

FBG (FIBER BRAGG GRATING) UNTUK DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)

Diana Murianti^{*)}, Teguh Prakoso, dan Aghus Sofwan

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: dmurianti25@gmail.com

Abstrak

Pada era modern ini, tuntutan kebutuhan masyarakat akan layanan komunikasi semakin meningkat. Kebutuhan tersebut meliputi layanan *video*, suara dan data. Penambahan kapasitas ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Salah satu perangkat yang digunakan teknologi DWDM yaitu *Optical Add/Drop Multiplexer* (OADM). OADM digunakan untuk melewati sinyal dan melakukan fungsi *add* dan *drop*. Salah satu perangkat yang mendukung untuk membantu kerja dari OADM adalah *Fiber Bragg Grating* (FBG). Tujuan pembuatan Penelitian ini adalah mendapatkan parameter desain FBG yang terbaik untuk jaringan DWDM berdasarkan nilai *crosstalk*, *Q factor*, dan *Bit Error Rate* (BER) guna memperoleh konfigurasi jaringan DWDM yang optimal. Pada Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua *software*. Pertama, menggunakan *software Optisystem 7* untuk memodelkan sistem. Kedua, menggunakan *software Optigrating 4.2.3* untuk verifikasi FBG. Parameter desain FBG yang terbaik yaitu dengan panjang grating 18600 um. Berdasarkan hasil ko-simulasi, nilai rata-rata BER hasil simulasi menggunakan FBG *Optisystem* adalah $1,19 \times 10^{-15}$, sedangkan saat menggunakan FBG *Optigrating* adalah $4,15 \times 10^{-15}$. Nilai rata – rata *Q Factor* hasil simulasi menggunakan FBG *Optisystem* adalah 8,43, sedangkan saat menggunakan FBG *Optigrating* adalah 8,18. Nilai rata – rata *crosstalk* hasil simulasi menggunakan FBG *Optisystem* adalah -39,63 dB, sedangkan saat menggunakan FBG *Optigrating* adalah -39,72 dB.

Kata Kunci : FBG uniform, OADM, DWDM

Abstract

In this modern era, the demands of society's need for communication services are increasing. These requirements include video, voice and data services. The addition of this capacity can be done by Dense Wavelength Division Multiplexing technology. One of the devices used DWDM technology is the Optical Add / Drop Multiplexer (OADM). OADM is used to pass signals and to perform add and drop functions. One of the supporting tools to assist the work of OADM is Fiber Bragg Grating (FBG). The purpose of this Research is to get the best FBG design parameters for DWDM network based on Bit Error Rate (BER), Q factor, and crosstalk values to obtain optimal DWDM network configuration. This Research uses two software. First, Optisystem 7 software is to model the system. Second, Optigrating 4.2.3 software for FBG verification. The best FBG design parameters are the 18600 um grating length. Based on the co-simulation result, the mean value of BER simulation result using FBG Optisystem of 1.19×10^{-15} , while the moment using FBG Optigrating of 4.15×10^{-15} . The mean value of Q Factor simulation result using FBG Optisystem of 8.43, while the moment using FBG Optigrating of 8.18. The average value of crosstalk simulated using FBG Optisystem of -39.63 dB, while the moment using FBG Optigrating of -39.72 dB.

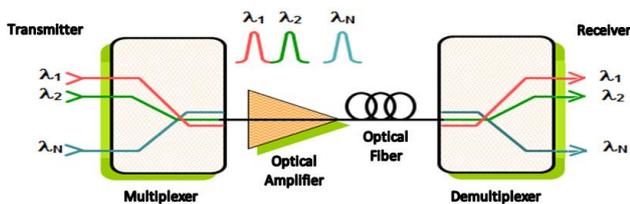
Keywords: FBG uniform, OADM, DWDM

1. Pendahuluan

Pada era modern ini, teknologi informasi dan komunikasi berkembang sangat pesat. Hal ini dikarenakan tuntutan kebutuhan masyarakat akan layanan komunikasi yang semakin meningkat. Masyarakat jaman sekarang tidak hanya membutuhkan layanan suara saja seperti jaman dahulu, namun juga membutuhkan layanan *video* dan data. Selain itu, layanan – layanan tersebut diinginkan bersifat praktis, mudah, dan efisien. Teknologi serat optik

menjadi solusi karena mampu mentransmisikan informasi pada kecepatan giga bit per *second* (Gbps) bahkan mencapai tera bit per *second* (Tbps) sehingga dapat memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam memenuhi kebutuhan kapasitas transmisi pada jaringan. Penambahan kapasitas ini dapat dilakukan dengan menumpangkan beberapa panjang gelombang ke dalam satu serat optik. Teknologi ini disebut dengan *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Skema sederhana sistem DWDM ditunjukkan pada Gambar 1.

Di antara titik *multiplexing* dan *demultiplexing* dalam sistem DWDM merupakan daerah dimana berbagai macam panjang gelombang berada, pada beberapa titik sepanjang span ini sering diinginkan untuk menghilangkan atau menambah dengan satu atau lebih panjang gelombang. *Optical Add/Drop Multiplexer* (OADM) inilah yang digunakan untuk melewati sinyal dan melakukan fungsi *add* dan *drop*. Salah satu perangkat yang mendukung untuk membantu kerja dari OADM adalah *Fiber Bragg Grating* (FBG). FBG merupakan salah satu jenis filter yang indeks biasnya berubah secara periodik, sehingga FBG dapat berfungsi sebagai refleksi dan transmisi,[1].



Gambar 1. Skema Sederhana Sistem DWDM

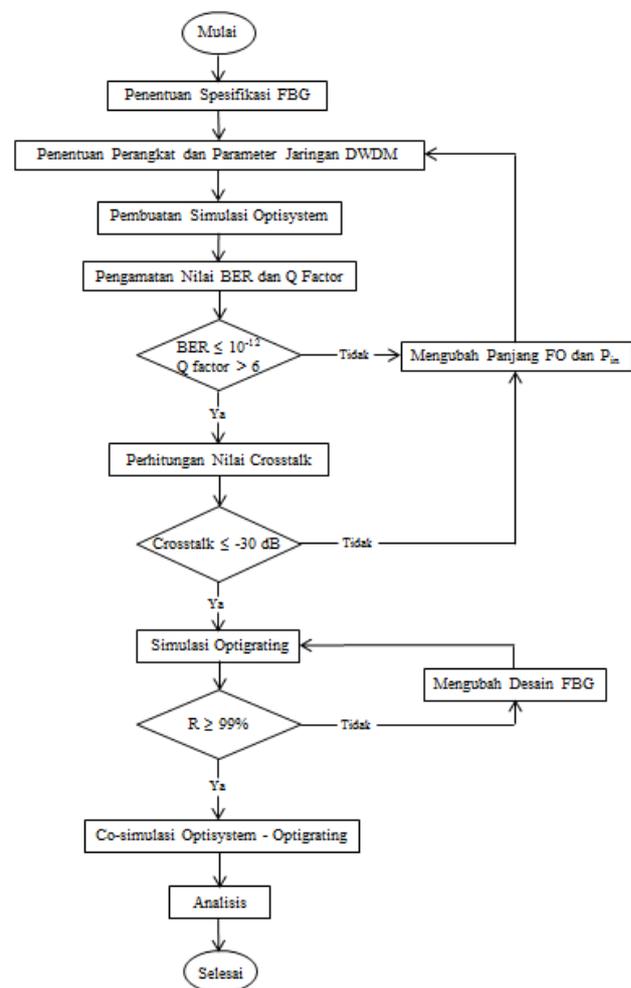
Dari beberapa referensi, telah dilakukan pembahasan mengenai perbandingan kinerja jaringan sistem komunikasi serat optik berdasarkan modulator optik,[2] analisa kinerja jaringan DWDM berdasarkan tipe serat optik,[3] simulasi dan analisa akibat adanya tekanan terhadap FBG sebagai filter optik pada DWDM,[4] simulasi dan analisa OADM menggunakan FBG berteknologi WDM,[5] analisa OADM menggunakan FBG pada DWDM berdasarkan persamaan matematis,[6] dan simulasi OADM untuk *Radio over Fiber* (Rof),[7].

Meskipun dapat dijumpai penelitian mengenai OADM yang diaplikasikan pada sistem DWDM, namun belum dijumpai penelitian yang membandingkan antara empat konfigurasi OADM dengan FBG *uniform* sebagai *dropper* dan diaplikasikan pada sistem DWDM yang telah ditentukan spesifikasinya. Tujuan Penelitian ini adalah mendapatkan parameter desain FBG yang terbaik untuk jaringan DWDM berdasarkan nilai *crosstalk*, *Q factor*, dan *Bit Error Rate* (BER) guna memperoleh konfigurasi jaringan DWDM yang optimal.

2. Metode

Pada Penelitian memiliki 2 tahap dalam melakukan simulasi. Pertama, menggunakan *software Optisystem 7*, dimana *software* ini dapat digunakan untuk memodelkan sistem komunikasi optik yang bersifat nyata dan juga dapat digunakan untuk perancangan jaringan DWDM karena *Optisystem* merupakan *software* yang memungkinkan untuk mendesain, menguji dan mensimulasikan jaringan optik. *Optisystem* dilengkapi dengan GUI (*Graphical User Interface*) antara lain *project layout*, *component list*, model komponen dan

tampilan grafik. Kedua, menggunakan *software Optigrating 4.2.3*, dimana *software* ini dapat digunakan untuk memodelkan perangkat serat optik dan terpadu yang menggabungkan kisi-kisi optik. Biasanya *Optigrating* digunakan perancang untuk mencari informasi yang dibutuhkan untuk pengujian dan mengoptimalkan desain kisi. Untuk itu, *Optigrating* dalam Penelitian ini digunakan untuk verifikasi FBG *uniform* yang bertujuan untuk mencocokkan apakah benar FBG dapat difungsikan sebagai *dropper* di dalam konfigurasi OADM yang diaplikasikan dalam sistem DWDM. Gambar 2 menunjukkan diagram alir Penelitian ini. Diagram alir ini meliputi dari mulai pencarian spesifikasi filter FBG sampai analisa.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

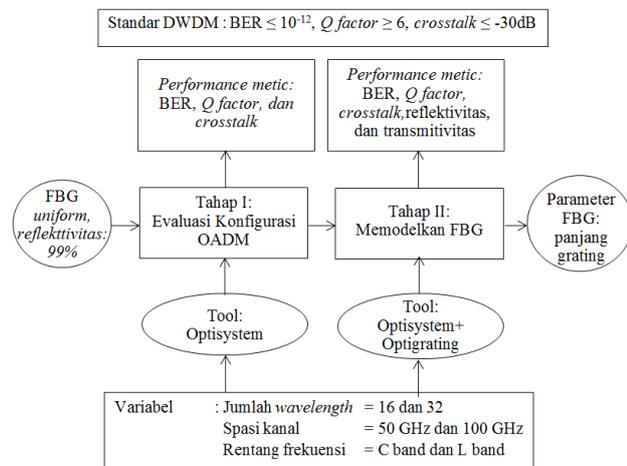
Skenario yang digunakan dalam Penelitian ini diambil dari parameter sistem DWDM. Parameter tersebut terdiri dari jumlah *wavelength*, spasi kanal, rentang frekuensi, dan empat konfigurasi OADM. Tabel 1 menunjukkan skenario sistem yang disimulasikan.

Gambar 3 menunjukkan skema Penelitian ini. Skema terdiri dari spesifikasi DWDM yang diinginkan,

performance metic yang dilihat, tahap pengerjaan Penelitian, spesifikasi dan parameter FBG yang digunakan, software yang digunakan, serta variabel yang diubah-ubah.

Tabel 1. Skenario sistem yang disimulasikan beserta pengelompokkannya

Kelompok Skenario	Konfigurasi OADM Ke-	Jumlah Wavelength	Spasi Kanal	Rentang Frekuensi
I	1	16	50 GHz	C Band
	2			
	3			
	4			
II	1	32	50 GHz	
	2			
	3			
	4			
III	1	16	100 GHz	
	2			
	3			
	4			
IV	1	32	100 GHz	
	2			
	3			
	4			
V	1	16	50 GHz	L Band
	2			
	3			
	4			
VI	1	32	50 GHz	
	2			
	3			
	4			
VII	1	16	100 GHz	
	2			
	3			
	4			
VIII	1	32	100 GHz	
	2			
	3			
	4			



Gambar 3. Skema Penelitian

2.1. Spesifikasi FBG

Prinsip kerja FBG yaitu ketika cahaya melalui daerah yang secara periodik berubah-ubah dari indeks refraktif tinggi dan rendah. FBG yang digunakan dalam Penelitian ini adalah FBG jenis *uniform*, dimana filter ini mempunyai kisi yang seragam, sehingga Λ periode *bragg grating*-nya adalah konstan. Adanya *grating* tersebut di dalam *fiber* menyebabkan *fiber bragg grating* merefleksikan panjang gelombang cahaya yang hanya memenuhi kondisi *bragg* dan mentransmisikan semua panjang gelombang yang lain. Input Transmisi Refleksi *Bragg grating* tersebut dibuat di dalam *fiber* optik itu sendiri tanpa merubah bentuk *fiber* dan menjadikannya komponen di dalam *fiber*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4. Persamaan (1) menunjukkan reflektivitas gelombang cahaya yang memenuhi kondisi *bragg*:

$$R_{max} = \tanh^2(k.L) \tag{1}$$

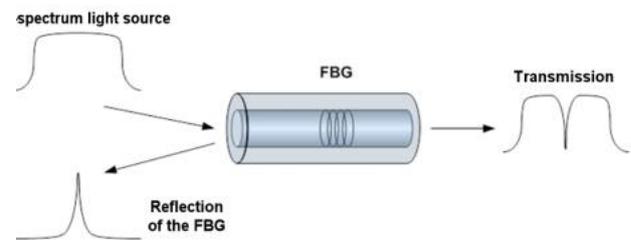
dimana,

k = koefisien kopling

L = panjang grating

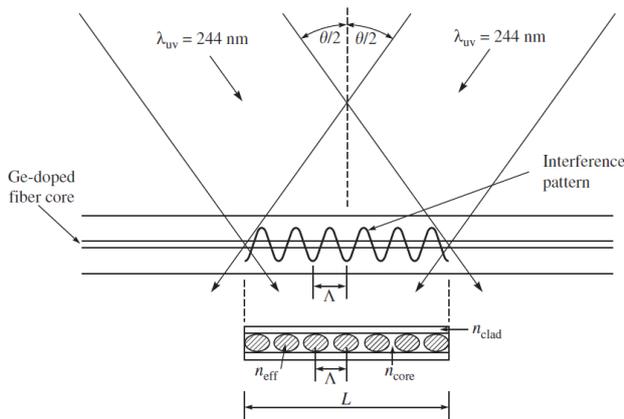
Pada Penelitian ini, λ_{Bragg} yang digunakan yaitu:

1. Untuk C Band dengan spasi kanal 100 GHz adalah 1555,75 nm
2. Untuk C Band dengan spasi kanal 50 GHz adalah 1556,15 nm
3. Untuk L Band dengan spasi kanal 100 GHz adalah 1597,19 nm
4. Untuk L Band dengan spasi kanal 50 GHz adalah 1597,62 nm



Gambar 4. Fiber Bragg Grating

Ada berbagai cara untuk mendapatkan nilai reflektivitas yang diinginkan, salah satunya yang digunakan dalam Penelitian ini yaitu dengan menambah nilai panjang grating. Struktur Fiber Bragg Grating ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Struktur FBG

Tabel 2 menunjukkan spesifikasi FBG yang digunakan dalam simulasi jaringan DWDM dengan *Optisystem*.

Tabel 2. Spesifikasi FBG *Optisystem*

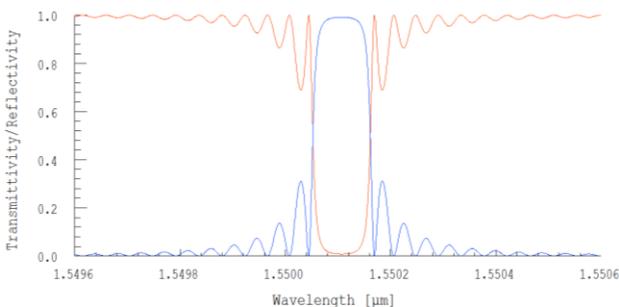
Parameter	Spesifikasi
Jenis	Uniform
Frekuensi	1555,75; 1556,15; 1597,19; 1597,62
Refelektivitas	99%

Tabel 3 menunjukkan spesifikasi FBG yang digunakan dalam simulasi *Optigrating*.

Tabel 3. Spesifikasi FBG *Optigrating*

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi	1555,75; 1556,15; 1597,19; 1597,62
Grating Shape	Sine
Period Chirp	No chirp
Apodization	Uniform
Panjang Grating	18600 um
Ind. Mod.	0,0001
Number of Segment	1
Periode	0,5345

Gambar 6 menunjukkan grafik transmitivitas dan reflektivitas FBG dalam *software Optigrating* dengan spesifikasi yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Pada Penelitian ini digunakan reflektivitas 99%.

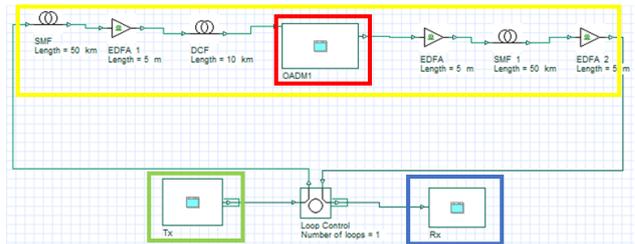


Gambar 6. Reflektivitas FBG *Optigrating*

Grafik berwarna merah merupakan grafik transmitivitas dan grafik berwarna biru merupakan grafik reflektivitas. Garik reflektivitas terlihat mendekati nilai 1. Namun apabila dilakukan *zoom in* terlihat dengan jelas nilai reflektivitas bernilai 99%.

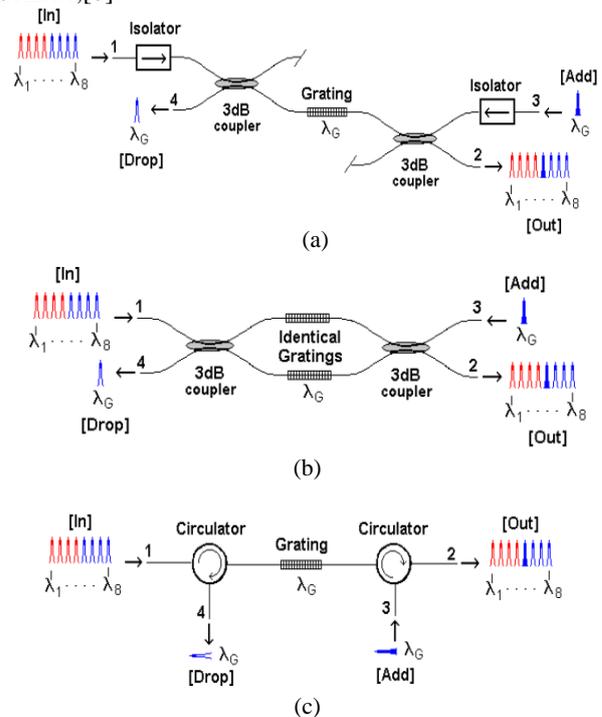
2.2. Desain Sistem DWDM

Desain sistem DWDM ditunjukkan pada Gambar 7. Ada 3 *subsystem*. *Subsystem* digunakan untuk memberikan kesan rapi dalam desain karena subsystem dapat mengelompokkan komponen – komponen menjadi 1 yang bila tidak dikelompokkan akan terlihat seperti desain yang kompleks dan susah dimengerti.

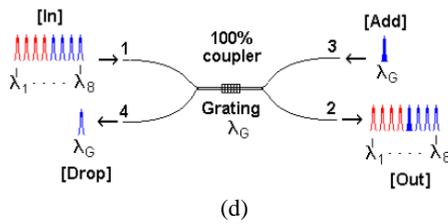


Gambar 7. Desain Sistem DWDM

Subsystem yang berada dalam kotak warna hijau menunjukkan *transmitter*. *Subsystem* yang berada dalam kotak warna biru menunjukkan *receiver*. *Subsystem* yang berada dalam kotak warna merah menunjukkan OADM. Desain pada Gambar 7 hanya salah satu dari skenario yang digunakan. Gambar 8 memperlihatkan 4 konfigurasi OADM,[8].



Gambar 8. OADM (a) Konfigurasi ke-1 (b) Konfigurasi ke2, dan (c) Konfigurasi ke-3



Gambar 8. (Lanjutan) OADM (d) Konfigurasi ke-4

3. Hasil dan Analisa

Berdasarkan 32 skenario yang telah dilakukan dan dibandingkan berdasarkan nilai BER dan *Q Factor*, didapatkan konfigurasi simulasi DWDM terbaik yang memenuhi standar nilai BER dan *Q Factor* untuk DWDM yaitu masing – masing maksimal 10^{-12} dan minimal 6. Desain terbaik adalah konfigurasi OADM ke-2, jumlah *wavelength* 16, rentang frekuensi C band dan spasi kanal 100 GHz. Tabel 4 menunjukkan nilai BER dan *Q Factor* dari konfigurasi simulasi DWDM terbaik.

Tabel 4. Nilai BER dan *Q factor* dari konfigurasi simulasi DWDM terbaik

Channel ke-	BER	<i>Q factor</i>	Channel ke-	BER	<i>Q factor</i>
1	7,59E-26	10,43	9	4,59E-22	9,58
2	5,71E-15	7,71	10	3,06E-19	8,88
3	4,37E-17	8,31	11	7,12E-15	7,68
4	2,00E-17	8,41	12	7,70E-17	8,24
5	1,23E-15	7,91	13	2,23E-16	8,11
6	2,14E-15	7,84	14	2,36E-18	8,65
7	3,01E-16	8,08	15	7,48E-19	8,78
8	8,65E-16	7,95	16	4,65E-17	8,29

Konfigurasi OADM ke-2 menjadi konfigurasi simulasi DWDM terbaik karena mempunyai performa lebih bagus dibandingkan OADM ke-1, OADM ke-3, dan OADM ke-4. Hal ini dikarenakan pada OADM ke-2 menggunakan 2 FBG *uniform* sehingga reflektivitas lebih bagus dibandingkan konfigurasi lain yang hanya menggunakan 1 FBG. Ketika reflektivitas bagus maka *wavelength* yang diteruskan akan memiliki daya yang kecil sehingga ketika *wavelength* dari *adder* masuk, maka dayanya tidak banyak berkurang karna bercampur dengan sisa daya dari *wavelength* yang diteruskan

Konfigurasi simulasi DWDM terbaik memiliki jumlah *wavelength* 16. Perbandingan skenario berdasarkan jumlah *wavelength* menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *wavelength* maka performansi semakin buruk. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah *wavelength* maka secara keseluruhan bit yang ditransmisikan semakin banyak pula, sehingga kemungkinan terjadinya *crosstalk* semakin besar.

Rentang frekuensi C band mempunyai performa lebih bagus daripada rentang frekuensi L. Hal ini dikarenakan pada rentang frekuensi C, mempunyai nilai pelemahan (*attenuasi*) yang lebih kecil dibandingkan pada rentang frekuensi L, sehingga hal ini mempengaruhi performansi sistem.

Spasi kanal 100 GHz memiliki performa lebih bagus dibandingkan spasi kanal 50 GHz. Hal ini dikarenakan semakin besar spasi kanal maka kerapatan antar *wavelength* semakin lebar, sehingga kemungkinan interferensi antar *wavelength* kecil. Spasi kanal 50 GHz sama dengan 0,4 nm dan untuk spasi kanal 100 GHz sama dengan 0,8 nm, sehingga 100 GHz memiliki performansi lebih baik daripada penggunaan spasi kanal 50 GHz.

Setelah ditemukan konfigurasi simulasi DWDM terbaik berdasarkan nilai BER dan *Q factor*, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *crosstalk* dengan persamaan (2) dan verifikasi FBG,[9].

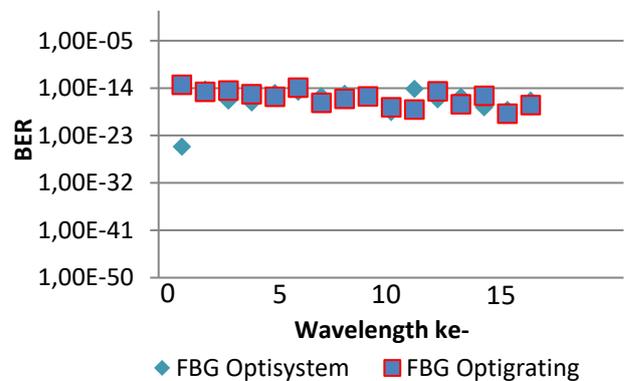
$$Crosstalk = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{iout}} \quad (2)$$

dimana,

P'_{out} = daya keluaran yang diterima dengan melibatkan *crosstalk* (Watt)

P_{out} = daya keluaran yang diterima tanpa melibatkan *crosstalk* (Watt)

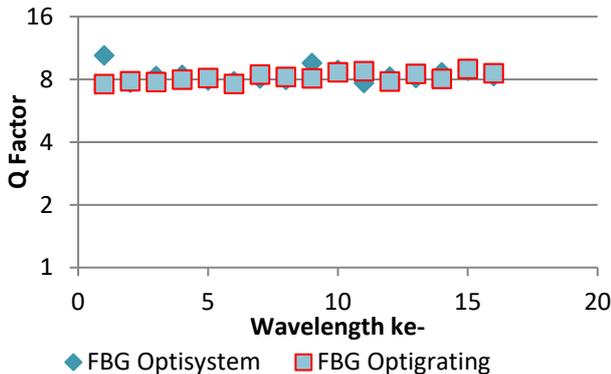
Verifikasi FBG dilakukan dengan cara memanggil file desain FBG *Optigrating* melalui *Optiwave Software Tools* yang tersedia di *software Optisystem*. Kemudian dilakukan perbandingan hasil nilai BER, *Q Factor*, dan *crosstalk* yang dihasilkan antara simulasi konfigurasi simulasi DWDM terbaik menggunakan FBG *Optisystem* dan FBG *Optigrating*. Standart nilai *crosstalk* untuk DWDM yaitu maksimal -30dB. Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan nilai BER. Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan nilai *Q factor*. Gambar 11 menunjukkan grafik perbandingan nilai *crosstalk*,[10].



Gambar 9. Perbandingan BER

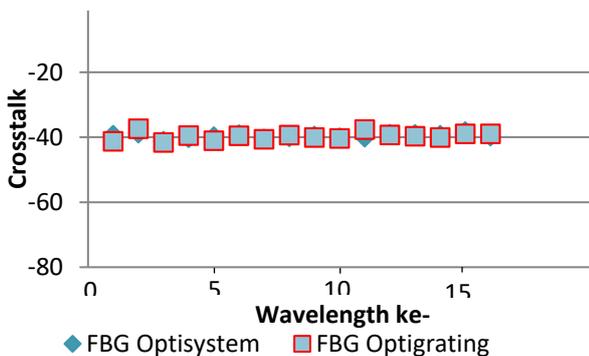
Perbandingan antara nilai BER saat menggunakan FBG *Opstisystem* dan FBG *Optigrating* terdapat perbedaan.

Perbedaan terjauh berada pada wavelength pertama yaitu saat menggunakan FBG *Optisystem* bernilai $7,59 \times 10^{-26}$, saat menggunakan FBG *Optigrating* bernilai $4,46 \times 10^{-14}$. Perbedaan terdekat berada pada wavelength kedua yaitu saat menggunakan FBG *Optisystem* bernilai $5,71 \times 10^{-15}$, saat menggunakan FBG *Optigrating* bernilai $1,96 \times 10^{-15}$. Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan nilai *Q factor* antara menggunakan FBG *Optisystem* dan FBG *Optigrating*.



Gambar 10. Perbandingan *Q Factor*

Perbandingan antara nilai *Q Factor* saat menggunakan FBG *Optisystem* dan FBG *Optigrating* terdapat perbedaan. Perbedaan terjauh berada pada wavelength pertama yaitu mempunyai selisih 2,84. Perbedaan terdekat berada pada wavelength kedua yaitu mempunyai selisih 0,13. Gambar 11 menunjukkan grafik perbandingan nilai *crosstalk* antara menggunakan FBG *Optisystem* dan FBG *Optigrating*.



Gambar 11. Perbandingan *Crosstalk*

Perbandingan antara nilai *crosstalk* saat menggunakan FBG *Optisystem* dan FBG *Optigrating* terdapat perbedaan. Perbedaan terjauh berada pada wavelength pertama yaitu mempunyai selisih 1,906. Perbedaan terdekat berada pada wavelength ke 7 yaitu mempunyai selisih 0,116.

Perbedaan-perbedaan yang terjadi dikarenakan parameter-parameter FBG antara FBG *Optisystem* dan FBG *Optigrating* tidak sama persis sehingga

mengakibatkan perbedaan. Namun di samping perbedaan-perbedaan yang terjadi, secara fungsional untuk verifikasi FBG sudah memenuhi. Hal ini dibuktikan dengan layaknya nilai BER dan *Q factor* yang berarti FBG dapat berfungsi sebagai *dropper* dalam OADM.

4. Kesimpulan

Berdasarkan nilai BER, *Q factor*, dan *crosstalk*, desain FBG paling sesuai diaplikasikan pada jaringan DWDM dengan jumlah *wavelength* 16, kanal spasi 100 GHz, rentang frekuensi C, dan konfigurasi OADM kedua. Parameter desain FBG yang terbaik yaitu dengan panjang grating 18600 um. Berdasarkan hasil ko-simulasi, nilai rata-rata BER (*Bit Error Rate*) hasil simulasi menggunakan FBG *Optisystem* adalah $1,19 \times 10^{-15}$, sedangkan saat menggunakan FBG *Optigrating* adalah $4,15 \times 10^{-15}$. Nilai rata-rata *Q Factor* hasil simulasi menggunakan FBG *Optisystem* adalah 8,43, sedangkan saat menggunakan FBG *Optigrating* adalah 8,18. Nilai rata-rata *crosstalk* hasil simulasi menggunakan FBG *Optisystem* adalah -39,63 dB, sedangkan saat menggunakan FBG *Optigrating* adalah -39,72 dB.

Referensi

- [1]. Erdogan, Turan. 1997. "Fiber Grating Spectra". *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 15, No. 8. Hlm.1277-1294.
- [2]. Angesti, Wildand. 2015 "Simulasi Kinerja Modulator Optik Tipe Mach-Zehnder Berdasarkan Ragam Format Modulasi". *Transmisi*, 17, (1), 2015, e-ISSN 2407-6422.
- [3]. Rodhiah, Hana' Ad'ha. 2014. "Analisis Kinerja Jaringan Dwdm Berdasarkan Perbedaan Tipe Serat Optik Menggunakan Cisco Transport Plannern Release 9.2". *Transient*, Vol.3, No.3, ISSN: 2302-9927.
- [4]. Fachryto, Tamas. 2014. "Analisis Dan Simulasi Fiber Bragg Grating Sebagai Filter Optik Pada Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)". Fakultas teknik Elektro, Universitas Telkom.
- [5]. Permatasari, Yuliana. 2015 "Simulasi dan Analisis Penerapan OADM menggunakan FBG pada Ling Long Haul". *e-Proceeding of Engineering*, Vol.2, No.2 Agustus 2015. Hlm.2354-2361.
- [6]. Widasari, Edita Rosana. 2013. "Analisis Penerapan Optical Add-Drop Multiplexer (Oadm) Menggunakan Fiber Bragg Grating (Fbg) Pada Teknik Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Hlm.1-6.
- [7]. Kumar, S. Sily dan Keerthana P. 2015. "Simulation of RoF Using Wavelength Selective OADM". *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology Volume 2, Issue 9*. Hlm.16-22.
- [8]. Alegria Carlos. 2002. *Introduction to Add-Drop Multiplexer*. Amsterdam.
- [9]. Monroy, Idelfonso Tafur. 2002. *Crosstalk in WDM Communication Network*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- [10]. Keiser, Gerd. 2003. *Optical Fiber Communication*. New York: The McGraw-Hill Companie.