluruhan bit yang dikirim. Pengujian BER bertujuan untuk mengetahui banyak kesalahan pembacaan yang diterima setiap detiknya. Dapat ditulis dengan persamaan (6) sebagai berikut

$$BER = \frac{\exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right)}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (6)$$

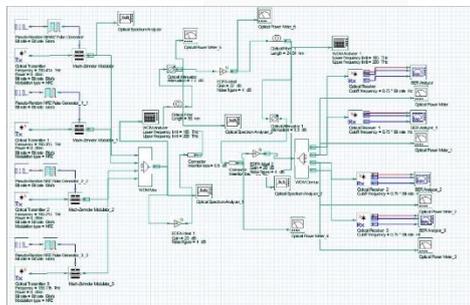
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem *Four Wave Mixing* (FWM). Diagram blok sistem terbagi menjadi tiga yaitu blok pengirim, blok transmisi, dan blok penerima. Blok pengirim terdiri dari sumber optik dan multiplexer, blok transmisi terdiri dari serat optik dan EDFA. Dan blok penerima terdiri dari demultiplexer dan detektor optik. Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan simulasi terhadap terjadinya efek non-linearitas jenis *Four Wave Mixing* (FWM) pada jaringan *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dengan menggunakan software simulator.



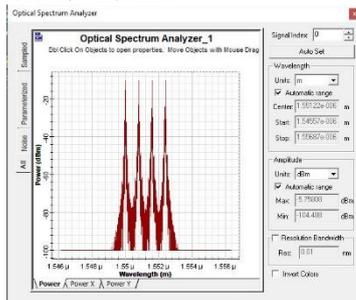
Gambar 1. Blok diagram sistem.

Skenario dilakukan dengan merubah-ubah variabel pada bitrate link. Pada penelitian ini akan digunakan *bitrate* 10, 12, 15 Gbps yang sesuai dengan spesifikasi perangkat. Terdapat 2 jarak yang digunakan pada penelitian ini yaitu jarak terpendek antar *Point of Presence* (PoP) dari PoP Mempawah hingga PoP Pontianak sebesar 69,2 km dengan serat optik sepanjang 74,04 km dan jarak terjauh antar PoP yaitu dari PoP Nagaboelik hingga PoP Sampit sebesar 269 km dengan serat optik sepanjang 287,83 km.



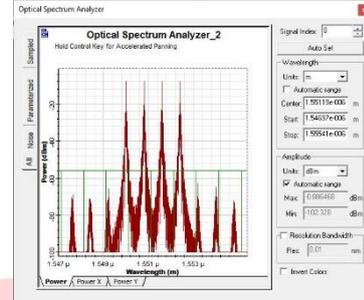
Gambar 2. Topologi jaringan.

Gambar 2 merupakan gambar topologi jaringan komunikasi DWDM yang digunakan pada penelitian ini. Ditunjukkan pada gambar bahwa penelitian ini menggunakan 4 kanal. Terdiri dari serat optik dengan panjang total 74,04 km, dan terdapat penguat berupa EDFA ideal dengan *range gain* sebesar 20 - 25 dB.



Gambar 3. Spektrum sinyal keluaran *multiplexer*

Gambar 3 menunjukkan hasil spektrum sinyal yang dikeluarkan oleh perangkat *multiplexer* yang selanjutnya akan ditransmisikan jadi satu serat optik.



Gambar 4. Spektrum sinyal akhir.

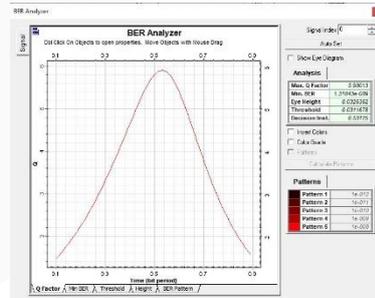
Gambar 4 merupakan hasil keluaran dari Optical Spectrum Analyzer 2 yang terletak sebelum perangkat *demultiplexer*. Menunjukkan terdapat beberapa panjang gelombang baru dengan salah satu nilainya sebesar 1549,2 nm yang menyerupai panjang gelombang sebenarnya yang berakibat menurunnya performansi jaringan tersebut. Panjang gelombang baru tersebut dapat dicari dengan cara sebagai berikut

$$\lambda_3 = 2 \cdot \lambda_1 - \lambda_2$$

$$\lambda_3 = 2(1550) - 1550,8$$

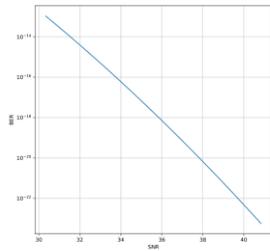
$$\lambda_3 = 3100 - 1550,8$$

$$\lambda_3 = 1549,2 \text{ nm}$$



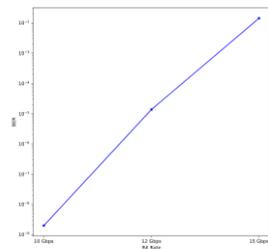
Gambar 5. BER Analyzer1 jarak terpendek *bitrate* 10 Gbps spasi kanal 0,8 nm.

Gambar 5 menunjukkan hasil dari BER Analyzer yang terdapat pada *software* di kanal pertama pada panjang serat optik 74,04 km. Dari grafik diatas dihasilkan nilai minimum BER  $1,318 \times 10^{-9}$  dan nilai Q-factor sebesar 5,90. Yang artinya performansi pada kanal pertama ini sudah baik.



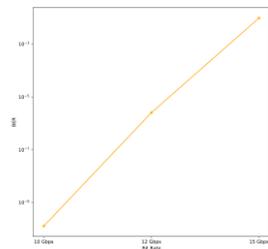
Gambar 6. Perbandingan SNR dan BER jarak terpanjang bitrate 10 Gbps.

Gambar 6 merupakan contoh hasil grafik dari perhitungan manual yang menjelaskan mengenai performansi BER terhadap SNR yang dihasilkan pada panjang serat optik 287,83 km pada kanal pertama. Dari grafik tersebut menunjukkan juga bahwa performa BER berbanding lurus dengan hasil SNR. Semakin baik nilai SNR maka nilai BER juga akan lebih baik. Sesuai grafik diatas pada kanal pertama ini dihasilkan nilai BER  $1,060 \times 10^{-13}$  dan nilai Q-factor sebesar 7,58.



Gambar 7. BER terhadap *bitrate* jarak terpendek.

Gambar 7 menunjukkan hasil skenario yang dilakukan pada panjang serat 74,04 km dan hasil yang didapatkan semakin besar nilai *bitrate* maka nilai BER yang didapatkan juga akan semakin besar.



Gambar 8. BER terhadap *bitrate* jarak terpanjang

Gambar 8 menunjukkan hasil grafik yang hampir sama dengan ujicoba dengan jarak terpendek. Pada grafik tersebut menunjukkan semakin besar nilai *bitrate* yang digunakan maka performansi jaringan yang dihasilkan akan menurun juga. Akan tetapi yang menjadi perbedaan antara Gambar 9 dengan Gambar 10 terdapat pada nilai BER yang dihasilkan. Pada panjang serat optik 74,04 km didapatkan hasil

nilai BER yang lebih besar dibandingkan panjang serat optik 287,83 km. Dikarenakan pada panjang serat 287,83 km terdapat banyak penguat yang menjadikan jaringan tersebut mempunyai daya yang bagus hingga *receiver*.

#### IV. KESIMPULAN

1. Pada skenario 1 dengan menggunakan *bitrate* 10 Gbps, pada kanal pertama menghasilkan nilai terbaik ketika pada jarak 269 km atau panjang serat optik sebesar 287,83 km dan spasi kanal 1 nm *Q-factor* sebesar 6,61 dan nilai BER sebesar  $1,448 \times 10^{-11}$ .
2. Penggunaan *bitrate* 12 Gbps pada skenario 2, mendapatkan nilai BER terbaik ketika panjang serat optik 287,83 km dengan spasi kanal 1 nm sebesar  $1,470 \times 10^{-06}$  dan nilai *Q-factor* sebesar 4,80.
3. Skenario 3 dengan penggunaan *bitrate* 15 Gbps mendapatkan hasil nilai BER terbaik ketika panjang serat optik 287,83 km dan spasi kanal sebesar 1 nm yaitu sebesar  $6,243 \times 10^{-04}$  dan nilai kualitas faktor sebesar 3,09.
4. Berdasarkan ketiga skenario simulasi, penggunaan *bitrate* 10 Gbps mendapatkan hasil lebih baik dari simulasi ketika menggunakan *bitrate* 12 Gbps dan 15 Gbps.
5. Hasil keseluruhan skenario, menunjukkan bahwa selain dikarenakan terjadi efek non-linear penggunaan *bitrate* yang besar dapat menjadikan salah satu faktor performansi jaringan DWDM itu tidak maksimum, dikarenakan dengan semakin besar *bitrate* yang digunakan maka akan semakin besar dispersi yang akan diterima oleh *receiver* yang mengakibatkan nilai *Q-factor* dan maka akan semakin besar dispersi yang akan diterima oleh receiver yang mengakibatkan nilai *Q-factor* dan BER semakin buruk.

#### REFERENSI

- [1] R. Firnadya, A. Hambali, and A. D. Pambudi, "Analisis efek non linieritas fiber pada link sistem komunikasi serat optik," *eProceedings of Engineering*, vol. 2, no. 2, 2015
- [2] U. Riyadi, F. Khair, and D. Zulherman, "Analisis 1.28 tbps dense wavelength division multiplexing (dwdm) menggunakan modulasi eksternal dan deteksi langsung," ISBN: 978-602-60280-1-3 2017.
- [3] Y. Yamato and E. Wismiana, "Teknologi dense wavelength division multiplexing (dwdm) pada jaringan optik," *Jurnal Teknik—*

*Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, vol. 14, no. 2, 2013.

- [4] D. M. Spirit, M. J. O'Mahony, and M. O'Mahony, *High capacity optical transmission explained*. John Wiley & Son Limited, 1995, vol. 5.
- [5] T. Mustika, A. Hambali, and M. I. Maulana, "Analisis performansi pengaruh non linearitas four wave mixing (fwm) pada sistem komunikasi jarak jauh berbasis dwdm," *eProceedings of Engineering*, vol. 6, no. 2, 2019.
- [6] D. Zulherman, F. Fahmi, S. Utami, T. H. Santoso, and S. A. Nugroho, "Comparative analysis of erbium doped fiber amplifier (edfa) and raman optical amplifier (roa) in nonlinear-cwdm system," *JURNAL INFOTEL*, vol. 10, no. 3, pp. 144–148, 2018.
- [7] G. P. Agrawal, *Fiber-optic communication systems*. John Wiley & Sons, 2012.

