

ANALISIS EFEK NON LINIERITAS FIBER PADA LINK SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK

ANALYSIS OF NON-LINIERITY EFFECT ON FIBER FOR OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEM LINK

Ajeng Rahmaningtyas Firnadya¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T.², Afief Dias Pambudi, S.T., M.T.³

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

¹fajengrahmaningtyas@yahoo.com, ²bphambali@gmail.com, ³afiefdiaspambudi@gmail.com

Abstrak

Perkembangan Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) terus mengalami kemajuan dari tahun ke tahun. Salah satu teknologi yang berkembang sangat pesat adalah teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) yang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan teknologi terdahulu. Namun, dibalik kelebihannya DWDM memiliki salah satu kekurangan yaitu efek non linieritas *Four Wave Mixing* (FWM).

Pada penelitian ini, dibuat pemodelan sistem link DWDM pada *software* OptiSystem untuk mengetahui pengaruh FWM tersebut. Terdapat 3 skenario dalam pemodelannya. Skenario pertama, variabel yang diubah adalah *bitrate* link dan jarak link. Pada skenario kedua, variabel yang diubah adalah spasi kanal. Dan pada skenario ketiga, variabel yang diubah adalah daya *transmitter*.

Hasil simulasi yang telah dilakukan yaitu bahwa efek FWM sangat mempengaruhi performansi link DWDM karena hasil *Q - Factor* dari semua simulasi tidak lebih dari 6. Pada simulasi 10 Gbps, performansi terbaik memiliki *Q - Factor* sebesar 5.3466725, dan performansi terburuk memiliki *Q - Factor* sebesar 1.6111125, namun bisa diperbaiki sehingga *Q - Factor* meningkat menjadi 2.50623. Pada simulasi 40 Gbps, performansi terbaik memiliki *Q - Factor* sebesar 2.96011, dan performansi terburuk memiliki *Q - Factor* sebesar 1.8404325, namun bisa diperbaiki sehingga *Q - Factor* meningkat menjadi 3.748735. Pada simulasi 100 Gbps, performansi terbaik memiliki *Q - Factor* sebesar 2.9551125, dan performansi terburuk memiliki *Q - Factor* sebesar 2.196375, namun bisa diperbaiki sehingga *Q - Factor* meningkat menjadi 2.7596375.

Kata kunci : *Dense Wavelength Division Multiplexing, Four Wave Mixing, Q - Factor.*

Abstract

The development of the Optical Fiber Communication Fiber Systems continued to progress from year to year. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) is one of technology which grows so fast also has several advantages over previous technology. But, besides the advantages of DWDM, there are deficiencies such as Four Wave Mising (FWM).

In this final assigment, there is a modelin of DWDM link was made from optiSystem software that use to determine the effect of the FWM. There are 3 simulation scenario. In first scenario, the variable that are change is the bitrate link and the link distance. The second scenario, the vaiable that is changed is channel spasing. And third scenario, the variable that is changed is the transmitter power.

The results of the simulation that the non-linear effect of Four Wave Mixing made very bad impact on the performance of DWDM links, because all the Q - Factor of all the simulation has a value less than 6. In simulation with a bitrate of 10 Gbps, The best performance has Q - factor = 5.3466725, and the worst performance has Q - factor = 1.6111125, but can be repaired so that the Q - Factor increased to 2.50623. In simulations with a bitrate of 40 Gbps, the best performance has a Q - Factor = 2.96011, and the worst performance has Q - factor = 1.8404325, but can be repaired so that the Q - Factor increased to 3.748735. And on simulations with a bitrate of 100 Gbps, the best performance has a Q - factor = 2.9551125, and the worst performance has Q - factor = 2.196375, but it could be improved so that the Q - Factor increased to 2.7596375.

Keywords: *Dense Wavelength Division Multiplexing, Four Wave Mixing, Q - Factor.*

1. Pendahuluan

Dibalik semua kelebihan yang dimiliki oleh *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM), terdapat juga beberapa kekurangan yang sangat mempengaruhi performansi DWDM, salah satunya adalah *Four Wave Mixing* (FWM). Simulasi pada penelitian ini dibuat untuk mengetahui pengaruh dari FWM terhadap performansi link DWDM, dengan cara merubah variabel - variabelnya disetiap simulasi. Variabel - variabel yang diubah adalah *bitrate* link, jarak link, spasi kanal, dan daya *transmitter*.

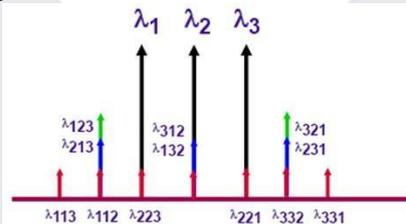
2. Dasar Teori

2.1 Efek Non Linieritas Fiber

Efek non linier pada optik terjadi ketika indeks bias dalam medium serat optik berinteraksi dengan intensitas berkas cahaya. Perubahan pada indeks bias refraktif yang berbanding lurus dengan perubahan intensitas cahaya menyebabkan adanya modulasi sinyal pada fasa. Modulasi fasa juga diakibatkan adanya perubahan pada indeks bias refraktif dimana panjang gelombang merupakan propagasi cahaya sejauh panjang serat. Dalam jumlah intensitas cahaya yang lebih banyak, efek non linieritas fiber terwujud dalam fenomena *Four-Wave Mixing* (FWM) dimana fenomena tersebut menyebabkan jumlah sinyal yang ditransmisikan lebih banyak daripada jumlah sinyal yang seharusnya^[11].

2.2 Four Wave Mixing

Four wave mixing adalah 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. Sinyal tersebut muncul akibat indeks bias non linear dan menyebabkan termodulasinya sinyal baru yang mempunyai nilai spektrum frekuensi yang hampir sama dengan frekuensi informasi^[6]. Umumnya FWM terjadi jika ada tiga pulsa cahaya yang mempunyai panjang gelombang berbeda dan ditransmisikan melalui satu serat optik. Maka panjang gelombang tersebut akan berinteraksi dan membangkitkan pulsa baru.



Gambar 1 Spektrum frekuensi akibat FWM^[5]

Bisa diperhatikan pada persamaan (2.1) jika K adalah banyak *crossing product* dan N adalah banyaknya input panjang gelombang, maka persamaan (2.1) bisa dituliskan^[8]:

$$- \quad (2.1)$$

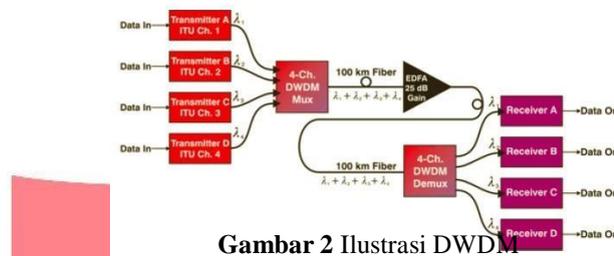
FWM menghasilkan terbatasnya performansi dari semua jaringan optik DWDM. Jumlah dari FWM akan meningkat sebanding dengan peningkatan pada jumlah lamda yang semakin banyak. Jika FWM ini terjadi maka akan muncul panjang gelombang yang akan mengganggu sinyal informasi serta mengganggu nilai akurasi dari *receiver* dan menyebabkan tingginya nilai *Bit Error Rate*^[6].

2.3 Laser

Sumber optik terbagi menjadi dua jenis yaitu LED dan laser. Dalam penelitian ini digunakan laser atau *light amplification by stimulated emission of radiation* sebagai sumber optik. Media lasing bisa berasal dari gas, cairan, padat atau semikonduktor. Untuk sistem fiber optik, secara eksklusif menggunakan sumber laser yang berasal dari bahan semikonduktor (dioda laser semikonduktor) yang mana memiliki pancaran cahaya yang *coherent* (fasa dan periode) sehingga menyebabkan pancaran optik (cahaya) nya sangat *monochromatis* dan sangat terarah^[9].

2.4 Dense Wavelength Division Multiplexing

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses multiplexing seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat optik. Teknologi DWDM beroperasi dalam sinyal dan domain optik memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan. Setiap kanal dalam DWDM dibedakan dengan menggunakan prinsip perbedaan panjang gelombang yang dikirimkan oleh sumber informasi.



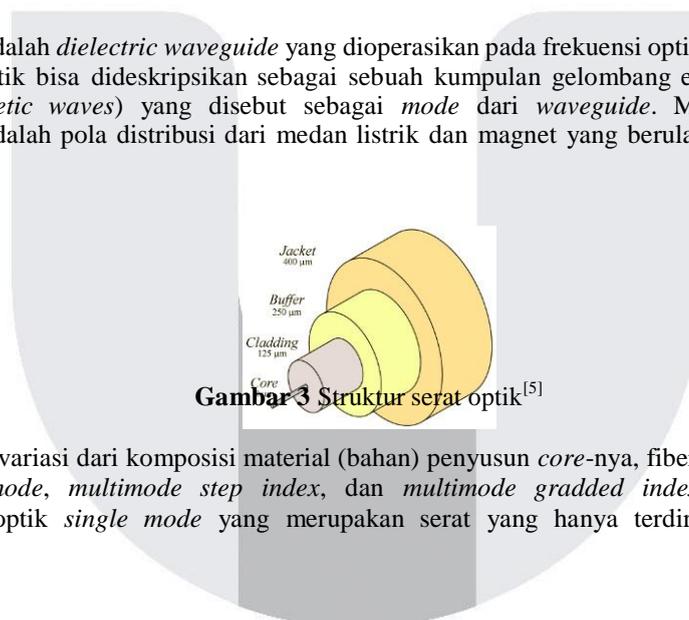
Gambar 2 Ilustrasi DWDM

DWDM terminal multiplexer terdiri dari *transponder converting wavelength* untuk setiap signal panjang gelombang tertentu yang akan dibawa. *Transponder converting wavelength* menerima sinyal input optik dan mengubah sinyal tersebut menjadi sinyal optik dan mengirimkan kembali sinyal tersebut menggunakan pita laser 1550 nm^[5].

DWDM terminal demultiplexer ini kebalikan dari DWDM terminal multiplexer. Terminal ini mengubah sinyal dengan banyak panjang gelombang dari 1 serat optik menjadi sinyal dengan hanya 1 panjang gelombang dan mengeluarkannya ke dalam beberapa fiber yang berbeda untuk masing-masing *client* untuk dideteksi.

2.5 Serat Optik

Serat optik adalah *dielectric waveguide* yang dioperasikan pada frekuensi optik 10^{14} - 10^{15} Hz. Perambatan cahaya pada serat optik bisa dideskripsikan sebagai sebuah kumpulan gelombang elektromagnetik terbimbing (*guided electromagnetic waves*) yang disebut sebagai *mode* dari *waveguide*. Masing-masing mode yang terbimbing tersebut adalah pola distribusi dari medan listrik dan magnet yang berulang sepanjang fiber dengan interval yang sama^[5].

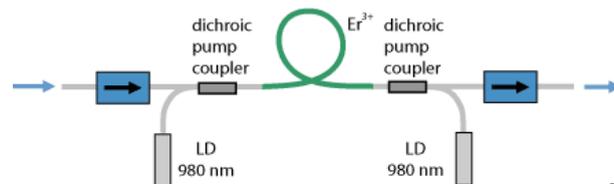


Gambar 3 Struktur serat optik^[5]

Berdasarkan variasi dari komposisi material (bahan) penyusun *core*-nya, fiber optik dibagi menjadi tiga, yaitu serat *single mode*, *multimode step index*, dan *multimode graded index*. Namun, penelitian ini menggunakan serat optik *single mode* yang merupakan serat yang hanya terdiri dari satu mode selama propagasinya.

2.6 EDFA

Erbium-doped Fiber Amplifiers atau yang disingkat EDFA adalah perangkat yang memperkuat sinyal optik. 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^[4].



Gambar 4 Skema penguatan optik menggunakan EDFA^[7]

EDFA terbagi atas 3 jenis, yaitu *Power (Booster) Amplifier*, *In-Line Amplifier*, dan *Pre-Amplifier*. *Booster Amplifier* digunakan untuk meningkatkan daya sinyal yang keluar dari *transmitter* dan diletakkan setelah *multiplexer*, *In-Line Amplifier* digunakan untuk meningkatkan daya sinyal yang sedang bertransmisi di dalam serat optik dan diletakkan pada serat optik, sedangkan *Pre-Amplifier* digunakan untuk meningkatkan daya sinyal yang akan masuk ke *demultiplexer* yang selanjutnya akan dideteksi oleh *photodetector*.

2.7 Photodetector APD

Dalam penelitian ini digunakan *photodetector* APD sebagai detektor optik. APD secara internal melipat gandakan arus foto sinyal primer sebelum memasuki sirkuit penguat sehingga meningkatkan sensitifitas penerima. Mekanisme pelipatgandaan elektron/hole disebut *impact ionization*. *Carrier* baru yg dibangkitkan juga dipercepat oleh medan listrik kuat, sehingga menguatkan energi untuk *impact ionization* selanjutnya. Fenomena tersebut disebut efek *avalanche*^[5].

2.8 Bit Error Rate (BER) dan Q-Factor

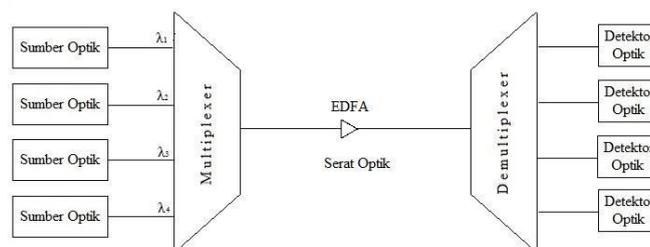
Bit Error Rate adalah laju kesalahan bit yang terjadi dalam sistem transmisi digital, dimana besaran ini merupakan ukuran kualitas sinyal dalam sistem komunikasi digital. Misalnya untuk komunikasi voice maksimal BER 10^{-3} , artinya dalam 1000 bit sinyal yang dikirimkan maka maksimum jumlah bit yang boleh salah adalah 3 bit. Sedangkan untuk teknologi komunikasi data maksimum BER nya adalah 10^{-9} ^[2].

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].

3. Perancangan dan Simulasi Sistem

3.1 Blok Diagram Sistem

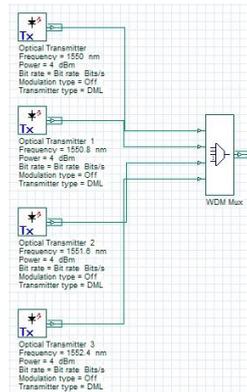
Gambaran diagram blok sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada diagram berikut ini:



Gambar 5 Diagram blok sistem

Dalam penelitian ini, akan dilakukan simulasi dan analisis terjadinya *Four Wave Mixing* pada platform Optisystem dengan diagram blok sistem seperti pada gambar 7. 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.

3.1.1 Blok Pengirim



Gambar 6 Blok Pengirim

Sesuai dengan gambar 8, blok pengirim pada penelitian ini terdiri dari laser sebagai sumber optik, dan DWDM sebagai *multiplexer*.

3.1.1 Laser

Laser digunakan didalam penelitian ini karena jarak yang jauh antara pengirim dan penerima. Terdapat 4 macam jarak yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Bandung - Jakarta yang berjarak 151 km, Bandung - Semarang yang berjarak 374 km, Bandung - Yogyakarta yang berjarak 396 km, Bandung - Surabaya yang berjarak 685 km^[10].

Dalam penelitian ini digunakan beberapa spesifikasi perangkat sumber laser sesuai dengan besarnya *bitrate*, seperti yang tertera di tabel 1.

Tabel 1 Besarnya daya pada *transciever* sesuai spesifikasi perangkat

No	Bitrate	Maximal Power Launch	Minimal Power Launch	Receiver Sensitivity
1	10 Gbps	4 dBm	0 dBm	-24 dBm
2	40 Gbps	3 dBm	0 dBm	-6 dBm
3	100 Gbps	2.9 dBm	-2.5 dBm	-8.8 dBm

Perhitungan daya yang dibutuhkan sesuai dengan jarak antara pengirim dan penerima dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Daya Penerima} = \text{Daya Pengirim} - \text{Total Loss}^{[5]} \tag{3.1}$$

dengan,

$$\text{Total Loss} = (\text{Redaman fiber} \times \text{km}) + (\text{Redaman splice} \times \text{jumlah splice}) + (\text{Redaman konektor} \times \text{jumlah konektor}) + (\text{safety margin})^{[1]} \tag{3.2}$$

Dengan asumsi rugi - rugi serat optik sebesar 0,2 dB/km karena penggunaan panjang gelombang antara 1500 - 1600 nm, rugi - rugi *connector* sebesar 0,2 dB, rugi - rugi *splicer* sebesar 0,1 dB, dan *safety margin* sebesar 6 dB^[1].

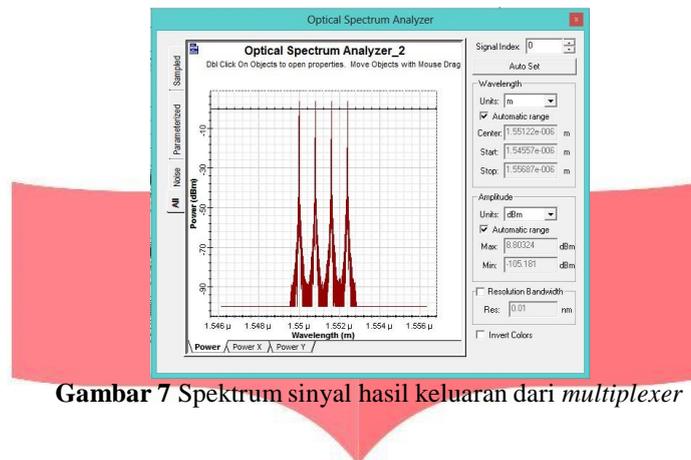
Pada skenario pertama, panjang gelombang laser yang digunakan sebanyak 4 buah panjang gelombang yaitu 1550 nm, 1550.8 nm, 1551.6 nm, dan 1552.4 nm, dengan masing masing spasi kanal sebesar 0.8 nm. Spasi kanal yang digunakan pada skenario kedua adalah 0.2 nm, 0.4 nm, 0.8 nm, dan 1.6 nm.

Tabel 2 Panjang gelombang laser yang digunakan pada skenario kedua

Spasi Kanal	Panjang Gelombang			
0.2 nm	1550 nm	1550.2 nm	1550.4 nm	1550.6 nm
0.4 nm	1550 nm	1550.4 nm	1550.8 nm	1551.2 nm
0.8 nm	1550 nm	1550.8 nm	1551.6 nm	1552.4 nm
1.6 nm	1550 nm	1551.6 nm	1553.2 nm	1554.8 nm

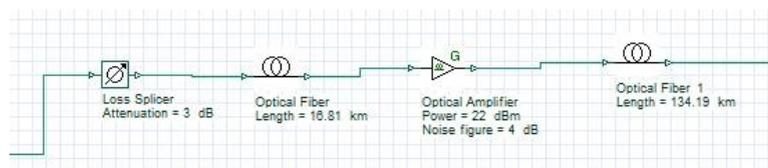
3.1.1.2 Multiplexer DWDM

Multiplexer yang digunakan adalah DWDM atau *Dense Wavelength Division Multiplexing*. Penggunaan DWDM ini dikarenakan perangkat ini memiliki kemampuan untuk mengirimkan panjang gelombang dalam jumlah yang banyak dan untuk jarak yang jauh serta mampu mentransmisikan semuanya ke dalam 1 fiber saja, sehingga penggunaan DWDM ini merupakan pilihan yang tepat untuk penelitian ini. Gambar 9 menunjukkan spektrum sinyal yang dihasilkan oleh *multiplexer* setelah keempat panjang gelombang melewati perangkat *multiplexer*.



Gambar 7 Spektrum sinyal hasil keluaran dari *multiplexer*

3.1.2 Blok Transmisi

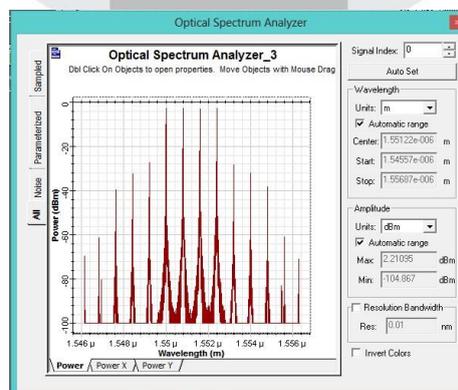


Gambar 10 Blok transmisi

Sesuai dengan gambar10, blok serat dalam penelitian ini terdiri dari serat optik sebagai media transmisi dan EDFA sebagai penguat optik.

3.1.2.1 Serat Optik

Serat optik sebagai media transmisi berfungsi untuk merambatkan cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Serat optik yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat optik *single mode* karena serat ini cocok untuk panjang gelombang antara 1530 nm dan 1570 nm (*C Band*), sesuai dengan panjang gelombang yang dipancarkan laser pada penelitian ini yaitu 1550 - 1554.8 nm. Selain itu, pada penelitian ini digunakan serat optik yang memiliki indeks bias non-linear (n_2) sebesar $n_2=2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ yang dibangkitkan pada serat agar mendapatkan efek non linieritas pada fiber yang disimulasikan, seperti pada gambar 11.



Gambar 8 Spektrum sinyal dengan indeks bias non linear

Selain itu, dalam penelitian ini akan digunakan *splicer* yang berfungsi untuk menyambung serat. Jarak Bandung - Jakarta akan menggunakan 30 buah *splicer* setiap 5 km, jarak Bandung - Semarang akan menggunakan 74 buah *splicer* setiap 5 km, jarak Bandung - Yogyakarta akan menggunakan 79 buah *splicer* setiap 5 km, dan jarak Bandung - Surabaya akan menggunakan 136 buah *splicer* setiap 5 km.

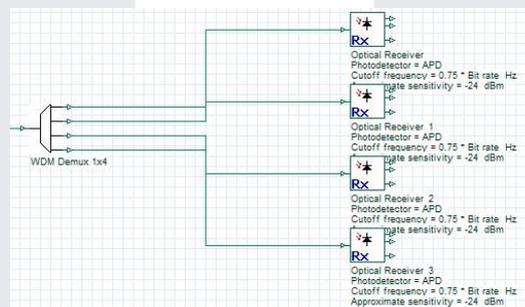
3.1.2.2 EDFA

EDFA atau *Erbium-doped Fiber Amplifiers* digunakan dalam penelitian ini sebagai penguat optik. Penguat optik dibutuhkan karena daya yang dikirimkan dari *transmitter* akan semakin melemah seiring dengan jauhnya jarak transmisi. Sesuai dengan rumus perhitungan daya yang telah dijelaskan sebelumnya, titik-titik pelemahan daya dapat dihitung sehingga dapat diketahui dimana saja EDFA dapat dipasang sesuai dengan perhitungan tersebut. Titik-titik yang akan dipasang EDFA ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Letak EDFA pada link DWDM

Bitrate	Jarak Transmisi	Jenis EDFA	
		Booster	In-Line (jarak antar EDFA in-line sebesar 71.36 KM)
10 Gbps	151 km	Terletak pada KM 16.81	-
	374 km		4 buah
	396 km		4 buah
	685 km		8 buah
40 Gbps	151 km	Terletak pada KM 12.27	2 buah
	374 km		5 buah
	396 km		5 buah
	685 km		9 buah
100 Gbps	151 km	Terletak pada KM 11.81	2 buah
	374 km		5 buah
	396 km		5 buah
	685 km		9 buah

3.1.3 Blok Penerima



Gambar 9 Blok penerima

Sesuai gambar 12, blok penerima dalam penelitian ini terdiri dari DWDM sebagai *demultiplexer*, dan *Photodetector* APD sebagai detektor optik.

3.1.3.1 Demultiplexer DWDM

Terminal DWDM *demultiplexer* ini merupakan kebalikan dari DWDM *multiplexer* yang sebelumnya telah dijelaskan. *Demultiplexer* diperlukan karena mampu memisahkan panjang gelombang yang terdapat dalam 1 fiber ke dalam fiber yang berbeda - beda, sehingga setelah sinyal melewati *demultiplexer* maka setiap fiber hanya berisi 1 panjang gelombang saja.

3.1.3.2 Photodetector APD

Penggunaan *Photodetector* APD pada penelitian ini sebagai detektor optik. Detektor optik berfungsi untuk menerima cahaya yang telah ditransmisikan dan merubahnya kembali dari sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. Dalam penelitian ini digunakan perangkat yang sama dengan perangkat sumber optik karena SFP

merupakan perangkat *transcievers (transmitter-receiver)* yang memiliki sensitivitas detektor sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Sensitivitas penerima sesuai spesifikasi perangkat

No	Bitrate	Receiver Sensitivity
1	10 Gbps	-24 dBm
2	40 Gbps	-6 dBm
3	100 Gbps	-8.8 dBm

3.2 Skenario Penelitian

3.2.1 Pemodelan Diagram Blok Sistem

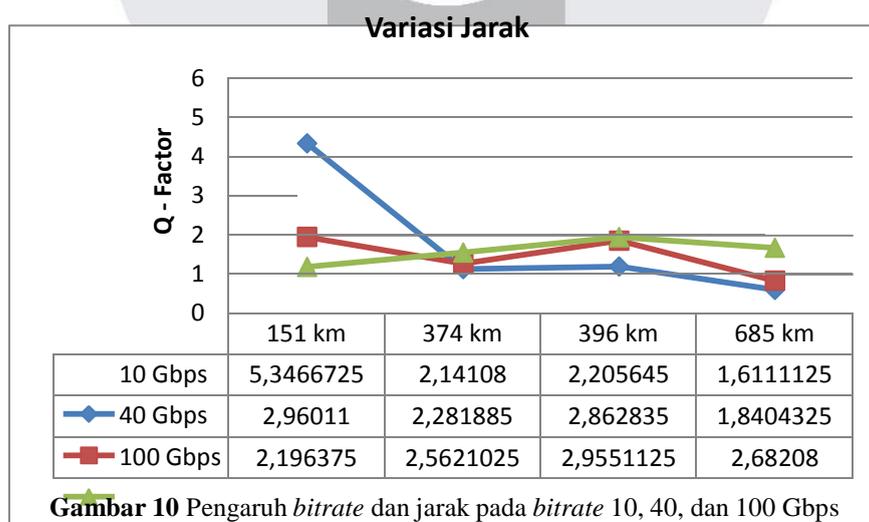
Berdasarkan diagram blok sistem, pada penelitian ini dibuat pemodelan sistem pada *software* OptiSystem menyerupai diagram blok sistem yang telah dijelaskan diatas. Sesuai dengan diagram blok sistem, pemodelan ini terdiri dari sumber optik, DWDM *Multiplexer*, serat optik, EDFA, DWDM *Demultiplexer*, dan detektor optik. Dimana variabel input yang berubah-ubah adalah *bitrate* link, jarak link, spasi kanal, dan daya pengiriman sinyal.

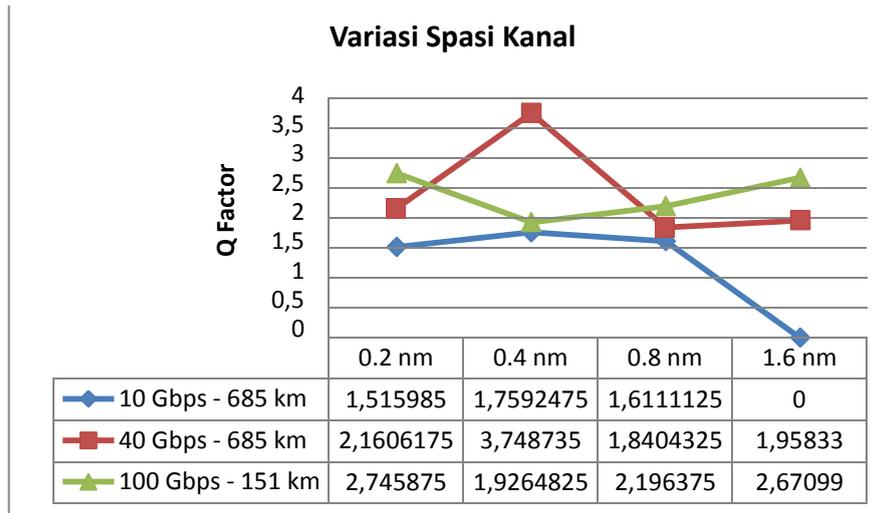
3.2.2 Merubah Variabel Input

Pada skenario pertama, variabel - variabel input yang berubah - ubah adalah *bitrate* link dan jarak link. Pada skenario kedua, link yang memiliki *Bit Error Rate* terbesar atau Q-Factor terkecil dari hasil simulasi pada skenario pertama akan diambil dan diubah lagi salah satu variabelnya. Pada skenario kedua ini, variabel yang diubah adalah spasi kanalnya. Selanjutnya pada skenario ketiga, link yang memiliki *Bit Error Rate* terkecil atau Q-Factor terbesar dari hasil simulasi pada skenario kedua akan diambil dan diubah lagi salah satu variabelnya. Pada skenario ketiga ini, variabel yang akan diubah adalah daya pengiriman yang digunakan pada *transmitter*.

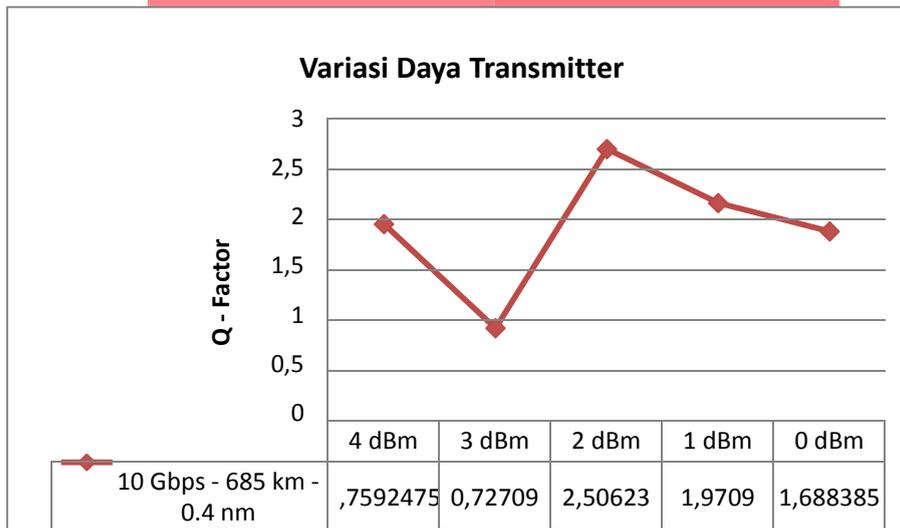
3.2.3 Analisa Hasil Perubahan

Setelah dilakukan pemodelan sistem dan merubah variabel-variabel input, maka akan menghasilkan hasil akhir yang berbeda-beda pula. Hasil akhir yang beragam ini akan dianalisa dan membuktikan bahwa variabel-variabel input tersebut berpengaruh pada fenomena *Four Wave Mixing* yang merupakan efek non linieritas fiber sesuai dengan penjelasan landasan teori pada BAB II. Selanjutnya, setelah hasil ini dianalisa maka dibuat kesimpulan dari analisis non linieritas fiber pada link sistem komunikasi serat optik. Hasil dari simulasi link DWDM yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

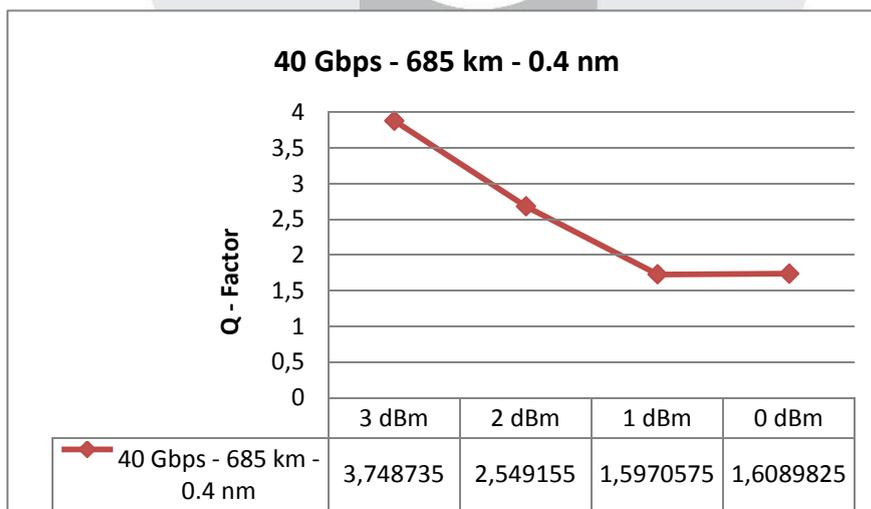




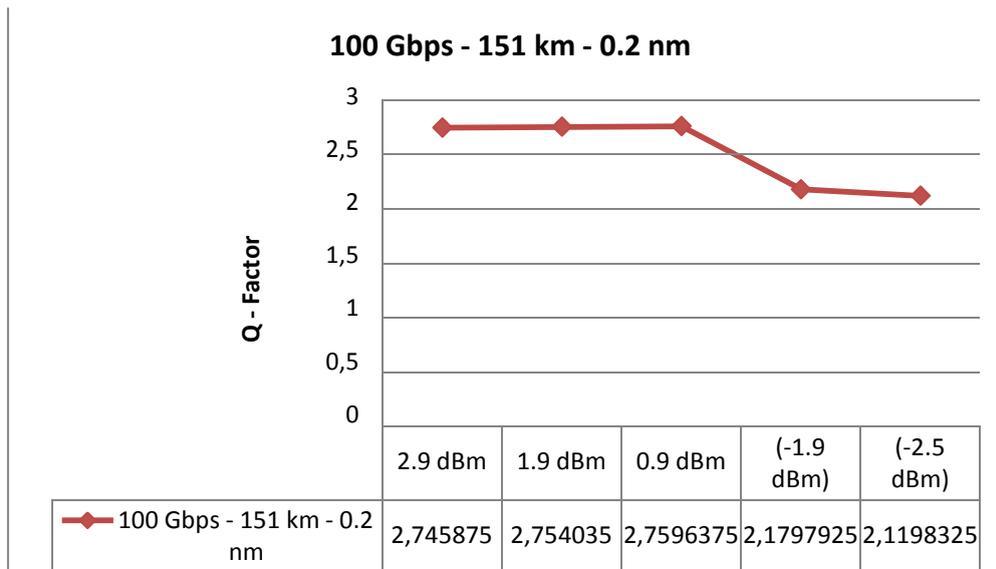
Gambar 11 Pengaruh spasi kanal pada *bitrate* 10, 40, dan 100 Gbps



Gambar 12 Pengaruh daya *transmitter* pada *bitrate* 10 Gbps, jarak 685 km, dan spasi kanal 0.4 nm



Gambar 13 Pengaruh daya *transmitter* pada *bitrate* 40 Gbps, jarak 685 km, dan spasi kanal 0.4 nm



Gambar 14 Pengaruh daya transmitter pada *bitrate* 100 Gbps, jarak 151 km, dan spasi kanal 0.2 nm

Dapat dilihat dari kelima gambar grafik di atas bahwa performansi terburuk pada skenario pertama yaitu simulasi dengan variasi *bitrate* dapat diperbaiki *Q-Factor*nya dengan merubah besarnya spasi kanal pada skenario kedua dan besarnya daya pada transmitter pada skenario ketiga. Namun, dari semua hasil simulasi yang didapat, semua nilai performansi link DWDM tidak cukup bagus untuk parameter performansi link DWDM, karena performansi link DWDM yang bagus adalah link yang memiliki *Q-Factor* lebih dari sama dengan 6. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh dari efek non linieritas fiber yaitu *Four Wave Mixing* (FWM).

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada perangkat lunak Optisystem dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- Efek non linear *Four Wave Mixing* membawa dampak yang sangat buruk terhadap performansi link DWDM, terlihat dari semua *Q-Factor* pada semua simulasi memiliki nilai yang kurang dari 6.
- Variasi jarak dan variasi *bitrate* pada simulasi skenario pertama, terbukti sangat mempengaruhi performansi link DWDM, terlihat dari hasil *Q-Factor* yang berbeda-beda pada setiap *bitrate* dan jarak.
- Hasil buruk dari simulasi dengan variasi jarak dan variasi *bitrate* pada skenario pertama dapat diperbaiki dengan melakukan skenario kedua yaitu variasi spasi kanal, dan skenario ketiga yaitu variasi daya transmitter.
- Pada *bitrate* 10 Gbps, performansi terbaik adalah pada jarak 151 km dengan *Q-Factor* sebesar 5.3466725, dan performansi terburuk adalah pada jarak 685 km dengan *Q-Factor* sebesar 1.6111125.
- Pada *bitrate* 40 Gbps, performansi terbaik adalah pada jarak 151 km dengan *Q-Factor* sebesar 2.96011, dan performansi terburuk adalah pada jarak 685 km dengan *Q-Factor* sebesar 1.8404325.
- Pada *bitrate* 100 Gbps, performansi terbaik adalah pada jarak 396 km dengan *Q-Factor* sebesar 2.9551125, dan performansi terburuk adalah pada jarak 151 km dengan *Q-Factor* sebesar 2.196375.
- Q-Factor* yang buruk dari hasil simulasi pada *bitrate* 10 Gbps dan jarak 685 km, dapat diperbaiki dengan merubah spasi kanal menjadi 0.4 nm, dan merubah daya transmitter menjadi 2 dBm, sehingga dapat meningkatkan performansi link dengan *Q-Factor* dari 1.6111125 menjadi 2.50623.
- Q-Factor* yang buruk dari hasil simulasi pada *bitrate* 40 Gbps dan jarak 685 km, dapat diperbaiki dengan merubah spasi kanal menjadi 0.4 nm, dan merubah daya transmitter menjadi 3 dBm, sehingga dapat meningkatkan performansi link dengan *Q-Factor* dari 1.8404325 menjadi 3.748735.
- Q-Factor* yang buruk dari hasil simulasi pada *bitrate* 100 Gbps dan jarak 151 km, dapat diperbaiki dengan merubah spasi kanal menjadi 0.2 nm, dan merubah daya transmitter menjadi 0.9 dBm, sehingga dapat meningkatkan performansi link dengan *Q-Factor* dari 2.196375 menjadi 2.7596375.

Daftar Pustaka

- [1] Baharuddin. (2008), "*Evaluasi Penerapan Penguat Optik EDFA-Raman pada Sistem Komunikasi Fiber Optik*", no. 29 Vol. 2, Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Unand, Padang.
- [2] Firdaus, Ramla., "*Dasar-Dasar Parameter Elektris Radio Access Network (Ran) Dalam Dunia Telekomunikasi*", <http://mandorkawat2009.com> diakses tanggal 27 Maret 2015.
- [3] Gupta, M. C., Ballato, John. (2006), "*The Handbook of Photonics*", Taylor & Francis Group, United States of America.
- [4] Hambali, Akhmad. (2003). "*Analisa Karakteristik Gain Serat Optik Erbium Doperd Amplifier Mode Tunggal*", Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Indonesia.
- [5] Keiser, Gerd (2008), "*Optical Fiber Communications*", Fourth Edition, Tata McGraw-Hill, Singapore.
- [6] Pamukti, Brian (2014), "*Simulasi dan Analisis Efek Non Linier pada Link DWDM dengan Multi Spasi dan Multi Lamda menggunakan Transmisi Pulsa Soliton*", Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung.
- [7] Paschotta, Rüdiger (2010), "*Encyclopedia of Laser Physics and Technology*", Wiley- VCH, New York.
- [8] Rasheed,Iftikhar. (2013). "*Analizing the Non-linear Effects at Various Power Levels and Hannel Counts on Perfomance of DWDM based Optical Fiber Communication System*", The Islamia University of Bahawalpur, Pakistan.
- [9] Sugata, Pikatan, (1991), "*L A S E R*", Kristal no. 4, Fakultas Teknik Universitas Surabaya, Surabaya.
- [10] Tim Penyusun (2009), "*Atlas Nasional Indonesia*", Bakosurtanal, Bogor, Indonesia.
- [11] Wiley, John. (1995). "*High Capacity Optical Transmission Explained*", University of Essex, United Kingdom.

