

ANALISIS PENERAPAN *OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXER* (OADM) MENGGUNAKAN *FIBER BRAGG GRATING* (FBG) PADA TEKNIK *DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING* (DWDM)

Edita Rosana Widasari,¹ Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.², M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.²

¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ²Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: editarosanaw@yahoo.co.id

Abstract—Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) based on Fiber Bragg Grating (FBG) is a passive optical device in optical fiber transmission system that can be used for multiplexing, demultiplexing, filters, and routing on Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). The analysis of OADM based on FBG in optical fiber system at channel spacing of 100 GHz showed length of the grating decreased from 1.6048 mm until 0.1646 mm. The decreased of length of the grating showed that the number of channels transmission increased. The decreased number of length of the grating and the variation of grating index at 10^{-3} , 10^{-4} , and 10^{-5} caused a decreased in reflectivity and an increased in transmissivity, hence they influenced the increase of the number of channels. The system also showed a small crosstalk between -25,1282 dB to -20,4846 dB.

Index Terms—OADM, FBG, DWDM, reflectivity, transmissivity, crosstalk.

Abstrak—Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) merupakan *passive optical device* dalam sistem transmisi serat optik yang dapat melakukan *multiplexing*, *demultiplexing*, *filter*, dan *routing* pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Hasil analisis penerapan OADM menggunakan FBG dalam sistem serat optik menunjukkan pada spasi kanal 100 GHz terjadi penurunan panjang *grating* 1,6048 mm sampai dengan 0,1646 mm, penurunan nilai panjang *grating* tersebut menunjukkan semakin besar jumlah kanal transmisi panjang gelombang yang ditransmisikan. Pada hasil analisis penurunan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* sebesar 10^{-3} , 10^{-4} , dan 10^{-5} terjadi penurunan reflektivitas dan peningkatan transmitivitas sehingga juga dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan jumlah kanal transmisi. Analisis *crosstalk* pada spasi kanal 100 GHz menunjukkan nilai *crosstalk* yang kecil antara -25,1282 dB sampai dengan -20,4846 dB, terbukti bahwa OADM menggunakan FBG pada sistem serat optik dapat mengurangi *crosstalk*.

Kata Kunci—OADM, FBG, DWDM, reflektivitas, transmitivitas, *crosstalk*.

I. PENDAHULUAN

Variasi layanan dalam bentuk multimedia dan kecepatan layanan yang tinggi merupakan tuntutan kebutuhan yang harus dipenuhi dalam bidang telekomunikasi untuk saat ini dan mendatang. Kebutuhan kecepatan transmisi tersebut dapat dipenuhi oleh jaringan serat optik. Hal ini dikarenakan jaringan serat optik memiliki *bandwidth* yang lebar dan redaman transmisi yang kecil.

Jaringan serat optik dapat memenuhi *bit rate* tinggi bilamana pada jaringan tersebut diterapkan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). DWDM merupakan suatu teknik transmisi informasi dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda yang disalurkan dalam satu serat optik. Dalam pentransmisi DWDM terdapat perangkat *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) yang memiliki aplikasi sistem pembagi spektrum panjang gelombang, salah satunya yaitu menggunakan *Fiber Bragg Gratings* (FBG) [1].

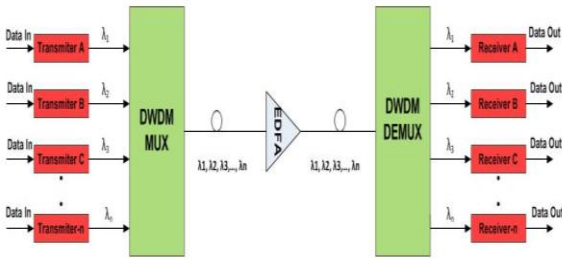
Perangkat OADM menggunakan FBG merupakan *passive optical device* dalam sistem transmisi serat optik yang dapat melakukan proses *multiplexing*, *demultiplexing*, *routing*, dan *losses* perangkat yang rendah [2]. Dua hasil penelitian tentang karakterisasi FBG pada OADM menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode *transfer-matrix* pada penetapan bilangan tertentu, nilai reflektivitas akan meningkat dengan bertambahnya perubahan indeks bias *grating* [3] dan panjang *grating* [4].

Penelitian dalam skripsi ini akan membahas kinerja OADM menggunakan FBG yang dilakukan secara *analytical analysis*, dimana menganalisis berdasarkan persamaan matematis dan grafik hasil perhitungan. Kajian ditekankan pada pengaruh panjang *grating* terhadap jumlah kanal transmisi, reflektivitas dan transmitivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* serta analisis penerapan OADM menggunakan FBG diharapkan dapat mengurangi *crosstalk*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Dasar *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

Secara konseptual kinerja DWDM ditunjukkan oleh Gambar 1. Tiap kanal pada jaringan DWDM diwakili dengan satu *transmitter*. Sinyal masuk berupa sinyal elektrik, kemudian dalam *transmitter*, sinyal elektrik tersebut diubah menjadi sinyal optik oleh sumber optik sehingga mempunyai panjang gelombang tertentu. Penentuan panjang gelombang berada dalam jangkauan DWDM sesuai dengan ketentuan ITU-T yaitu pada range panjang gelombang 1530,3 nm – 1567,1 nm dalam daerah kerja (*region*) *C-Band*.

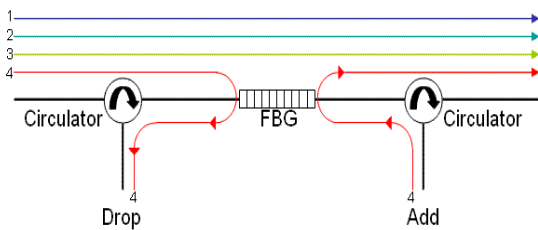


Gambar 1. Komponen Sistem DWDM (Sumber : Fiber-Optics.Info, 2012)

Sinyal dari tiap kanal menuju *wavelength-multiplexer* kemudian digabungkan dan ditransmisikan oleh serat optik, melalui *optical amplifier*, dan menuju *demultiplexer*. Pada *demultiplexer*, sinyal dipecah menjadi beberapa kanal dan dikeluarkan pada sisi penerima. Dalam sisi penerima, sinyal optik akan dikonversi kembali menjadi sinyal elektrik oleh detektor optik.

B. Optical Add-Drop Multiplexer (OADM)

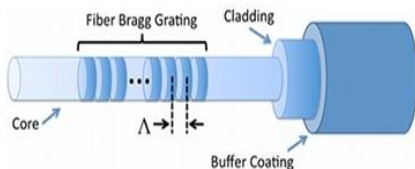
OADM adalah perangkat optik yang dirancang untuk menyisipkan dan mengeluarkan satu atau beberapa kanal pada titik tertentu pada jaringan optik *multiwavelength*.



Gambar 2. Komponen OADM (Sumber : Grahamwild, 2008)

C. FIBER BRAGG GRATING (FBG)

FBG adalah perangkat optik yang mampu merefleksikan panjang gelombang tertentu bergantung periode *grating* dan perubahan indeks bias *grating* inti seratnya. Perubahan tersebut menyebabkan FBG dapat berfungsi sebagai refleksi dan transmisi, artinya merefleksikan cahaya pada panjang gelombang tertentu dan mentransmisikan panjang gelombang yang lain.

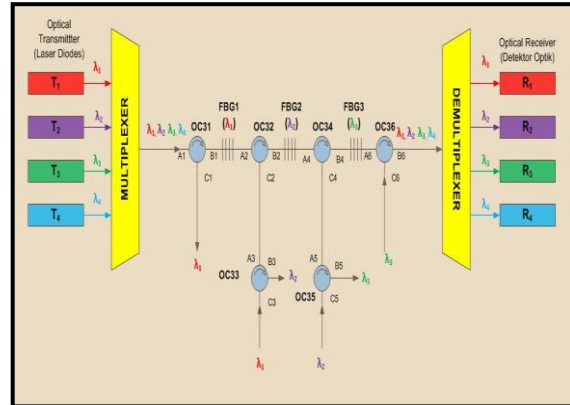


Gambar 3. Peletakan FBG Pada Serat Optik (Sumber : National Instruments, 2011)

D. Konsep Dasar OADM Menggunakan FBG Pada Teknik DWDM

Secara konseptual kinerja OADM menggunakan FBG pada teknik DWDM dengan transmisi empat panjang gelombang ditunjukkan oleh Gambar 4. Panjang gelombang yang berbeda ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3,$ dan λ_4)

menuju *port* A1 pada *optical circulator* OC31 kemudian diarahkan menuju *port* B1, saat melewati FBG1 maka λ_1 akan direfleksikan menuju *port* C1 untuk dikeluarkan (terjadi proses *demultiplexing*) sedangkan panjang gelombang lainnya akan ditransmisikan menuju *port* A2 pada OC32, demikian pula untuk merefleksikan λ_2 dan λ_3 .



Gambar 4. Blok Diagram Transmisi Empat Panjang Gelombang Pada Perangkat OADM menggunakan FBG

Proses *multiplexing* penggabungan panjang gelombang λ_1 yang telah direfleksikan menuju *port* C1 akan disisipkan kembali pada *port* C3 di OC33, demikian pula untuk λ_2 dan λ_3 .

E. Parameter Penerapan OADM Menggunakan FBG Pada Teknik DWDM

Untuk menentukan penerapan OADM menggunakan FBG dalam suatu sistem terdapat beberapa parameter , yaitu :

1. Panjang Grating FBG (L)

Panjang *grating*/kisi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [5] :

$$L = \frac{c \cdot t_{material} \cdot D_{(FBG)}}{2n_{eff}} \tag{1}$$

dengan :

- c = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)
- $t_{material}$ =dispersi material (ps/km)
- $D_{(FBG)}$ = jarak penempatan FBG (km)
- n_{eff} = indeks bias *effective*

2. Perubahan Indeks Bias Grating FBG (Δn)

Perubahan indeks bias *grating* inti serat (Δn) dipengaruhi oleh sifat kepekaan bahan inti serat optik terhadap panjang gelombang tertentu (*photosensitive*) dan bergantung pada panjang gelombang pancaran sinar [6].

Pancaran sinar laser pada sumber optik dengan intensitas 100-1000 mJ/cm^2 akan mengakibatkan perubahan indeks bias (Δn) pada inti serat yang berkisar 10^{-5} hingga 10^{-3} [7], dan akan mempengaruhi bentuk keluaran spektrum refleksinya.

3. Reflektivitas (R)

Reflektivitas suatu *grating* fiber ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut:

$$R = \tanh^2 (k.L) \times 100\% \quad (2)$$

dengan :

- R = reflektivitas FBG (%)
- L = panjang *grating* (m)
- k = koefisien kopling (m^{-1})

4. Transmittivitas (T)

Transmittivitas suatu *grating* fiber ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut [8] :

$$T = \frac{1}{\cosh^2(k.L)} \times 100\% \quad (3)$$

dengan :

- T = transmittivitas FBG (%)
- L = panjang *grating* (m)
- k = koefisien kopling (m^{-1})

5. Crosstalk

Crosstalk dihitung sesuai persamaan [9] :

$$Crosstalk (dB) = 10 \log \frac{P_{out} - P'_{out}}{P_{out}} \quad (4)$$

dengan :

P_{out} = daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* (W), diberikan oleh persamaan [10] :

$$P_{out} = R \cdot P_{in} \quad (5)$$

P'_{out} = daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* (W), diberikan oleh persamaan :

$$P'_{out} = R \cdot P_{in} - 2 \sqrt{R \cdot (1 - R)} \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} \quad (6)$$

dengan :

- P_{in} = daya masukan (W)
- R = reflektivitas FBG (%)
- ε_i = *optical power ratio* di setiap komponen sinyal *crosstalk*.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan kajian dalam penelitian ini meliputi jenis dan cara pengambilan data, variabel dan cara analisis data, serta kerangka solusi masalah dalam bentuk *flowchart*.

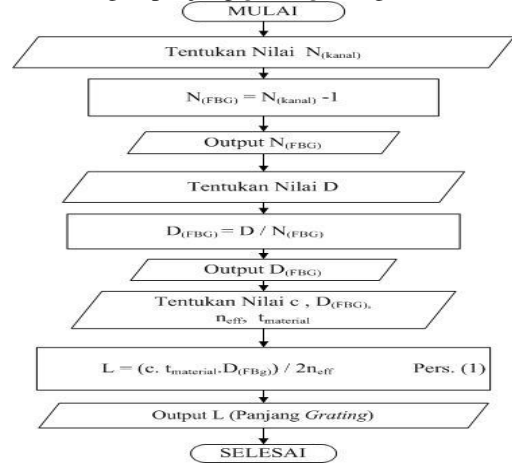
Data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian ini berupa data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, penelitian, *website*, dan forum-forum resmi mengenai FBG, OADM dan DWDM.

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder. Pendekatan matematis dengan analisis persamaan matematis dilakukan secara *analytical analysis*. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Panjang *grating* terhadap jumlah kanal transmisi
2. Reflektivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*
3. Transmittivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*
4. *Crosstalk*.

Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan pengaruh dari penerapan OADM menggunakan FBG yang diinginkan :

1. Perhitungan panjang *grating*, dengan cara :

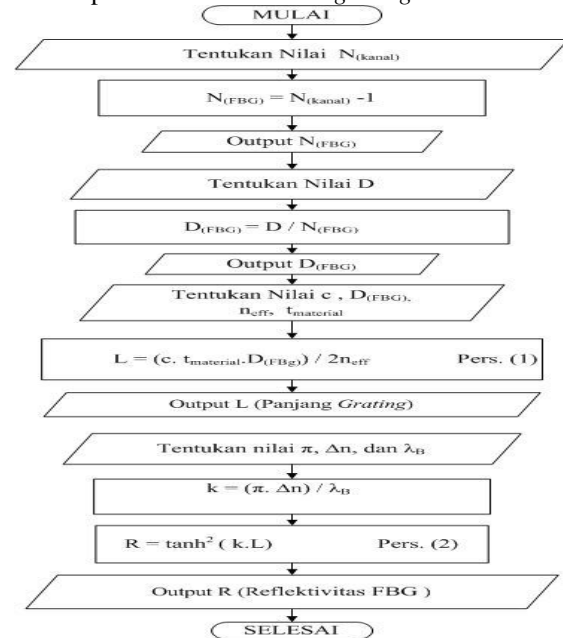


Gambar 5. Diagram Alir Panjang *Grating* Terhadap Jumlah Kanal

dengan :

- $N_{(Kanal)}$ = jumlah kanal yang ditransmisikan
- $N_{(FBG)}$ = jumlah FBG
- D = jarak total transmisi (km)
- $D_{(FBG)}$ = jarak penempatan FBG (km)
- n_{eff} = indeks bias *effective*
- $t_{material}$ = dispersi material (ps/km)
- L = panjang *grating* (m)

2. Perhitungan reflektivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*.

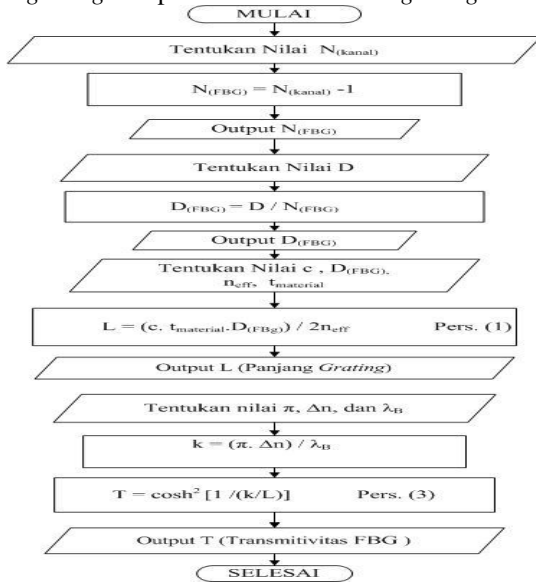


Gambar 6. Diagram Alir Reflektivitas Terhadap Panjang *Grating* dan Perubahan Indeks Bias *Grating*

dengan :

- Δ_n = perubahan indeks bias FBG
- λ_B = panjang gelombang pusat FBG (nm)
- k = koefisien kopling
- R = reflektivitas FBG (%)

3. Perhitungan transmitivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*.

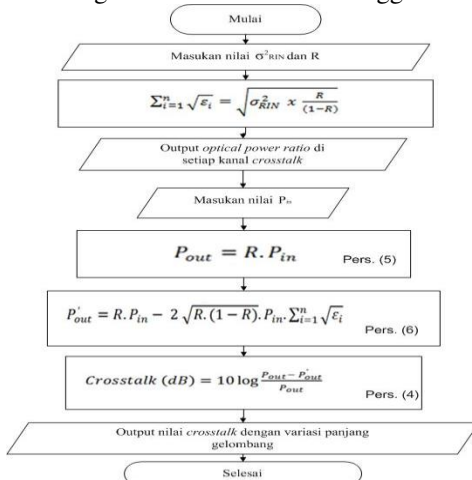


Gambar 7. Diagram Alir Transmitivitas Terhadap Panjang Grating dan Perubahan Indeks Bias Grating

dengan :

- Δ_n = perubahan indeks bias FBG
- λ_B = panjang gelombang pusat FBG (nm)
- k = koefisien kopling
- T = transmitivitas FBG (%)

4. Perhitungan *crosstalk* OADM menggunakan FBG :



Gambar 8. Diagram alir perhitungan *crosstalk*

dengan :

- P_{out} = daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* (W)
- P'_{out} = daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* (W)
- P_{in} = daya masukan (W)
- σ_{RIN}^2 = *relative intensity noise* (W)
- ϵ_i = *optical power ratio* di setiap komponen sinyal *crosstalk*
- R = reflektivitas FBG (%)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Dispersi

Perhitungan dispersi diperlukan untuk mendapatkan unjuk kerja sistem komunikasi serat

optik dalam jarak jangkauan transmisi maksimumnya. Perhitungan dispersi total serat :

$$t_{fiber} = \sqrt{t_{material}^2 + t_{waveguide}^2 + t_{intermodal}^2}$$

$$= \sqrt{(0,64 \times 10^{-12})^2 + (0,03 \times 10^{-12})^2 + 0}$$

$$= 0,64 \text{ ps/km}$$

B. Perhitungan Jarak Total Transmisi

Jarak total transmisi adalah batas maksimum jarak transmisi agar laju bit dalam sistem tetap tinggi.

$$D = \frac{\sqrt{\left(\frac{0,7}{1,1B}\right)^2 - \tau_{source}^2 - \tau_{detector}^2}}{t_{fiber}}$$

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{0,7}{1,1 \cdot 10 \times 10^9}\right)^2 - (0,1 \times 10^{-9})^2 - (0,1 \times 10^{-9})^2}}{0,64 \times 10^{-12}}$$

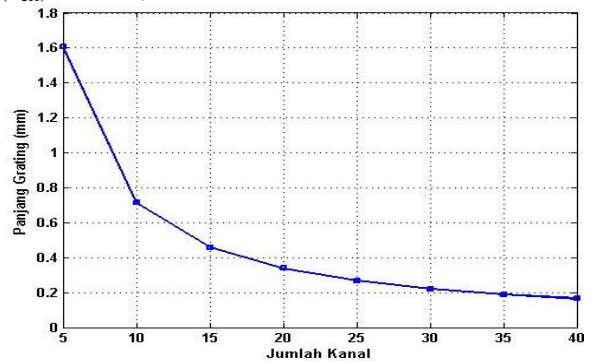
$$= 99,43 \text{ km.}$$

jarak total transmisi maksimum untuk laju bit 10 Gbps dalam saluran transmisi serat optik adalah sebesar 99,43 km.

C. Analisis Penerapan OADM Menggunakan FBG Pada Teknik DWDM

1. Analisis Panjang Grating Terhadap Jumlah Kanal

Merupakan parameter yang penting karena digunakan untuk menentukan parameter yang lain. Berdasarkan standar ITU-T Grid G-692 bahwa semua kanal pada sistem DWDM harus memiliki *channel grid* 100 GHz dengan referensi frekuensi tengah 193,3 THz untuk panjang gelombang pusat 1552,52 nm dan memiliki 40 kanal [11], serta indeks bias *effective* (n_{eff}) FBG = 1,487.



Gambar 9. Grafik Hubungan Panjang Grating Terhadap Jumlah Kanal

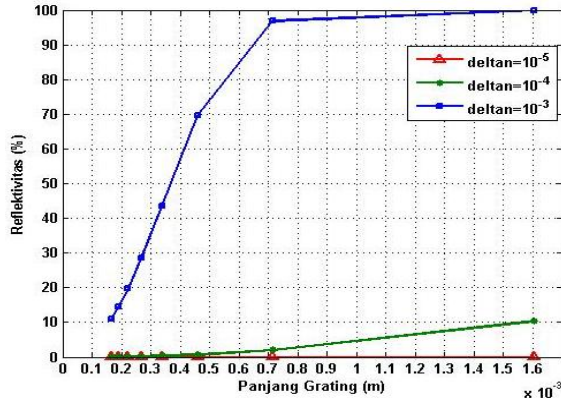
Gambar 9 merupakan hubungan antara panjang *grating* terhadap kenaikan jumlah kanal transmisi. Seiring dengan kenaikan jumlah kanal, maka akan terjadi penurunan panjang *grating*.

Panjang *grating* terjadi ketika panjang gelombang melewati FBG akan mengalami penrefleksi. Panjang gelombang yang terrefleksi tersebut akan membentuk *grating* / kisi-kisi cahaya pada FBG, sedangkan panjang gelombang yang tidak direfleksikan akan ditransmisikan. Panjang dari *grating* / kisi-kisi cahaya pada saat merefleksikan panjang gelombang inilah yang disebut *panjang grating*. Semakin besar jumlah kanal yang melewati

OADM menggunakan FBG, maka panjang *grating* yang terbentuk akan semakin sedikit.

2. Analisis Reflektivitas Terhadap Panjang Grating dan Perubahan Indeks Bias Grating

Perhitungan dilakukan masing-masing perubahan indeks bias *grating* pada inti serat yang berkisar 10^{-5} , 10^{-4} , dan 10^{-3} berdasarkan jumlah kenaikan kanal transmisi.

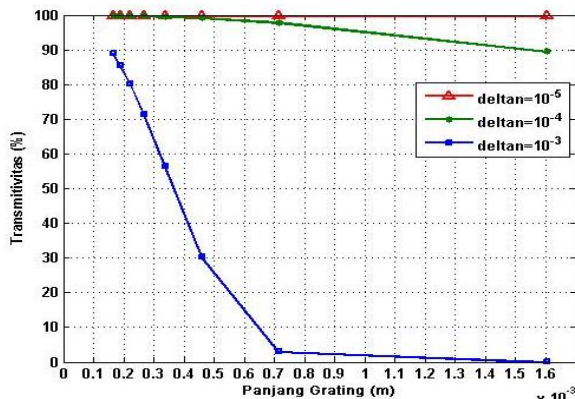


Gambar 10. Grafik Perhitungan Reflektivitas Terhadap Panjang Grating dan Masing-Masing Perubahan Indeks Bias Grating

Reflektivitas merupakan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa reflektivitas terjadi seiring dengan kenaikan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, apabila terjadi penurunan panjang *grating* dan penurunan perubahan indeks bias *grating* akan menyebabkan penurunan reflektivitas panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG sehingga jumlah kanal transmisi akan semakin besar.

3. Analisis Transmittivitas Terhadap Panjang Grating dan Perubahan Indeks Bias Grating

Perhitungan dilakukan masing-masing perubahan indeks bias *grating* pada inti serat yang berkisar 10^{-5} , 10^{-4} , dan 10^{-3} berdasarkan jumlah kenaikan kanal transmisi.



Gambar 11. Grafik Perhitungan Transmittivitas Terhadap Panjang Grating dan Masing-Masing Perubahan Indeks Bias Grating

Transmittivitas merupakan nilai prosentase panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG. Pada Gambar 11 menunjukkan

bahwa transmittivitas terjadi seiring dengan penurunan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, pada penurunan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* akan menyebabkan kenaikan transmittivitas panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG sehingga jumlah kanal transmisi juga akan semakin besar.

4. Analisis Crosstalk Pada Penerapan OADM Menggunakan FBG

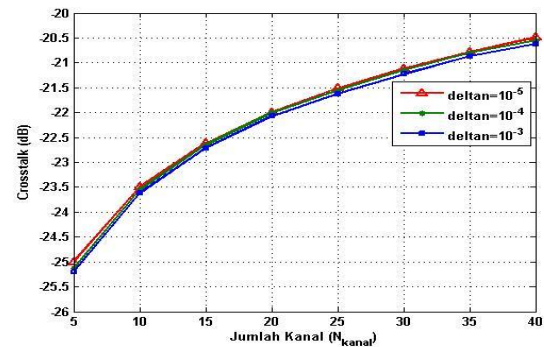
Spesifikasi sistem sebagai berikut :

- Daya pancar laser diode (ML9XX37) :80 mW
- Jumlah kanal DWDM (ITU-T G.692) :40 kanal
- Nilai σ_{RIN}^2 (*relative intensity noise*) berdasarkan jumlah kanal:

Tabel 1. RIN berdasarkan jumlah kanal (N_{kanal}) [10]

No.	Jumlah Kanal	Relative Intensity Noise (mW)
1.	5	0,0025
2.	10	0,0050
3.	15	0,0075
4.	20	0,0100
5.	25	0,0125
6.	30	0,0150
7.	35	0,0175
8.	40	0,0200

Perhitungan *crosstalk* bergantung reflektivitas yang besarnya dipengaruhi oleh panjang *grating* dan masing-masing perubahan indeks bias *grating* sebesar 10^{-3} , 10^{-4} , dan 10^{-5} .



Gambar 12. Grafik Perhitungan Crosstalk Terhadap Kenaikan Jumlah Kanal Transmisi

Gambar 12 menunjukkan hubungan *crosstalk* terhadap jumlah kanal pada perubahan indeks bias *grating* 10^{-3} , 10^{-4} , dan 10^{-5} , dapat dilihat bahwa pada setiap perubahan indeks bias *grating* pada kenaikan jumlah kanal transmisi akan mengakibatkan kenaikan nilai *crosstalk*.

Crosstalk timbul akibat adanya penurunan daya pada panjang gelombang yang mengalami refleksi dan dikeluarkan pada *port drop circulator*, kemudian panjang gelombang yang telah terefleksi akan ditambahkan pada *port add circulator* untuk pentransmisian berikutnya, maka sinyal yang diinginkan tersebut akan mempunyai panjang gelombang yang sama dengan sinyal interferensi, sehingga menimbulkan *intrachannel crosstalk*, yaitu

sinyal interferensi mempunyai panjang gelombang yang sama dengan sinyal yang diinginkan.

Tabel 2. Perbandingan *Crosstalk* Berdasarkan Jumlah Kanal Transmisi Antara OADM Menggunakan FBG dan AWG

No.	Jumlah Kanal	<i>Crosstalk</i> (dB)	
		OADM Menggunakan FBG	AWG [12]
1.	5	-25,0000 s/d -25,1282	-2,0360
2.	10	-23,4949 s/d -23,4964	-1,7235
3.	15	-22,6144 s/d - 22,6199	-1,3763
4.	20	-21,9897 s/d -21,9899	-1,0550
5.	25	-21,5051 s/d -21,5140	-0,7549
6.	30	-21,1092 s/d -21,1200	-0,4744
7.	35	-20,7745 s/d -20,8183	-0,1941
8.	40	-20,4846 s/d -20,5206	-0,0862

Tabel 2 menunjukkan perbandingan *crosstalk* berdasarkan jumlah kanal transmisi antara OADM menggunakan FBG dan AWG. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa OADM menggunakan FBG dan AWG merupakan *passive optical device* dalam sistem transmisi serat optik yang keduanya dapat melakukan proses *multiplexing* dan *demultiplexing*, *filter*, dan *routing*. Namun, perangkat OADM menggunakan FBG terbukti memiliki *crosstalk* yang jauh lebih rendah dibandingkan perangkat AWG.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan simulasi dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Semakin besar jumlah kanal transmisi pada teknik DWDM pada spasi kanal 100 GHz dengan 40 kanal, akan mengakibatkan penurunan panjang *grating* sebesar 1,6048 mm sampai dengan 0,1646 mm.
2. Seiring dengan penurunan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* sebesar 10^{-3} , 10^{-4} , dan 10^{-5} akan menyebabkan penurunan reflektivitas dan peningkatan transmitivitas sehingga jumlah kanal transmisi akan semakin meningkat serta semakin banyak pula sinyal informasi yang dikirim pada sistem transmisi serat optik.
3. Kenaikan jumlah kanal transmisi pada spasi kanal 100 GHz dengan 40 kanal akan mengakibatkan semakin besar nilai *crosstalk* pada perangkat OADM menggunakan FBG, namun dengan nilai *crosstalk* yang sangat kecil antara -25,1282 dB sampai dengan -20,4846 dB.
4. Perangkat OADM menggunakan FBG merupakan *passive optical device* dalam sistem transmisi serat optik yang dapat melakukan proses *multiplexing*, *demultiplexing*, *routing* dan terbukti dapat mengurangi *crosstalk*.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Merancang sebuah sistem OADM menggunakan FBG yang baik melalui analisis perhitungan maupun simulasi berdasarkan parameter-parameter yang ada.
2. Menganalisis penerapan OADM menggunakan FBG, dengan tipe FBG selain *uniform*, seperti pada tipe *grating chirped* dan *apodization* untuk membandingkan keunggulan dari kinerja sistem tersebut.
3. Menganalisis penerapan OADM menggunakan FBG, dengan struktur OADM yang lain, seperti menggunakan *Mach-Zehnder Interferometer* (MZI), *Directional Coupler* (DC), dan *Acousto-Optics* (AO).

DAFTAR REFERENSI

- [1] www.optikomm.com/ Fiber-Optik.Info/ *Dense Wavelength-division Multiplexing*. 2012.
- [2] Raman, Khasyap. 2010. *Fiber Bragg Grating Second Edition*. Academic Press.
- [3] Ugale, Sunita. 2010. *Fiber Bragg Grating Modeling, Characterization and Optimiazation With Different Index Profiles*. International Journal Of Engineering Science And Technology.
- [4] Ikhlef, Abdallah. 2012. *Uniform Fiber Bragg Grating Modeling and Simulation Used Matrix Transfer Method*. International Journal Of Computer Science Issues.
- [5] Chiareli, Alessandra. 1999. *Troubleshooting Fiber Bragg Grating Fabrication with Modeling*. Fiber Optik And Electronic Technology Center.
- [6] Gerd, Keiser. 2003. *Optical Fiber Communications*. Digital Engineering Library. The Mcgraw-Hill Companies.
- [7] Kenneth O. Hill. 1997. *Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals And Overview*. Journal Of Lightwave Technology.
- [8] Nahian, Chowdhury et all. 2012. *Crosstalk Analysis of A FBG-OC Based Add-Drop Multiplexer for WDM Crossconnects System*. International Journal of Advances In Engineering&Technology.
- [9] Bobby Barua. 2011. *Evaluate The Performance Of Optical Cross Connect Based On Fiber Bragg Grating Under Different Bit Rate*. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT).
- [10] Mahiuddin, M et al. 2010. *Inchoherent Crosstalk Analysisin Fiber Bragg Grating Based Optical Add-Drop Multiplexer in Optical Network*. Journal Of Networks.
- [11] ITU-T G.692. 1998. *Optical Interfaces For Multichannel Systems With Optical Amplifier*.
- [12] Olivisa Elsa, A. 2012. "Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik Pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) Melalui penerapan *Array Waveguide Grating* (AWG)" Universitas Brawijaya. Skripsi tidak diterbitkan.