

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

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**EDITA ROSANA WIDASARI  
NIM : 0910630009 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2013**

## LEMBAR PERSETUJUAN

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

#### SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh :

**EDITA ROSANA WIDASARI**  
NIM: 0910630009 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.  
NIP. 19580728 198701 1 001

M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19710609 200003 1 005

## LEMBAR PENGESAHAN

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

Disusun Oleh :

**EDITA ROSANA WIDASARI**

**NIM: 0910630009 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus  
pada tanggal **23 April 2013**

**Majelis Penguji :**

**Ali Mustofa, ST., MT.**  
NIP. 19710601 200003 1 001

**Dr-Ing. Onny S., ST., MT., M.Sc.**  
NIP. 19740417 200003 2 007

**Ir. Wahyu Adi P., MT.**  
NIP 19600518 198802 1 001

**Mengetahui :**  
**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS.**  
NIP. 19580728 198701 1 001



## PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi yang judul “*Analisis Penerapan Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) Menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) Pada Teknik Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penelitian dalam skripsi ini membahas mengenai pengaruh penerapan OADM menggunakan FBG pada teknik transmisi DWDM. Pembahasan yang dilakukan meliputi pengaruh panjang *grating*, perubahan indeks bias *grating*, reflektivitas, transmitivitas, dan *crossstalk* berdasarkan kenaikan jumlah kanal DWDM. Penulisan penelitian skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung.

Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ayahanda Tercinta Drs. H. Warno Edy Supomo, MH. dan Ibunda Tersayang Dra. Hj. Haryati Usbandiah yang dengan penuh kasih sayang dan kesabaran telah mengasuh, membesarkan, mendidik, mendukung, menyemangati, serta memberikan pelajaran hidup yang tak ternilai harganya. Kepada kedua adik tersayang Edinar Valiant Hawali dan Caesaredy Rama Raharya yang selalu memberikan semangat yang tiada henti.

Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, motivasi, gagasan, ide, saran, serta pelajaran hidup yang berharga.
2. Bapak M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, saran serta motivasi yang diberikan.

3. Bapak Ali Mustofa ST., MT., selaku KKDK konsentrasi telekomunikasi dan Dosen Penasehat Akademik yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.
4. Bapak Prof. Ir. Budiono Mismail, MSEE selaku mantan Dosen Penasehat Akademik dan Bapak Ir. Soemarwanto, MT. selaku Kepala Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran atas segala bimbingan, arahan, motivasi, dan pelajaran hidup berharga, yang telah diberikan selama menempuh studi.
5. Seluruh Dosen, Laboran, dan Staf pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
6. Sahabat, teman, dan keluarga besar Angkatan 2009 (AMPERE'09) terutama Paket C 2009, serta rekan-rekan asisten Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran 2008, 2009, 2010, dan 2011 atas persahabatan, saran, kebersamaan, serta kerjasamanya selama ini.
7. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki. Karena itu kritik dan saran sangat diharapkan. Penulis mengharapkan semoga skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, April 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>ABSTRAK</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Ruang Lingkup .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 <i>Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)</i> .....	5
2.1.1 Komponen DWDM .....	6
2.1.2 Keunggulan dan Kelemahan DWDM.....	10
2.2 <i>Optical Add-Drop Multiplexer (OADM)</i> .....	12
2.2.1 Prinsip Kerja OADM .....	12
2.2.1.1 OADM Sebagai <i>Active Optical Device</i> .....	12
2.2.1.1 OADM Sebagai <i>Pasive Optical Device</i> .....	13
2.3 <i>Fiber Bragg Grating (FBG)</i> .....	14
2.3.1 Tipe <i>Grating</i> FBG.....	15
2.3.2 Prinsip Kerja FBG.....	16
2.4 Konsep Dasar OADM Menggunakan FBG Pada Teknik DWDM .....	13
2.4.1 Prinsip Kerja OADM Menggunakan FBG Pada Teknik DWDM .....	19
2.5 Dispersi Serat Optik .....	20
2.5.1 Dispersi Material .....	21





2.5.2	Dispersi Pandu Gelombang .....	22
2.5.3	Dispersi Pandu Gelombang .....	23
2.6	Parameter Penerapan OADM Menggunakan FBG .....	23
2.6.1	Panjang <i>Grating</i> FBG .....	24
2.6.2	Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> FBG .....	26
2.6.3	<i>Crosstalk</i> .....	28
2.6	Parameter Penerapan OADM Menggunakan FBG .....	30
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>32</b>
3.1	Jenis dan Cara Perolehan Data.....	32
3.2	Variabel dan Cara Analisis Data.....	35
3.3	Kerangka Solusi Masalah .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>42</b>
4.1	Perhitungan Dispersi .....	42
4.1.1	Perhitungan Dispersi Material .....	42
4.1.2	Perhitungan Dispersi Pandu Gelombang .....	43
4.1.3	Perhitungan Dispersi Pandu Gelombang .....	44
4.1.4	Perhitungan Dispersi Total Serat .....	44
4.2	Perhitungan Jarak Total Transmisi .....	45
4.3	Analisis Kinerja OADM Menggunakan FBG Pada DWDM.....	46
4.3.1	Analisis Panjang <i>Grating</i> Terhadap Jumlah Kanal .....	46
4.3.2	Analisis Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	49
4.3.3	Analisis Transmivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	57
4.3.4	Analisis <i>Crosstalk</i> Pada OADM Menggunakan FBG .....	65
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>77</b>
5.1	Kesimpulan .....	77
5.2	Saran .....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>79</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>81</b>

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
<b>Gambar 2.1</b> Pembagian Daerah Kerja Pada Serat Optik .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Sistem DWDM .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Komponen Sistem DWDM .....	7
<b>Gambar 2.4</b> Teknik <i>Multiplexing</i> Menggunakan Prisma .....	8
<b>Gambar 2.5</b> <i>Array Wavelength Grating</i> (AWG) .....	8
<b>Gambar 2.6</b> Arsitektur EDFA .....	9
<b>Gambar 2.7</b> Teknik <i>Demultiplexing</i> Menggunakan Prisma .....	10
<b>Gambar 2.8</b> Teknik <i>Demultiplexing</i> Menggunakan <i>Diffraction Grating</i> ....	10
<b>Gambar 2.9</b> <i>Active Optical Device</i> OADM .....	12
<b>Gambar 2.10</b> Struktur OADM .....	13
<b>Gambar 2.11</b> <i>Optical Circulator</i> .....	14
<b>Gambar 2.12</b> Peletakan FBG Pada Serat Optik .....	15
<b>Gambar 2.13</b> Perubahan Indeks Bias Untuk Berbagai Tipe <i>Grating</i> .....	15
<b>Gambar 2.14</b> Pembelokan Sinar Setelah Memasuki Media Berindeks Bias Lebih Tinggi .....	16
<b>Gambar 2.15</b> Penrefleksian sinar pada FBG .....	17
<b>Gambar 2.16</b> Penrefleksian dan Pentransmisian Panjang Gelombang FBG .	17
<b>Gambar 2.17</b> Sinar Refleksi dan Transmisi Pada FBG .....	18
<b>Gambar 2.18</b> Perangkat OADM Berupa <i>Optical Ciculator</i> menggunakan FBG .....	18
<b>Gambar 2.19</b> Blok Diagram Transmisi Empat Panjang Gelombang Pada Perangkat OADM menggunakan FBG .....	19
<b>Gambar 2.20</b> Penurunan Daya Keluaran pada <i>Port Drop</i> .....	20
<b>Gambar 2.21</b> Skema Sinyal pada FBG .....	24
<b>Gambar 2.22</b> <i>Crosstalk</i> dalam transmisi DWDM .....	28
<b>Gambar 3.1</b> Blok Diagram Transmisi DWDM Pada Perangkat OADM menggunakan FBG .....	35
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Panjang <i>Grating</i> Terhadap Jumlah Kanal .....	36
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	37



<b>Gambar 3.4</b>	Diagram Alir Transmisifitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	39
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram Alir Perhitungan <i>Crosstalk</i> .....	41
<b>Gambar 4.1</b>	Hubungan Panjang <i>Grating</i> Terhadap Jumlah Kanal .....	48
<b>Gambar 4.2</b>	Hubungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	51
<b>Gambar 4.3</b>	Hubungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	53
<b>Gambar 4.4</b>	Hubungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	54
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Rekapitulasi Perhitungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	56
<b>Gambar 4.6</b>	Hubungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	59
<b>Gambar 4.7</b>	Hubungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	61
<b>Gambar 4.8</b>	Hubungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	62
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Rekapitulasi Perhitungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	64
<b>Gambar 4.10</b>	Blok Diagram Transmisi Pada Perangkat OADM menggunakan FBG .....	66
<b>Gambar 4.11</b>	Hubungan <i>Crosstalk</i> Terhadap Jumlah Kanal Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	69
<b>Gambar 4.12</b>	Hubungan <i>Crosstalk</i> Terhadap Jumlah Kanal Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	71
<b>Gambar 4.13</b>	Hubungan <i>Crosstalk</i> Terhadap Jumlah Kanal Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	73
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik Rekapitulasi Perhitungan <i>Crosstalk</i> Terhadap Kenaikan Jumlah Kanal Transmisi .....	74

DAFTAR TABEL

	halaman
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Sumber Optik .....	33
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Serat Optik.....	34
<b>Tabel 3.3</b> <i>Relative Intensity Noise</i> Berdasarkan Jumlah Kanal .....	28
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Perhitungan Panjang <i>Grating</i> Berdasarkan Jumlah Kenaikan Kanal Transmisi .....	47
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Perhitungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	51
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Perhitungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	52
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Perhitungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	54
<b>Tabel 4.5</b> Rekapitulasi Perhitungan Reflektivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	55
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Perhitungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	59
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Perhitungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	60
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Perhitungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	62
<b>Tabel 4.9</b> Rekapitulasi Perhitungan Transmittivitas Terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	63
<b>Tabel 4.10</b> <i>Relative Intensity Noise</i> Berdasarkan Jumlah Kanal .....	67
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Perhitungan <i>Crosstalk</i> Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	69
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Perhitungan <i>Crosstalk</i> Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	71
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Perhitungan <i>Crosstalk</i> Terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	73



**Tabel 4.14** Rekapitulasi Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Kenaikan Jumlah Kanal Transmisi ..... 74

**Tabel 4.15** Perbandingan *Crosstalk* Berdasarkan Jumlah Kanal Transmisi Antara OADM Menggunakan FBG dan AWG ..... 75





## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
<b>Lampiran 1</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung Panjang <i>Grating</i> terhadap Jumlah kanal Transmisi .....	81
<b>Lampiran 2</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung Reflektivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	81
<b>Lampiran 3</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung Reflektivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	82
<b>Lampiran 4</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung Reflektivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	82
<b>Lampiran 5</b> <i>Listing</i> Program Matlab Rekapitulasi Reflektivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Masing-Masing Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	83
<b>Lampiran 6</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung Transmivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	83
<b>Lampiran 7</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung Transmivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	84
<b>Lampiran 8</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung Transmivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	84
<b>Lampiran 9</b> <i>Listing</i> Program Matlab Rekapitulasi Transmivitas terhadap Panjang <i>Grating</i> dan Masing-Masing Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> .....	85
<b>Lampiran 10</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung <i>Crosstalk</i> terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-5}$ .....	85
<b>Lampiran 11</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung <i>Crosstalk</i> terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-4}$ .....	86
<b>Lampiran 12</b> <i>Listing</i> Program Matlab Menghitung <i>Crosstalk</i> terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Perubahan Indeks Bias <i>Grating</i> $10^{-3}$ .....	87



**Lampiran 13** Listing Program Matlab Rekapitulasi Crosstalk terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Masing-Masing Perubahan Indeks Bias Grating ..... 87

**Lampiran 14** Spesifikasi Laser DWDM ..... 89





## ABSTRAK

**EDITA ROSANA WIDASARI**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2013, *Analisis Penerapan Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) Menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) Pada Teknik Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*, Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. dan M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.

Variasi layanan dalam bentuk multimedia dan kecepatan layanan yang tinggi pada bidang telekomunikasi, dapat dipenuhi dengan menerapkan teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* yang merupakan teknik transmisi informasi dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda yang disalurkan dalam satu serat optik. Penerapan *Array Waveguide Grating (AWG)* pada teknik DWDM diketahui dapat menimbulkan nilai *crosstalk* yang tinggi, sedangkan pada *Optical Add-Drop Multiplexer (OADM)* menggunakan *Fiber Bragg Grating (FBG)* merupakan *passive optical device* dalam sistem transmisi serat optik yang dapat melakukan *multiplexing, demultiplexing, routing*, dan diharapkan dapat mengurangi *crosstalk* pada teknik DWDM.

Pada penelitian membahas mengenai pengaruh penerapan OADM menggunakan FBG, yang meliputi panjang *grating* terhadap kenaikan jumlah kanal transmisi, pengaruh reflektivitas dan transmitivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, serta *crosstalk*. Penelitian dilakukan secara *analytical analysis* yaitu menganalisis berdasarkan persamaan matematis dan grafik hasil perhitungan.

Hasil analisis penerapan OADM menggunakan FBG pada teknik DWDM 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 dalam sistem AWG menunjukkan nilai *crosstalk* antara -2,0360 dB sampai dengan -0,0862 dB, sedangkan pada OADM menggunakan FBG menunjukkan nilai *crosstalk* yang sangat kecil antara -25,1282 dB sampai dengan -20,4846 dB sehingga terbukti dapat mengurangi *crosstalk*.

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



## ABSTRACT

**EDITA ROSANA WIDASARI**, Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, April 2013, *Analysis of Application in Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) Based on Fiber Bragg Grating (FBG) for Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*, Lecturers : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. and M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.

Variations of multimedia services and higher bit rate in telecommunications can be filled if applying Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). DWDM is a transmission technique that used different wavelength and distributed in a single optical fiber. Application of Array Waveguide Grating (AWG) at DWDM caused a high crosstalk, while 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).

In this paper analyzed effect of application OADM based on FBG, which includes length of the grating to number of channels transmission, the influence of reflectivity and transmissivity to length of the grating and variation of grating index, also crosstalk. Research of application in OADM based on FBG by analytical analysis is analyzed based on mathematical equations and graphs results of calculations.

The analysis of OADM based on FBG for DWDM 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. Analysis of crosstalk in 100 GHz at channel spacing of 100 GHz in AWG showed crosstalk between -2.0360 to -0.0862 dB, while OADM based on FBG showed a small crosstalk between -25,1282 dB to -20,4846 dB.

**Keywords :** *OADM, FBG, DWDM, reflectivity, transmissivity, crosstalk.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

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, sehingga teknologi DWDM mampu menjadi solusi untuk meningkatkan kecepatan transmisi dan dapat memenuhi kapasitas jaringan yang tinggi.

Pada pentransmisi DWDM terdapat perangkat *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) yang memiliki aplikasi sistem pembagi spektrum panjang gelombang, salah satunya yaitu menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) (*Fiber-Optics*.Info, 2012). 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 (Raman Kashyap, 2010).

Beberapa hasil penelitian tentang karakterisasi FBG menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode *transfer-matrix* pada penetapan bilangan tertentu, nilai reflektivitas akan meningkat dengan bertambahnya perubahan indeks bias *grating* (Sunita Ugale, 2010) dan panjang *grating* (Abdallah Ikhlef, 2012). Pada skripsi “Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik Pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) Melalui Penerapan *Array Waveguide Grating* (AWG)” oleh Olivia Elsa Adriani telah dikemukakan bahwa kekurangan AWG dapat menimbulkan *crosstalk* yang tinggi akibat dari *array* yang berdekatan pada AWG.



Penelitian dalam skripsi ini akan membahas penerapan OADM menggunakan FBG yang dilakukan secara *analytical analysis*, dimana menganalisis berdasarkan rumus matematis dan grafik hasil perhitungan. Parameter penerapan OADM menggunakan FBG berdasarkan kenaikan jumlah kanal transmisi DWDM. Hal ini dikarenakan jumlah kanal transmisi DWDM menunjukkan banyaknya sinyal informasi yang dapat dikirimkan dalam sistem serat optik dalam waktu yang bersamaan.

Kajian penerapan OADM menggunakan FBG ditekankan pada pengaruh panjang *grating* terhadap kenaikan jumlah kanal transmisi, pengaruh reflektivitas dan transmitivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, serta analisis penerapan OADM menggunakan FBG diharapkan dapat mengurangi *crosstalk* yang menjadi kekurangan dari sistem AWG.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh panjang *grating* terhadap jumlah kanal transmisi ?
2. Bagaimana pengaruh reflektivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* ?
3. Bagaimana pengaruh transmitivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* ?
4. Bagaimana pengaruh *crosstalk* terhadap jumlah kanal transmisi ?

## 1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan rumusan masalah, agar pembahasan terfokus pada pokok pembahasan maka ruang lingkup pada penelitian antara lain :

1. Teknik pentransmisi menggunakan teknologi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) yang memiliki spasi antar kanal sempit sehingga mampu mengirimkan sinyal dengan kapasitas yang lebih besar.
2. Penelitian menggunakan serat optik *single mode* karena mempunyai satu mode rambatan yang berarti tidak mempunyai rugi-rugi antar ragam, sehingga mengurangi jumlah dispersi total sistem.



3. Parameter penerapan OADM menggunakan FBG yang diamati adalah pengaruh panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* terhadap transmitivitas, reflektivitas, serta *crosstalk*.
4. Penelitian menggunakan FBG tipe *grating uniform* karena memiliki periode *grating* yang tetap dan memudahkan analisis.
5. Penelitian menggunakan OADM berupa *optical circulator* karena memiliki struktur lebih sederhana dan dapat diamati secara *analytical analysis* tanpa memerlukan penelitian menggunakan alat secara langsung.
6. Penelitian tidak membahas jenis-jenis material dan rangkaian elektronik yang membangun perangkat sistem OADM menggunakan FBG pada teknik DWDM.
7. Analisis data dan perhitungan dalam penelitian akan disimulasikan menggunakan program Matlab 7.0.4 untuk lebih mempermudah dalam proses perhitungan dan penyajian data.

#### 1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dalam sistem serat optik.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

##### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka membahas tentang dasar teori *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM), prinsip kerja DWDM, komponen penyusun jaringan DWDM, kelebihan dan kekurangan DWDM, dasar teori *Optical Add-Drop Amplifir* (OADM) dan *Fiber Bragg Grating* (FBG), prinsip kerja OADM menggunakan FBG, dan parameter-

parameter yang digunakan untuk menghitung performansi kinerja dari OADM menggunakan FBG.

### **BAB III METODOLOGI**

Membahas metode pengambilan data, metode pembatasan parameter data, dan metode analisis data.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Membahas tentang analisis perhitungan terhadap penerapan OADM menggunakan FBG pada sistem serat optik pada teknik DWDM yang meliputi pengaruh panjang *grating* terhadap jumlah kanal transmisi, pengaruh reflektivitas dan transmitivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, serta *crosstalk*.

### **BAB V PENUTUP**

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dari pembahasan.

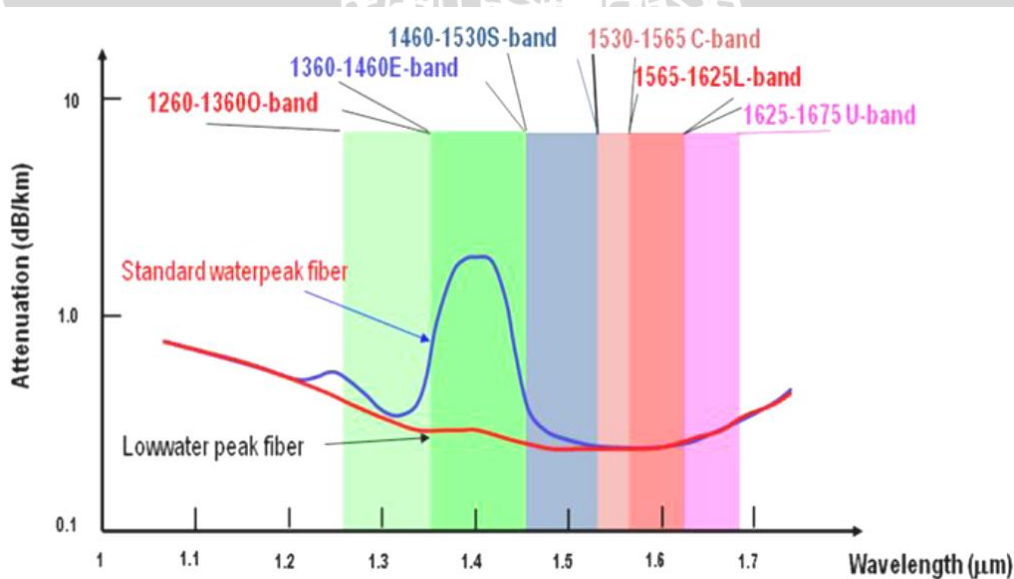


## BAB II TINJAUAN TEORI

### 2.1 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

*Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) adalah suatu teknik transmisi informasi dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda yang disalurkan dalam satu serat optik, sehingga tidak hanya digunakan pada jaringan utama (*backbone*) tetapi juga digunakan untuk jaringan akses karena memiliki fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan.

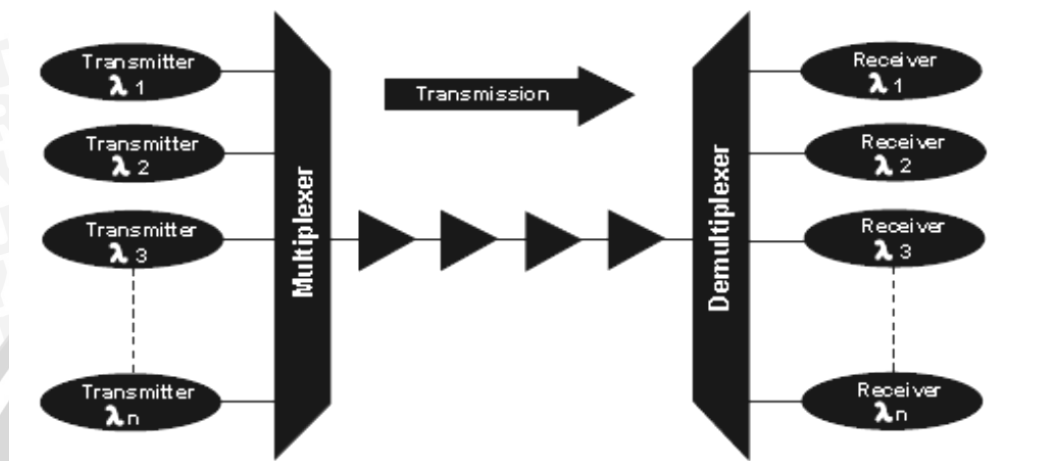
DWDM merupakan perkembangan dari teknologi WDM. Perbaikan dari WDM menuju DWDM adalah pada jenis filter dan *amplifier* yang digunakan. Jenis filter yang umum dipergunakan di dalam sistem DWDM ini antara lain *Fiber Bragg Gratings* (FBG) dan *Array Waveguide Filters* (AWG). Sedangkan EDFA (*Erbium Dopped Fiber Amplifier*) adalah penguat optik (*amplifier*) yang banyak digunakan karena memiliki karakteristik untuk semua panjang gelombang dalam spektrum DWDM (<http://www.techguide.com/>, 2012). Penentuan panjang gelombang yang berada dalam jangkauan DWDM sesuai dengan ketentuan ITU-T yaitu pada range panjang gelombang 1530 nm – 1565 nm dalam daerah kerja (*region*) C-Band.



**Gambar 2.1** Pembagian Daerah Kerja Pada Serat Optik  
(Sumber : [www.50megs.com](http://www.50megs.com))



Secara konseptual kinerja DWDM ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Jaringan DWDM terdiri dari banyak kanal. Tiap kanal diwakili dengan satu *transmitter*. Sinyal masuk berupa sinyal elektrik, kemudian dalam *transmitter*, sinyal elektrik tersebut diubah menjadi sinyal optik oleh sumber optik (LD/LED). Sinyal keluaran optik berupa sinyal optik yang mempunyai panjang gelombang tertentu.



Gambar 2.2 Sistem DWDM

(Sumber : <http://www.techguide.com/>, 2012)

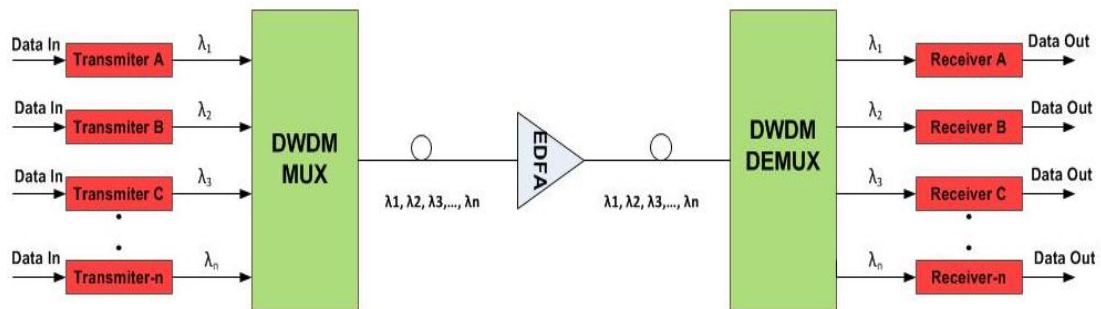
Sinyal optik dari setiap kanal akan menuju *multiplexer* untuk digabungkan dan ditransmisikan oleh serat optik. Pada *demultiplexer*, sinyal optik tersebut akan dipisahkan menjadi beberapa kanal dan dikeluarkan pada sisi penerima (*receiver*). Pada sisi penerima (*receiver*), sinyal optik akan dikonversi kembali menjadi sinyal elektrik oleh detektor optik (<http://www.iec.org/>, 2012).

Sehingga, teknologi DWDM ini memiliki kemampuan untuk membawa sejumlah panjang gelombang dalam satu serat tunggal sehingga dapat melewati beberapa sinyal informasi berupa data, video, maupun suara dengan waktu bersamaan, menggunakan banyak kanal yang sesuai dengan panjang gelombang sinyalnya (Gematel, 2001).

### 2.1.1 Komponen *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

Pada teknologi DWDM, terdapat beberapa komponen utama yang harus ada dalam mengoperasikan DWDM agar sesuai dengan standar channel ITU sehingga teknologi ini dapat diaplikasikan pada beberapa jaringan optik. Komponen-

komponennya yaitu : *transmitter*, *receiver*, *wavelength multiplexer*, *wavelength demultiplexer*, dan *optical amplifier* (Fiber-Optics.Info, 2012) .



**Gambar 2.3** Komponen Sistem DWDM

(Sumber : Fiber-Optics.Info, 2012)

### 2.1.1.1 Transmitter

Komponen yang mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik oleh sumber optik (LD/LED). Sinyal keluaran optik berupa sinyal optik yang mempunyai panjang gelombang tertentu. Komponen ini mengirimkan sinyal informasi untuk dimultiplexkan pada sistem DWDM. Sinyal dari *transmitter* ini akan dimultiplex untuk dapat ditransmisikan.

### 2.1.1.2 Receiver

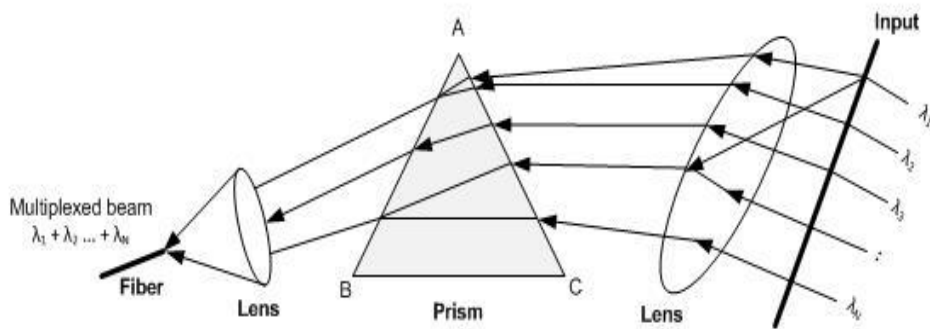
Komponen yang menerima sinyal informasi dari *demultiplexer* untuk dapat dipilah berdasarkan sinyal informasi yang telah dikirim. Sinyal optik tersebut akan dikonversi kembali menjadi sinyal elektrik oleh detektor optik.

### 2.1.1.3 Wavelength Multiplexer

Komponen yang menggabungkan sinyal *input* dengan panjang gelombang berbeda menjadi satu panjang gelombang termultipleks. *Wavelength multiplexer* dapat menggunakan peralatan sebagai berikut :

- a. Prisma, pada teknik ini masing-masing panjang gelombang *input* dipusatkan ke satu titik fokus yang dan dikopel menjadi satu keluaran dengan menambahkan lensa untuk memfokuskan tiap panjang gelombang tersebut.

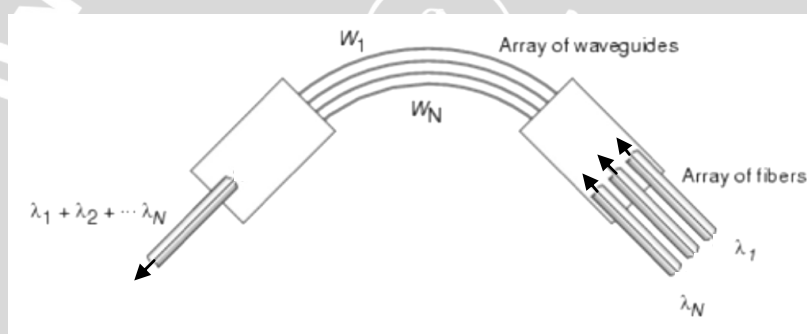




**Gambar 2.4** Teknik *Multiplexing* Menggunakan Prisma

(Sumber : Stamatios V.Kartalopoulos, 2000)

- b. *Grating*, penggunaan teknologi *grating* / kisi-kisi cahaya, antara lain adalah *Diffraction grating*, *Fiber Bragg Grating* (FBG) dan *Array Wavelength Grating* (AWG).



**Gambar 2.5** *Array Wavelength Grating* (AWG)

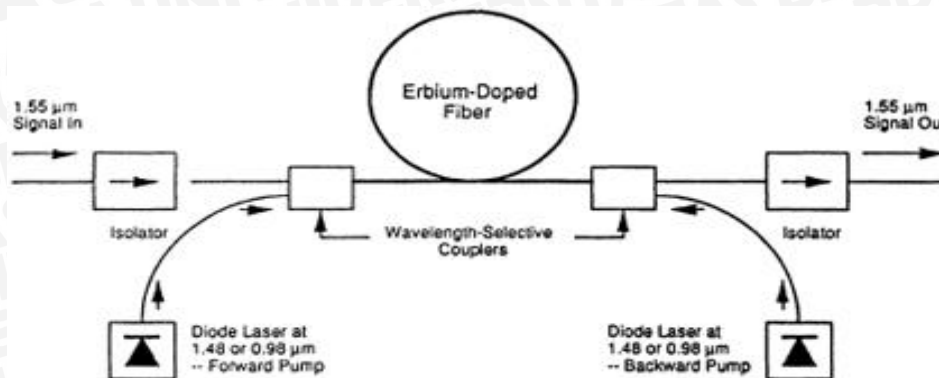
(Sumber : Dominik Bischoff, 2009)

Pada *Array Wavelength Grating* (AWG) sebagai *wavelength multiplexer* akan mengkombinasikan banyak sinyal masukan dari *input slab waveguide*, kemudian gelombang mengalami efek pembiasan (*diffraction*), berpropagasi di *array waveguide*, dan sinyal keluaran akan berada pada sisi yang sama pada *output slab waveguide*.

#### 2.1.1.4 *Intermediate Optical Terminal (Optical Amplifier)*

Komponen yang digunakan untuk menguatkan sinyal karena pada proses pentransmision jarak jauh, sinyal informasi akan mengalami *atenuasi* dan *dispersi* yang dapat melemahkan sinyal. *Optical amplifier* yang biasa digunakan dalam serat optik yaitu EDFA (*Erbium Dopped Fiber Amplifier*) mampu beroperasi pada range

panjang gelombang yang cukup lebar (C-band dan L-band) yang memiliki *atenuasi* minimum.



Gambar 2.6 Arsitektur EDFA

(Sumber: J. Buck, 2001)

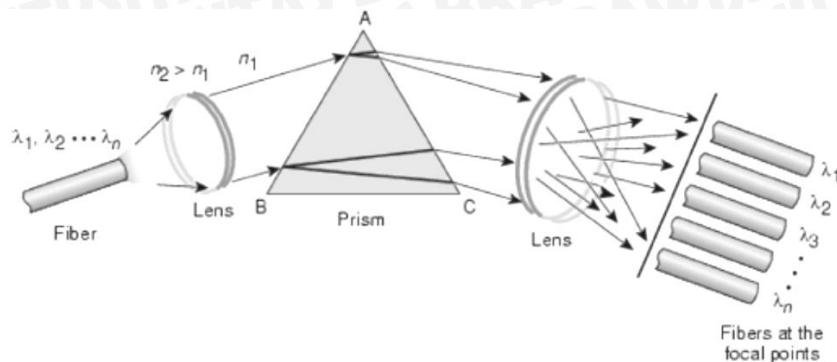
Pada Gambar 2.6, sinyal masukan akan mengalami *atenuasi* dan *dispersi* pada saat pentransmisian sinyal, sinyal masukan akan melewati isolator, kemudian pada *diode laser* (pada kondisi *forward/backward pump*) terdapat sinyal pompa yang apabila telah mencapai tingkat emisi tertentu akan digabungkan dengan sinyal masukan menggunakan *wavelength-selective couplers*, sehingga pada EDFA terjadi penguatan sinyal dan memiliki sinyal keluaran sebesar sinyal keluaran. Peletakkan isolator sebelum dan sesudah EDFA mencegah sinyal pompa yang sedang dikirimkan untuk menguatkan sinyal bergabung dengan sinyal transmisi.

#### 2.1.1.5 Wavelength Demultiplexer

Merupakan peralatan yang memisahkan sinyal menjadi beberapa sinyal *output* dengan panjang gelombang yang berbeda. *Wavelength demultiplexer* dapat menggunakan peralatan sebagai berikut :

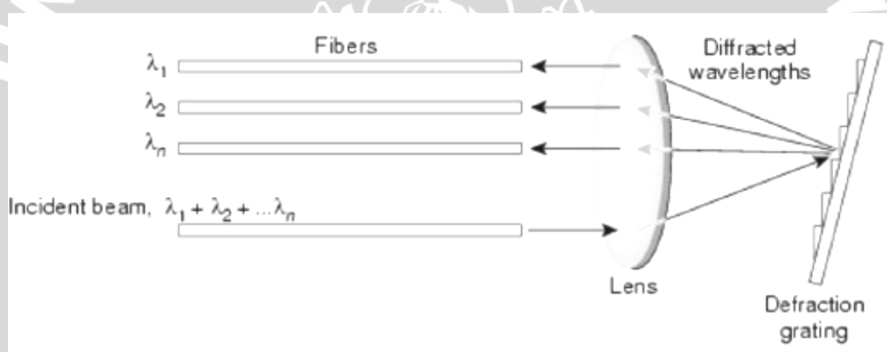
- a. Prisma, membiaskan tiap komponen panjang gelombang (adanya efek pelangi). Keluaran cahaya terdiri dari beberapa panjang gelombang yang dipisahkan dengan sudut tertentu. Kemudian ditambahkan lensa untuk memfokuskan tiap panjang gelombang ke titik tertentu pada serat.





**Gambar 2.7** Teknik *Demultiplexing* Menggunakan Prisma  
(Sumber : Dominik Bischoff, 2009)

- b. *Grating*, beberapa teknik *grating* untuk demultiplexer yaitu antara lain *diffraction grating*, *Fiber Bragg Grating* (FBG), dan *Array Wavelength Grating* (AWG).



**Gambar 2.8** Teknik *Demultiplexing* Menggunakan *Diffraction Grating*  
(Sumber : Dominik Bischoff, 2009)

Pada *diffraction grating* sebagai *wavelength demultiplexer*, sinyal masukan akan dipusatkan menggunakan lensa sesuai sudut pantul permukaan *grating*, meskipun berkas difraksi memenuhi persamaan *grating*, tetapi salah satu orde akan lebih tinggi intensitasnya dari orde lainnya sehingga akan mengalami *diffracted wavelength*. Kemudian ditambahkan lensa untuk memfokuskan tiap panjang gelombang ke titik tertentu pada serat untuk menghasilkan panjang gelombang yang berbeda-beda.

### 2.1.2 Keunggulan dan Kelemahan DWDM

Pengimplementasikan sistem DWDM adalah solusi untuk pemenuhan kapasitas jaringan besar dalam jangka panjang yang tinggi dan memiliki

fleksibilitas. Hal ini disebabkan beberapa keunggulan DWDM dibandingkan dengan sistem yang lain, antara lain :

- a. Pengimplementasikan DWDM tidak diperlukan membuat jaringan fiber baru, tetapi cukup menggunakan jaringan fiber yang sudah ada dan mengintegrasikan perangkat SDH eksisting dengan perangkat DWDM sehingga dapat menurunkan biaya instalasi dengan karakteristik *fiber* mengacu pada rekomendasi ITU-T seri G.652 dan seri G.653 yang umum digunakan pada jaringan *backbone* dan jaringan akses.
- b. Kemampuan inti *fiber* mengacu pada rekomendasi ITU-T seri G.655  
Jenis fiber yang sesuai dengan rekomendasi ITU-T G.655 adalah jenis fiber yang memiliki karakteristik umum *Non Zero Dispersion Shifted Fiber* (NZDSF), yaitu jenis fiber yang memiliki perlakuan *dispersi* tidak nol, tetapi juga tidak lebar. *Dispersi* adalah peristiwa pelebaran cahaya karena ketidaksempurnaan bahan optik. *Dispersi* yang terlalu besar akan mengakibatkan kesalahan pada pembacaan sinyal, karena terlalu lebarnya sinyal. Sedangkan *dispersi* terlalu kecil juga akan mengakibatkan kesalahan karena terlalu rampingnya sinyal. Disamping itu, keunggulan dari jenis fiber ini adalah mengoptimalkan area yang dikenal dengan nama "*blue band*" sebagai daerah ekspansi untuk pengalokasian jumlah panjang gelombang (berada di area 1560 nm). Secara garis besar keuntungan memanfaatkan fiber jenis NZDSF adalah tidak ada kompensasi yang diperlukan untuk mengeliminasi efek *dispersi* pada kecepatan 10 Gbps sehingga jarak yang lebih panjang dapat ditempuh pada kecepatan transmisi 10 Gbps.
- c. Tepat untuk diimplementasikan pada jaringan telekomunikasi jarak jauh dalam sistem *point-to-point* maupun topologi *ring* dan protokol jaringan. (Tidak merubah format sinyal/bit rate, tetapi hanya menyalurkan).
- d. DWDM dapat digunakan untuk penambahan kapasitas sehingga dapat memenuhi permintaan pelanggan yang berkembang.

Sedangkan kelemahan DWDM yaitu membutuhkan *transmitter* yang lebih stabil dan presisi. Sehingga, membutuhkan laser yang menggunakan teknologi tinggi dengan toleransi panjang gelombang yang presisi dan sangat sempit (0,1 nm) (<http://www.techguide.com/>, 2012).



## 2.2 Optical Add-Drop Multiplexer (OADM)

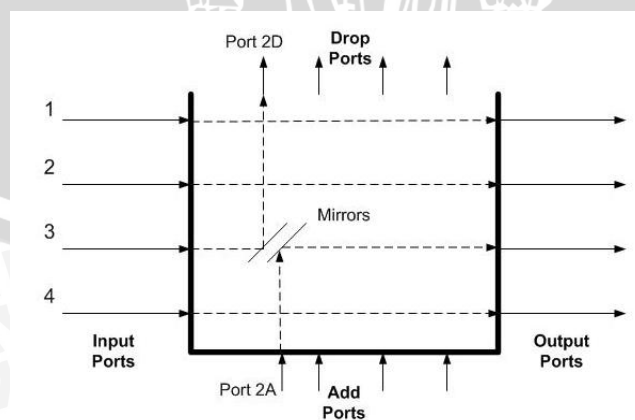
*Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) adalah perangkat untuk menyisipkan dan mengeluarkan satu atau beberapa kanal pada titik tertentu pada jaringan optik *multiwavelength*. Proses *Add/Drop* adalah proses dimana sebagian informasi pada sebuah sistem transmisi didemultipleks (dikeluarkan) pada titik pertengahan sistem dan informasi yang berbeda dimultipleks (disisipkan) untuk pentransmisi berikutnya.

### 2.2.1 Prinsip Kerja *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM)

Kinerja *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) dalam menyisipkan dan mengeluarkan panjang gelombang pada pentransmisi sinyal optik dapat sebagai *active optical device* maupun *passive optical device*.

#### 2.2.1.1 *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) Sebagai *Active Optical Device*

OADM sebagai *active optical device* merupakan perangkat optik yang memerlukan komponen aktif optik untuk mengatur panjang gelombang yang dikeluarkan (*drop*) ataupun disisipkan (*add*). Prinsip kerja OADM sebagai *active optical device* ditunjukkan pada Gambar 2.9, dimana OADM yang memiliki empat *port* masukan dan empat *port* keluaran. Fungsi *add* dan *drop* dikendalikan oleh komponen aktif optik, berupa MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) dimana cermin diaktifkan secara selektif untuk menghubungkan jalur serat yang diinginkan. Apabila cermin tidak diaktifkan, maka masing-masing *port input* akan menuju ke *port output*.



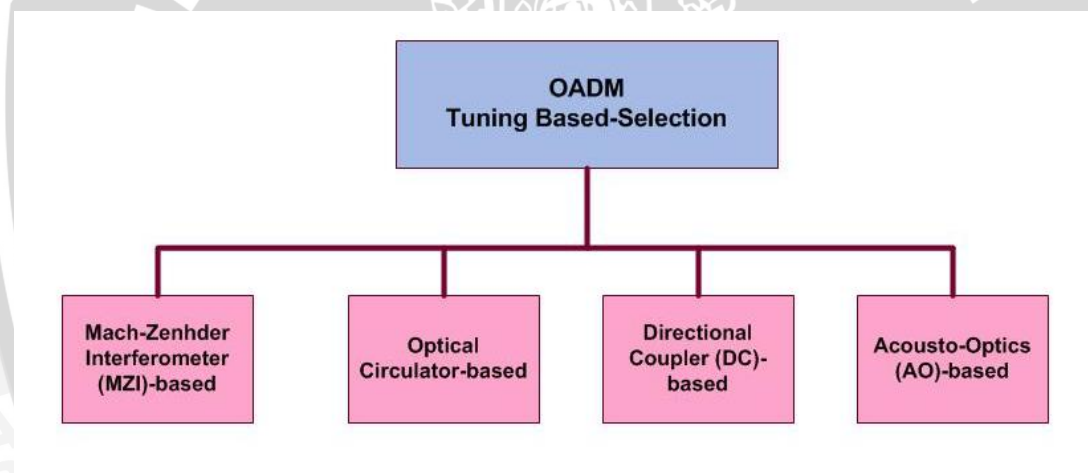
**Gambar 2.9** *Active Optical Device* OADM

(Sumber : Gerd Keiser, 2004)

Sinyal yang masuk dapat dikeluarkan dari kanal transmisi dengan mengaktifkan pemasangan cermin yang sesuai. Misalnya, pada panjang gelombang pada *port input* 3 akan dikeluarkan menuju *port drop* (*port 2D*) dengan cara mengaktifkan cermin. Pada saat sebuah panjang gelombang dikeluarkan akan ditambahkan panjang gelombang lain dari *port add* (*port 2A*) sehingga memungkinkan panjang gelombang baru yang akan disisipkan pada kanal transmisi.

**2.2.1.2 Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) Sebagai Passive Optical Device**

OADM sebagai *passive optical device* merupakan perangkat optik statis dimana tidak memerlukan komponen optik aktif untuk mengatur panjang gelombang yang dikeluarkan (*drop*) ataupun disisipkan (*add*). Beberapa struktur OADM sebagai *passive optical device* ditunjukkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Struktur OADM  
(Sumber : Benjamin et al, 2001)

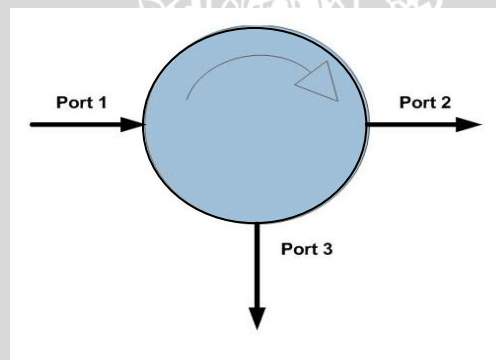
Struktur OADM dapat berupa *Mach-Zehnder Interferometers* (MZI), *Optical Circulator* (OC), *Directional Coupler* (DC), dan *Acousto-Optics* (AO). *Mach-zehnder interferometers* (MZI) merupakan perangkat yang dapat mengarahkan cahaya untuk dapat diterima di beberapa saluran, namun untuk mengetahui karakterisasi perangkat diperlukan proses simulasi menggunakan *photonic transmission simulation*. *Directional coupler* (DC) merupakan perangkat yang terdiri dari dua panjang gelombang yang sejajar, dimana salah satunya berfungsi untuk mengeluarkan panjang gelombang, dan terdapat *coupler* untuk menggabungkan





panjang gelombang. Sedangkan, *acusto-optics* (AO) merupakan perangkat untuk mengarahkan cahaya dengan mengontrol sudut keluaran sinar laser pada sumber optik.

*Optical Circulator* (OC) adalah perangkat *nonreciprocal multiport passive* yang mengarahkan cahaya secara berurutan dari *port* satu ke *port* yang lain dalam satu arah. Prinsip kerja *optical circulator* yaitu masukan cahaya pada *port* 1 akan dikirim keluar pada *port* 2, kemudian masukan pada *port* 2 dikirim keluar pada *port* 3, dan masukan pada *port* 3 akan dikirim keluar pada *port* 1. Sehingga memiliki *port* 1 sebagai *port input*, *port* 2 sebagai *port input-output*, dan *port* 3 sebagai *port output*. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan struktur OADM berupa *optical circulator* (OC) karena memiliki struktur yang paling sederhana dan dapat diamati secara *analytical analysis* tanpa memerlukan penelitian menggunakan alat secara langsung



**Gambar 2.11** *Optical Circulator*  
(Sumber : Gerd Keiser, 2004)

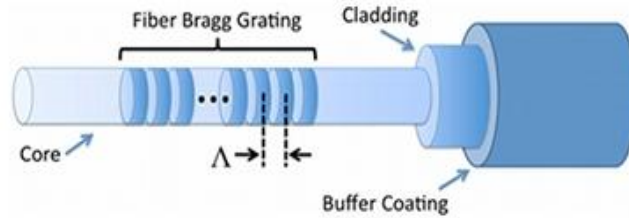
Pada OADM memiliki beberapa aplikasi sistem untuk pembagi spektrum panjang gelombang dalam pentransmisiannya, yaitu antara lain menggunakan *Arrayed Waveguide Gratings* (AWG), *Fabry-Perot Filter*, *Bragg Grating in Mach-Zender interferometers*, dan *Fiber Bragg Grating with Optical Circulator*.

### 2.3 *Fiber Bragg Grating* (FBG)

*Fiber Bragg Grating* (FBG) adalah perangkat optik yang mampu merefleksikan panjang gelombang tertentu bergantung periode *grating* dan perubahan indeks bias 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 (Raman Kashyap, 2010).



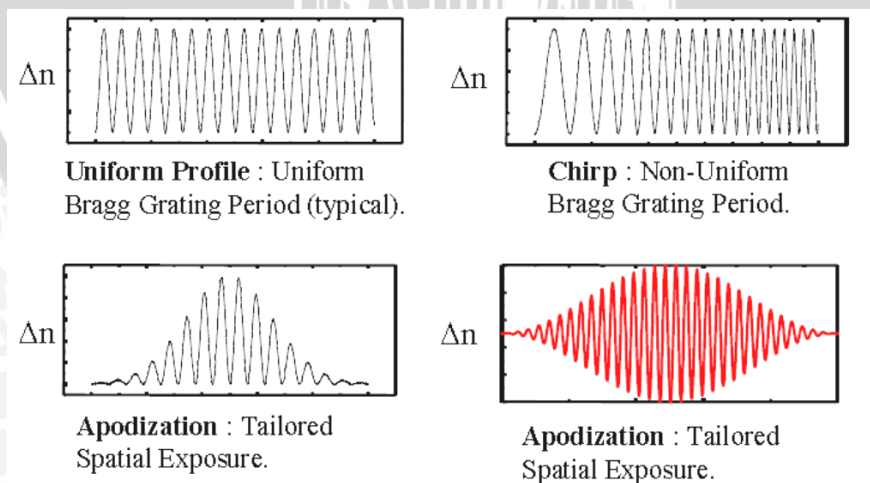
**Gambar 2.12** Peletakan FBG Pada Serat Optik  
(Sumber : National Instruments, 2011)

### 2.3.1 Tipe *Grating* Pada *Fiber Bragg Grating* (FBG)

Pembentukan *grating* dalam serat optik dapat dilakukan dengan penyinaran serat menggunakan sumber optik untuk mendapatkan indeks bias inti yang berubah-ubah dengan periode tertentu yang sejajar.

Tipe *grating uniform* mempunyai periode tetap dalam arah membujur dengan refleksi panjang gelombang yang curam dan puncak yang tajam. Dimungkinkan bandwidth 0,1 bahkan lebih kecil tergantung pada *grating*.

Tipe *grating chirped* mempunyai periode berubah-ubah dalam arah membujurnya. Perubahan periode yang kontinu akan menjadikan perubahan secara kontinu pula terhadap panjang gelombang yang dipantulkan dan akan didapatkan bentuk gelombang yang lebar.

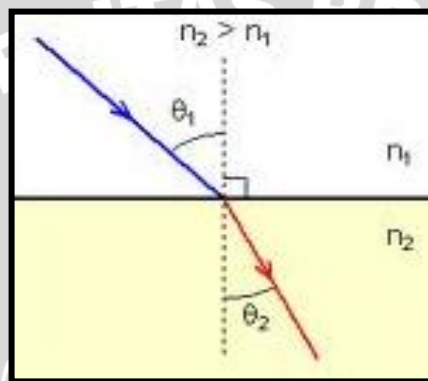


**Gambar 2.13** Perubahan Indeks Bias Untuk Berbagai Tipe *Grating*  
(Sumber : Alessandra chiareli, 1999)

Teknik *grating* “*apodization*”, yaitu amplitudo perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta n$ ) berubah sepanjang *grating*-nya agar dapat menekan panjang gelombang pada *sidelobe* yang tidak diinginkan, selain itu dipergunakan untuk mengatur bentuk spektrum *envelope* refleksinya (Alessandra chiareli, 1999).

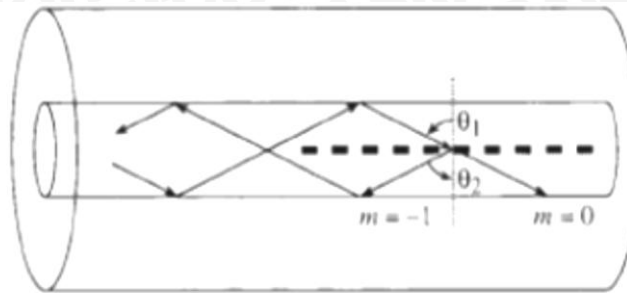
### 2.3.2 Prinsip Kerja *Fiber Bragg Grating* (FBG)

Berawal dari hukum pembiasan cahaya, sinar ditransmisikan dari media dengan indeks bias rendah ke indeks bias tinggi dan akan dibelokkan mendekati garis normal.

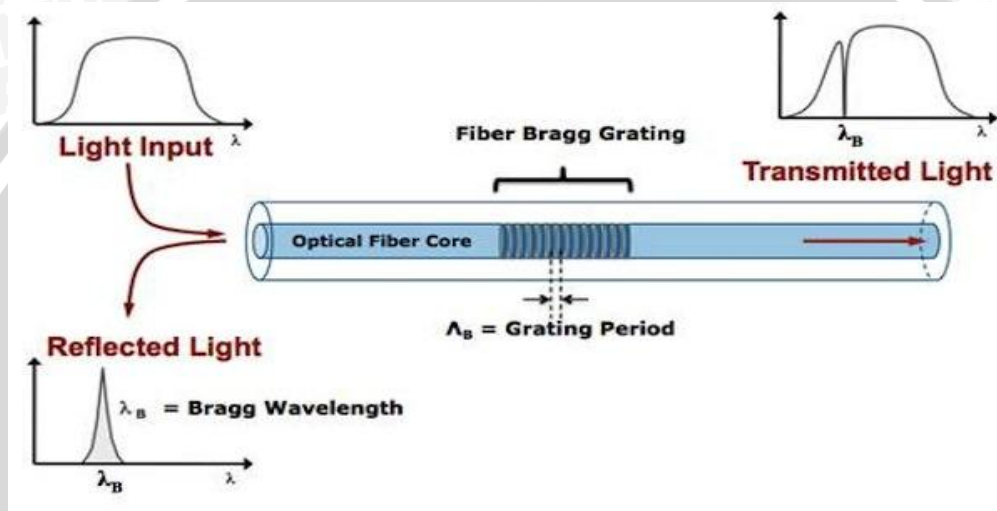


**Gambar 2.14** Pembelokan Sinar Setelah Memasuki Media Berindeks Bias Lebih Tinggi  
(Sumber : Physicsforums, 2009)

Pada Gambar 2.14, cahaya dari sumber optik diarahkan ke fiber optik dengan panjang gelombang dan intensitas bergantung material inti. Peletakan FBG pada bagian inti serat akan memiliki *grating* dengan periode tertentu dengan indeks bias refraktif (*effektive*) lebih tinggi dibandingkan indeks bias inti material ( $n_{\text{eff}} > n_{\text{core}}$ ), sehingga akan terjadi pembiasan cahaya dari inti material akibat kerapatan medium yang berbeda. Cahaya yang mengalami pembiasan akan diteruskan untuk ditransmisikan pada FBG, sedangkan cahaya yang menumbuk medium berbeda akan mengalami pembelokan dari inti serat sehingga terjadi penrefleksian cahaya.



Gambar 2.15 Penrefleksiian sinar pada FBG  
(Sumber :Sunita Ugale , 2010)



Gambar 2.16 Penrefleksiian dan Pentransmisiian Panjang Gelombang Pada FBG  
(Sumber : Kellis Garret, 2012)

Berdasarkan konseptual pembiasan dan penrefleksiian cahaya tersebut, maka panjang gelombang yang mengalami penrefleksiian akan memenuhi kondisi *bragg*, dengan persamaan panjang gelombang *bragg* adalah :

$$\lambda_B = 2 n_{\text{eff}} \Lambda \quad (2-1)$$

dengan:

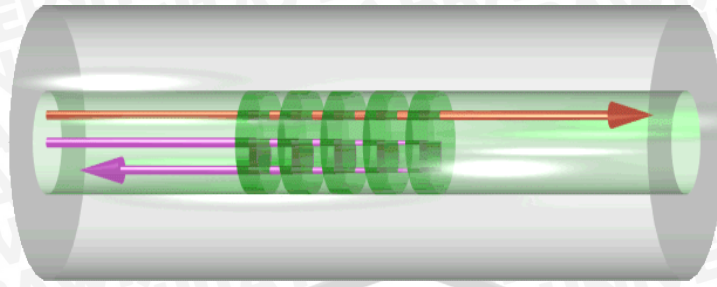
$\lambda_B$  = panjang gelombang pusat *grating* (nm)

$n_{\text{eff}}$  = indeks bias refraktif (*effektive*)

$\Lambda$  = periode *grating*

panjang gelombang pusat *grating* FBG harus sama dengan panjang gelombang transmisinya, sedangkan panjang gelombang yang tidak mengalami refleksi akan ditransmisikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



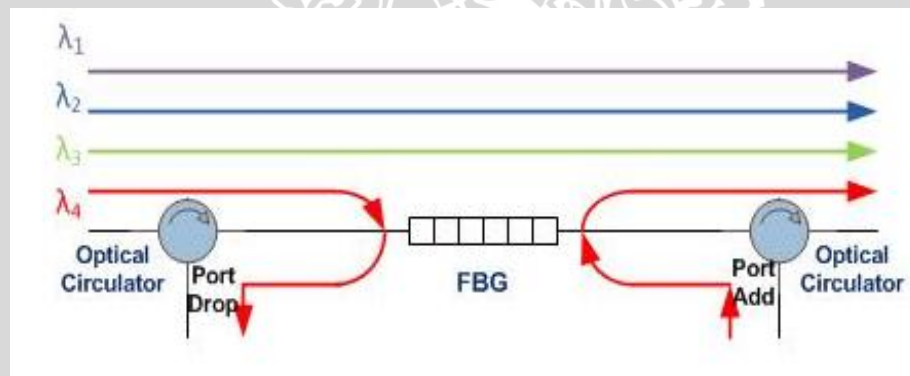


**Gambar 2.17** Sinar Refleksi dan Transmisi Pada FBG

( Sumber : <http://www.aos-fiber.com/>, 2009)

#### 2.4 *Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) Menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) Pada Teknik Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*

Pada penelitian skripsi ini *Optical Add-Drop Multiplexer (OADM)* berupa *Optical Circulator (OC)* dengan aplikasi sistem untuk pembagi spektrum panjang gelombang menggunakan *Fiber Bragg Grating (FBG)*. Secara konseptual kinerja OADM menggunakan FBG pada pentransmisian *multiwavelength* ditunjukkan oleh Gambar 2.18.



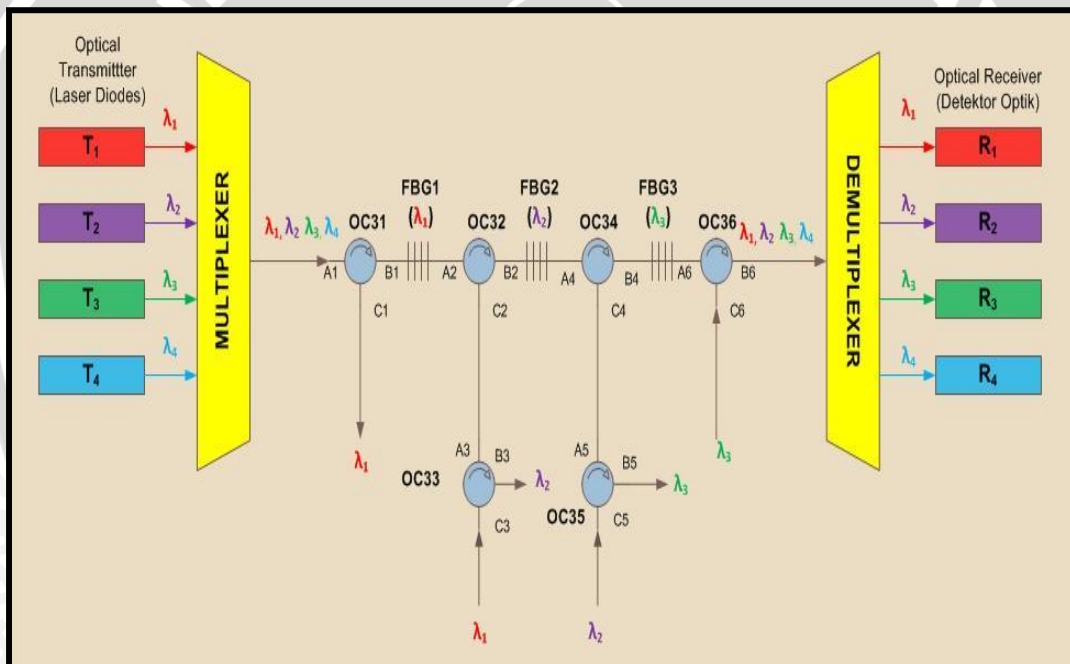
**Gambar 2.18** Perangkat OADM Berupa *Optical Ciculator* menggunakan FBG

(Sumber : [da.wikipedia.org](http://da.wikipedia.org), 2007)

Perangkat FBG hanya dapat merefleksikan satu panjang gelombang tertentu, sedangkan panjang gelombang yang tidak mengalami refleksi pada FBG akan ditransmisikan. Pada Gambar 2.18, panjang gelombang  $\lambda_4$  yang melewati FBG akan direfleksikan dan dikeluarkan (didemultipleks) pada *port drop optical circulator*. Kemudian, pada pentransmisian berikutnya panjang gelombang  $\lambda_4$  akan kembali disisipkan (dimultipleks) oleh *port add optical circulator* untuk digabungkan dengan panjang gelombang lainnya.

#### 2.4.1 Prinsip Kerja *Optical Add-Drop Multiplexer (OADM)* Menggunakan *Fiber Bragg Grating (FBG)* Pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*

Prinsip kerja OADM menggunakan FBG pada teknik DWDM dengan transmisi empat panjang gelombang ditunjukkan oleh Gambar 2.19. Dalam proses *multiplexing* dan *demultiplexing* empat panjang gelombang diperlukan 3 buah FBG yaitu FBG1, FBG2, dan FBG3 untuk merefleksikan masing-masing panjang gelombang  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , dan mentransmisikan panjang gelombangnya, sehingga dalam penggabungan dan pemisahan panjang gelombang sebanyak N, dibutuhkan N-1 perangkat FBG. OADM berupa *optical circulator (OC)* untuk mengeluarkan dan menyisipkan panjang gelombang, yaitu OC31, OC32, OC33, OC34, OC35, dan OC36.



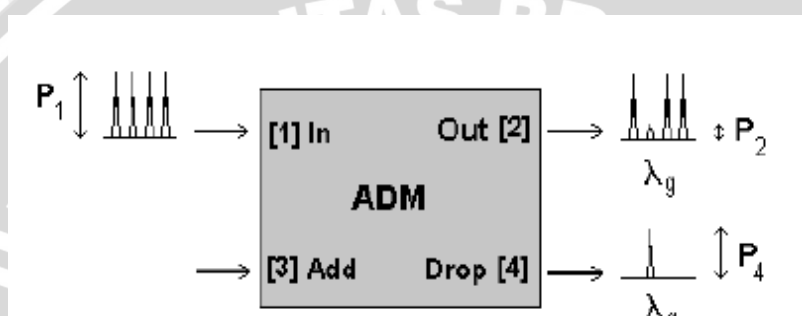
**Gambar 2.19** Blok Diagram Transmisi Empat Panjang Gelombang Pada Perangkat OADM menggunakan FBG

Panjang gelombang yang berbeda ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , dan  $\lambda_4$ ) akan menuju *port* A1 pada OC31 kemudian diarahkan menuju *port* B1, saat melewati FBG1 maka  $\lambda_1$  akan direfleksikan menuju *port* C1 untuk dikeluarkan (terjadi proses *demultiplexing*) sedangkan panjang gelombang lainnya akan ditransmisikan menuju *port* A2 pada OC32, kemudian diarahkan menuju *port* B2, saat melewati FBG2 maka  $\lambda_2$  akan



direfleksikan menuju *port* C2 yang secara langsung terhubung dengan *port* A3 pada OC33 untuk dikeluarkan pada *port* B3 pada OC33 (terjadi proses *demultiplexing*), demikian pula untuk merefleksikan  $\lambda_3$ .

Proses *multiplexing* penggabungan panjang gelombang yaitu  $\lambda_1$  yang telah direfleksikan menuju *port* C1 akan disisipkan kembali pada *port* C3 di OC33,  $\lambda_2$  yang telah direfleksikan menuju *port* B3 akan disisipkan kembali pada *port* C5 di OC35, dan  $\lambda_3$  yang telah direfleksikan menuju *port* B5 akan disisipkan kembali pada *port* C6 di OC36, sehingga panjang gelombang  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3,$  dan  $\lambda_4$  akan terjadi proses *multiplexing*.



**Gambar 2.20** Penurunan Daya Keluaran pada *Port Drop*  
(Sumber : Raman Kashyap , 2010)

Pada saat panjang gelombang direfleksikan oleh FBG dan keluar menuju *port drop* maka panjang gelombang yang direfleksikan tersebut akan mengalami penurunan daya. Kemudian apabila pada *port add* ditambahkan panjang gelombang yang telah terefleksi, maka sinyal informasi yang diinginkan akan mempunyai panjang gelombang yang sama dengan sinyal interferensi tersebut, sehingga menimbulkan *intrachannel crosstalk* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20 ( M. Mahiuddin et al, 2010).

## 2.5 Dispersi Serat Optik

Dispersi adalah peristiwa pembelokan cahaya karena ketidaksempurnaan bahan optik dimana cahaya mempunyai frekuensi dan *mode* yang berbeda sehingga akan menjalar pada kecepatan yang berbeda pula sehingga pulsa cahaya menjadi semakin lebar dari semula yang dipropagasikan sepanjang serat optik. Secara umum ada tiga macam dispersi serat (Casimer DeCusatis, 2002) :

- Dispersi material atau dispersi kromatik

- Dispersi pandu gelombang
- Dispersi modal (*intermodal*)

Dispersi material dan pandu gelombang dipengaruhi oleh frekuensi yang bergantung pada kecepatan propagasi. Sedangkan dispersi *intermodal* terjadi akibat mode-mode propagasi yang berbeda.

Dispersi total serat merupakan akar dari penjumlahan semua dispersi dalam serat. Secara matematik dinyatakan dengan :

$$\tau_{fiber} = \sqrt{\tau_{material}^2 + \tau_{waveguide}^2 + \tau_{intermodal}^2} \quad (2-2)$$

dengan :

$\tau_{fiber}$  = dispersi total serat (ps)

$\tau_{material}$  = dispersi material (ps)

$\tau_{waveguide}$  = dispersi pandu gelombang (ps)

$\tau_{intermodal}$  = dispersi *intermodal* (ps)

untuk dispersi total per-satuan panjang serat optik,  $t_{fiber}$  (ps/km) adalah :

$$t_{fiber} = \sqrt{t_{material}^2 + t_{waveguide}^2 + t_{intermodal}^2} \quad (2-3)$$

dengan :

$t_{fiber}$  = dispersi total serat per-satuan panjang (ps/km)

$t_{material}$  = dispersi material per-satuan panjang (ps/km)

$t_{waveguide}$  = dispersi pandu gelombang per-satuan panjang (ps/km)

$t_{intermodal}$  = dispersi *intermodal* per-satuan panjang (ps/km)

### 2.5.1 Dispersi Material

Dispersi material disebabkan oleh berubah-ubahnya indeks refraksi (effektif) dari inti material dalam serat optik sebagai fungsi dari panjang gelombang optik. Persamaan untuk dispersi material adalah (Casimer DeCusatis, 2002) :

$$\tau_{material} = t_{dm} \times \Delta\lambda \times D \quad (2-4)$$

dengan :

$\tau_{material}$  = dispersi material/bahan (ps)

$t_{dm} = \frac{\lambda}{c} \frac{d^2n}{d\lambda^2}$ , koefisien dispersi material (ps/(nm.km))

$\Delta\lambda$  = lebar spektral sumber cahaya (nm)



D = panjang serat optik (km)

Sehingga dispersi material per-satuan panjang,  $t_{\text{material}}$  (ps/km) adalah :

$$t_{\text{material}} = t_{\text{dm}} \times \Delta\lambda \quad (2-5)$$

dengan :

$t_{\text{material}}$  = dispersi material per-satuan panjang (ps/km)

$t_{\text{dm}}$  = koefisien dispersi material (ps/(nm.km))

$\Delta\lambda$  = lebar spektral sumber cahaya (nm)

### 2.5.2 Dispersi Pandu Gelombang

Dispersi Pandu Gelombang (*waveguide dispersion*) disebabkan oleh konstanta propagasi  $\beta$  yang merupakan fungsi dari  $a/\lambda$  (dimensi serat optik terhadap panjang gelombang  $\lambda$ , dimana  $a$  adalah jari-jari inti) (Gerd Keiser, 2004). Jika inti tidak simetris, cahaya yang mealuinya pada satu polarisasi bergerak lebih lambat atau lebih cepat dibanding cahaya yang merambat pada polarisasi lain. Hal ini menyebabkan pulsa menyebar dan menjadi *overlap* dengan yang lain atau mengubah bentuk pulsa hingga cukup untuk membuat tidak dapat terdeteksi pada penerima.

Persamaan untuk dispersi pandu gelombang adalah (Casimer DeCusatis, 2002) :

$$\tau_{\text{waveguide}} = \frac{D}{c\lambda} (n_1 - n_2) t_{\text{wg}} \cdot \Delta\lambda \quad (2-6)$$

dengan :

$\tau_{\text{waveguide}}$  = dispersi pandu gelombang (ps)

D = panjang serat optik (km)

$n_1$  = indeks bias inti

$n_2$  = indeks bias selubung

$t_{\text{wg}}$  = koefisien dispersi tanpa dimensi persamaannya adalah :

$$t_{\text{wg}} = \frac{4(1 - \ln v)}{v^2} \quad (2-7)$$

$v$  = frekuensi ternormalisasi, menyatakan batas *mode-mode* sinyal optik yang dapat berpropagasi di dalam inti serat optik, dengan persamaan sebagai berikut :

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2-8)$$

dengan :

- a = jari- jari inti serat optik ( $\mu\text{m}$ )
- $\lambda$  = panjang gelombang pusat pancaran (nm)
- $n_1$  = indeks bias inti
- $n_2$  = indeks bias selubung

Maka, besar dispersi pandu gelombang per-satuan panjang serat optik,  $t_{\text{waveguide}}$  (ps/km) adalah :

$$t_{\text{waveguide}} = \frac{(n_1 - n_2) t_{wg} \Delta\lambda}{c \cdot \lambda} \quad (2-9)$$

dengan :

- $t_{\text{waveguide}}$  = dispersi pandu gelombang per-satuan panjang (ps/km)
- $t_{wg}$  = koefisien dispersi tanpa dimensi
- $n_1$  = indeks bias inti
- $n_2$  = indeks bias selubung
- $\Delta\lambda$  = lebar spektral sumber cahaya (nm)
- c = kecepatan cahaya ruang hampa (m/s)
- $\lambda$  = panjang gelombang pusat pancaran (nm)

### 2.5.3 Dispersi *Intermodal*

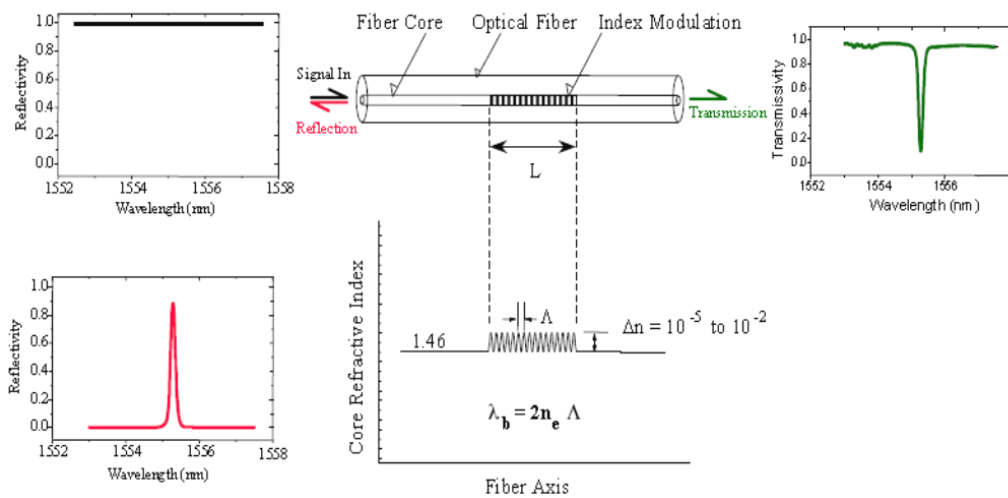
Dispersi *intermodal* merupakan dispersi yang ditimbulkan oleh *mode-mode* gelombang berbeda yang terjadi pada serat *multimode*. Sehingga, pada serat *singlemode* tidak mengalami dispersi *intermodal* karena hanya satu *mode* saja yang berpropagasi di dalamnya.

### 2.6 Parameter Penerapan *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) Menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG)

Pada Gambar 2.21 menunjukkan skema sinyal yang diamati dalam penggunaan FBG pada OADM.







**Gambar 2.21** Skema Sinyal pada FBG

(Sumber : Alessandra chiareli, 1999)

maka terdapat beberapa parameter yang dapat menunjukkan pengaruh penerapan OADM menggunakan FBG, yaitu : panjang *grating* ( $L$ ) , perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta n$ ), dan *crosstalk*.

### 2.6.1 Panjang *Grating* ( $L$ )

Panjang *grating* menunjukkan panjang kisi-kisi cahaya (*grating*) dari FBG pada saat merefleksikan panjang gelombang, untuk mendapatkan panjang *grating* harus disesuaikan dengan *delay* refleksi dan *bandwidth* output *grating* yang diinginkan (Alessandra chiareli, 1999).

$$L = \frac{c \Delta\lambda_g t_g}{2n_{eff}} \tag{2-10}$$

dengan :

- $L$  = panjang *grating* (m)
- $c$  = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)
- $\Delta\lambda_g$  = *bandwidth grating* (nm)
- $n_{eff}$  = indeks bias efektif
- $t_g$  = *delay* refleksi FBG (ps/nm)

*Bandwidth grating* pada DWDM harus mencakup seluruh range panjang gelombang dalam semua kanalnya, sesuai dengan persamaan :



$$\Delta\lambda-g = \lambda_{\text{maksimum}} - \lambda_{\text{minimum}} \quad (2-11)$$

dengan :

$$\Delta\lambda-g = \textit{bandwidth grating} \text{ (nm)}$$

$$\lambda_{\text{maksimum}} = \lambda_{\text{kanal maksimum}} + \lambda_{\text{kanal referensi}} \text{ (nm)} \quad (2-12)$$

$$\lambda_{\text{minimum}} = \lambda_{\text{kanal minimum}} - \lambda_{\text{kanal referensi}} \text{ (nm)} \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{kanal referensi}} (\lambda_{\text{reff}}/2) &= 1552,52 \text{ nm} \\ &= \Delta\omega \text{ (Spasi Kanal Minimum)} / 2 \\ &= 0,8 / 2 \text{ (ITU-T recommendation G.692)} \end{aligned}$$

Delay refleksi FBG yang dihasilkan harus sama dengan besar dispersi yang muncul untuk mendapatkan keseluruhan panjang gelombang dalam lebar spektral pulsa optik tiba pada waktu yang sama setelah melewati FBG.

$$t_g = \frac{t_{\text{material}} \cdot D_{\text{(FBG)}}}{\Delta\lambda-g} \quad (2-14)$$

dengan :

$$t_g = \textit{delay refleksi FBG} \text{ (ps/nm)}$$

$$t_{\text{material}} = \textit{dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik}, \Delta\lambda \text{ (ps/km)}$$

$$D_{\text{(FBG)}} = \textit{jarak penempatan FBG} \text{ (km)}$$

$$\Delta\lambda-g = \textit{bandwidth grating} \text{ (nm)}$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2-14) kedalam Persamaan (2-10), didapatkan panjang *grating* adalah

$$L = \frac{c \cdot t_{\text{material}} \cdot D_{\text{(FBG)}}}{2n_{\text{eff}}} \quad (2-15)$$

dengan :

$$L = \textit{panjang grating} \text{ (m)}$$

$$c = \textit{kecepatan cahaya di ruang hampa} \text{ (m/s)}$$

$$t_{\text{material}} = \textit{dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik}, \Delta\lambda \text{ (ps/km)}$$

$$D_{\text{(FBG)}} = \textit{jarak penempatan FBG} \text{ (km)}$$

$$n_{\text{eff}} = \textit{indeks bias efektif}$$

Jarak penempatan FBG akan mempengaruhi laju bit transmisi di sepanjang jarak pentransmision. Perhitungan jarak penempatan FBG disesuaikan dengan jumlah FBG yang dibutuhkan sepanjang jarak transmisi totalnya.





$$D_{(FBG)} = \frac{D}{N_{(FBG)}} \tag{2-16}$$

dengan :

$D_{(FBG)}$  = jarak penempatan FBG (km)

$D$  = jarak total transmisi (km)

$N_{(FBG)}$  = jumlah FBG

Jarak total transmisi adalah panjang minimum saluran transmisi yang masih diperbolehkan agar diperoleh laju bit transisi tertentu dalam sistem komunikasi serat optik sehingga didapatkan batas maksimum jarak transmisi agar laju bit dalam sistem tetap tinggi. Jarak total transmisi maksimum untuk laju bit transmisi,  $B$  adalah :

$$D = \frac{\sqrt{\left(\frac{0,7}{1,1B}\right)^2 - \tau_{source}^2 - \tau_{detector}^2}}{\tau_{fiber}} \tag{2-17}$$

dengan :

$D$  = jarak total transmisi maksimum (km)

$B$  = laju bit transmisi (bps)

$\tau_{source}$  = waktu jangkit sumber optik (ps)

$\tau_{detector}$  = waktu jangkit detektor optik (ps)

$\tau_{fiber}$  = dispersi total serat optik per-satuan panjang (ps/km)

Perhitungan jumlah FBG yang dibutuhkan sepanjang jarak total transmisi yaitu (Gerd Keiser, 2004) :

$$N_{(FBG)} = N_{(Kanal)} - 1 \tag{2-18}$$

dengan :

$N_{(FBG)}$  = jumlah FBG

$N_{(Kanal)}$  = jumlah kanal yang ditransmisikan

### 2.6.2 Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )

*Fiber Brag Grating* (FBG) adalah perangkat optik yang mampu merefleksikan panjang gelombang tertentu bergantung periode *grating* dan perubahan indeks bias inti seratnya. Perubahan indeks bias *grating* inti serat dipengaruhi oleh sifat kepekaan bahan inti serat optik terhadap panjang gelombang tertentu (*photosensitive*) dan bergantung pada panjang gelombang pancaran sinar (Gerd Keiser, 2004).



Pancaran sinar laser pada sumber optik dengan intensitas 100-1000 mJ/cm<sup>2</sup> akan mengakibatkan perubahan indeks bias pada inti serat yang berkisar 10<sup>-5</sup> hingga 10<sup>-3</sup> (Kenneth O Hill, 1997), yang dipengaruhi oleh kedalaman *grating* saat pemrosesan dan akan mempengaruhi bentuk keluaran spektrum refleksinya.

Perubahan indeks bias pada inti serat FBG adalah (Sunita Ugale, 2010) :

$$\Delta_n = \frac{2 \lambda_B \operatorname{arctanh}(\sqrt{R})}{\pi L} \quad (2-19)$$

dengan :

$\Delta_n$  = perubahan indeks bias FBG

$\lambda_B$  = panjang gelombang pusat FBG (nm)

L = panjang *grating* (m)

R = reflektifitas FBG (%)

Reflektivitas merupakan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* L adalah (Sunita Ugale, 2010) :

$$R = \tanh^2(k.L) \times 100\% \quad (2-20)$$

dengan :

R = reflektivitas FBG (%)

k = koefisien kopling (m<sup>-1</sup>)

L = panjang *grating* (m)

Sedangkan, transmittivitas merupakan nilai prosentase panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG. transmittivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* L adalah (Nahian Chowdhury, 2012) :

$$T = \frac{1}{\cosh^2(k.L)} \times 100\% \quad (2-21)$$

dengan :

T = transmittivitas FBG (%)

k = koefisien kopling (m<sup>-1</sup>)

L = panjang *grating* (m)

koefisien kopling, menyatakan koefisien konstanta propaasi dari suatu panjang gelombang dengan persamaan (Sunita Ugale, 2010) :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} \quad (2-22)$$

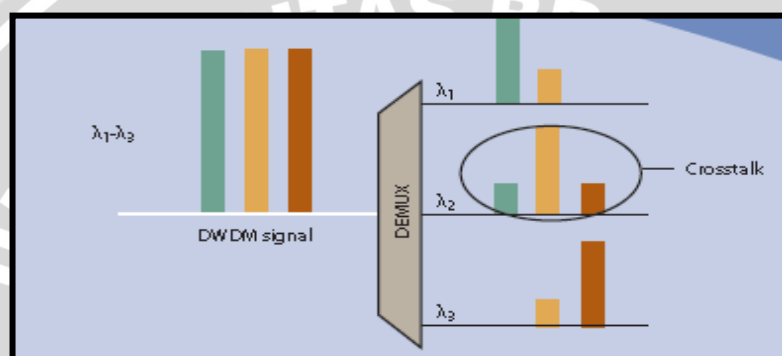
dengan :



- $k$  = koefisien kopling ( $m^{-1}$ )
- $\Delta_n$  = perubahan indeks bias FBG
- $\lambda_B$  = panjang gelombang pusat FBG (nm)

### 2.6.3 Crosstalk

*Crosstalk* adalah gangguan yang disebabkan oleh listrik atau magnet dari salah satu sinyal yang mempengaruhi sinyal lainnya dalam kanal yang berdekatan sehingga daya optik yang ditujukan untuk saluran tertentu ditemukan berdekatan atau dalam berbeda saluran.



**Gambar 2.22** *Crosstalk* dalam transmisi DWDM  
(Sumber :[http://jdsu.com/\\_bertest/](http://jdsu.com/_bertest/), 2002)

*Crosstalk* yang terjadi pada jaringan DWDM, yaitu :

a. *Interchannel Crosstalk*

*Crosstalk* yang terjadi ketika interferensi sinyal dihasilkan oleh kanal yang besebelahan pada panjang gelombang yang berbeda dalam menolak atau menahan sinyal dari kanal panjang gelombang lain yang berdekatan.

b. *Intrachannel Crosstalk*

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

*Crosstalk* yang timbul akibat adanya penurunan daya pada panjang gelombang yang mengalami refleksi dan dikeluarkan pada *port drop circulator*, kemudian panjang gelombang yang telah terefleksi tersebut 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*.

Besarnya *crosstalk* yang terjadi dalam suatu sistem sistem blok transmisi DWDM pada perangkat OADM menggunakan FBG ditentukan dengan menghitung pengurangan daya *output* suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* ( $P_{out}$ ), terhadap daya *output* suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* (semua kanal pada *input* atau diasumsikan beban trafik penuh sehingga menghasilkan *crosstalk* maksimal /  $P_{out}$ ), dengan perbedaan daya *output* suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* ( $P_{out}$ ). Untuk mengetahui pengaruh konsekuensi penerapan *crosstalk* pada suatu sistem FBG yaitu dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut : (M. Mahiuddin et al, 2010)

$$P = R \cdot P_{in} \cdot d_s(t) + (1 - R) \cdot P_{in} \sum_{i=1}^n \{d_i(t) \cdot \varepsilon_i\} + 2\sqrt{R}\sqrt{(1-R)} \cdot P_{in} \cdot d_s(t) \cdot \sum_{i=1, i \neq s}^n [d_i(t) \sqrt{\varepsilon_i} \cdot \cos[\phi_s(t) - \phi_i(t)]] \quad (2-23)$$

dengan :

- P = daya keluaran dari sistem (W)
- $P_{in}$  = daya masukan (daya sumber optik yang dipergunakan) (W)
- R = reflektifitas FBG (%)
- $d_s(t)$  = bergantung pada apakah yang dikirim bernilai 0 atau 1 dalam saluran yang diinginkan
- $d_i(t)$  = bergantung pada apakah yang dikirim bernilai 0 atau 1 dalam saluran *crosstalk*
- $\varepsilon_i$  = *optical power ratio* di setiap komponen sinyal *crosstalk*
- $\phi_s(t)$  = fasa acak pada sinyal informasi
- $\phi_i(t)$  = fasa acak pada sinyal *crosstalk*

Berdasarkan Persamaan (2-23), daya *output* yang diterima selama 1 bit pada suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* adalah :

$$P_{out} = R \cdot P_{in} \quad (2-24)$$

Sedangkan daya *output* yang diterima selama 1 bit pada suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* (semua kanal pada *input* atau diasumsikan beban trafik penuh sehingga menghasilkan *crosstalk* maksimal) adalah :





$$P'_{out} = R \cdot P_{in} + (1 - R) \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i + 2 \sqrt{R} \cdot \sqrt{(1 - R)} \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} \cdot \cos[[\phi_s(t) - \phi_i(t)]] \quad (2-25)$$

Untuk memastikan kinerja transmisi sistem, tingkat crosstalk harus cukup rendah sehingga diasumsikan  $\varepsilon_i \ll 1$ , maka  $\varepsilon_i$  dapat diabaikan dibandingkan dengan  $\sqrt{\varepsilon_i}$  (M. Mahiuddin et al, 2010). Dalam Persamaan (2-25), dipertimbangkan kondisi terburuk, artinya menganggap semua polarisasi bidang crosstalk memiliki arah yang sama dengan medan sinyal sehingga  $\cos(\cdot) = -1$  (Fang Laifu, 2000) maka akan didapatkan :

$$P'_{out} = R \cdot P_{in} - 2 \sqrt{R} \cdot \sqrt{(1 - R)} \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} \quad (2-26)$$

*Optical power ratio* di setiap komponen sinyal *crosstalk* ( $\varepsilon_i$ ) didapatkan berdasarkan persamaan (M. Mahiuddin et al, 2010) :

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} = \sqrt{\sigma_{RIN}^2 \times \frac{R}{(1-R)}} \quad (2-27)$$

$\sigma_{RIN}^2$  (*relative intensity noise*) adalah gangguan yang disebabkan oleh fase optik intrinsik yaitu fluktuasi daya optik dari sumber optik laser yang digunakan (<http://www.eagleyard.com/>, 2012).

Maka persamaan *crosstalk* dapat diperoleh dari persamaan (Bobby Barua, 2011) :

$$Crosstalk (dB) = 10 \log \frac{P_{out} - P'_{out}}{P_{out}} \quad (2-28)$$

dengan :

$P_{out}$  = daya *output* yang diterima suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* (W)

$P'_{out}$  = daya *output* yang diterima suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* (W)

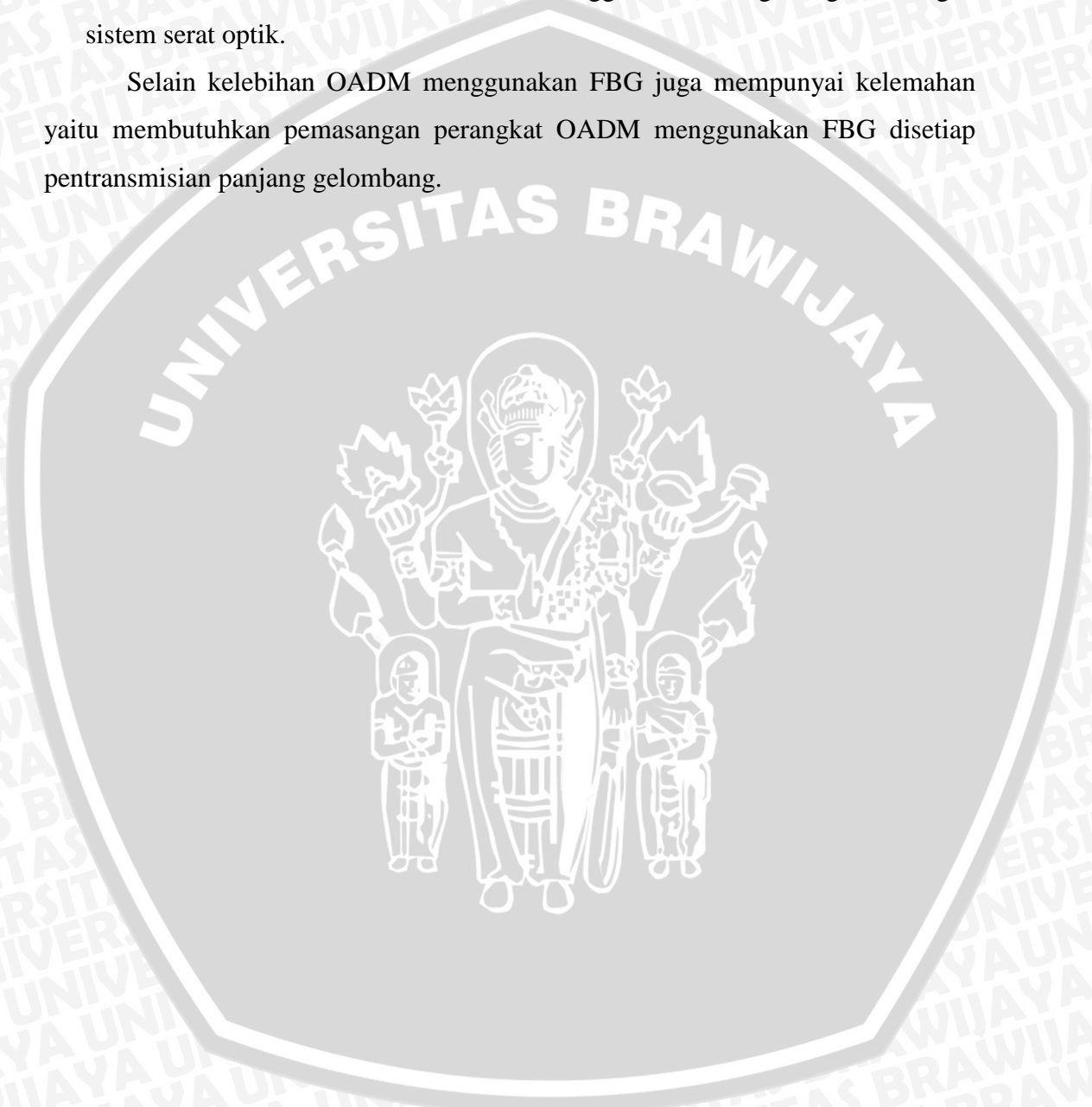
## 2.7 Kelebihan dan kelemahan OADM Menggunakan FBG

Kelebihan OADM menggunakan FBG antara lain (Raman Kashyap, 2010) :

1. Dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* dengan jumlah panjang gelombang yang besar.

2. Memberikan selektivitas terhadap panjang gelombang yang tinggi sehingga dapat berfungsi untuk *routing*.
3. Dapat mengurangi *crosstalk* dan memiliki *losses* rendah.
4. Tahan terhadap interferensi elektromagnetik dan material dielektrik.
5. Memiliki karakteristik volume kecil sehingga mudah digabungkan dengan sistem serat optik.

Selain kelebihan OADM menggunakan FBG juga mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan pemasangan perangkat OADM menggunakan FBG disetiap pentransmisian panjang gelombang.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian yang bersifat teoritis dan analitis yaitu terhadap penerapan *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) mengacu pada studi literatur. Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan penelitian ini, yaitu mengetahui pengaruh penerapan OADM menggunakan FBG pada teknik DWDM dalam komunikasi serat optik. Parameter penerapan yang dikaji meliputi pengaruh panjang *grating* terhadap jumlah kanal transmisi, pengaruh reflektivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, pengaruh transmitivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, serta penerapan OADM menggunakan FBG yang dapat mengurangi *crosstalk*. Tahapan kajian yang disajikan dalam skripsi ini meliputi : jenis dan cara pengambilan data, variabel dan cara analisis data, dan kerangka solusi masalah dalam bentuk *flowchart*.

#### 3.1 Jenis dan Cara Pengambilan Data

Kajian yang dilakukan adalah untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan penerapan OADM menggunakan FBG pada teknik DWDM. Data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian ini adalah data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, penelitian, *website*, dan forum-forum resmi mengenai *Fiber Bragg Grating* (FBG), *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) dan *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Data-data sekunder tersebut dilakukan untuk mengenal karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan penelitian ini. Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini antara lain :

1. Standarisasi untuk sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) oleh ITU-T (*International Telecommunication Union*) yaitu :
  - a. Kanal DWDM berapada pada range panjang gelombang 1530 nm – 1565 nm dalam daerah kerja (region) *C-band* digunakan untuk jarak jauh karena *atenuasi* yang terendah.



- b. Rekomendasi ITU G.692 (“*Optical Interfaces for Multichannel Systems with Optical Amplifier*”) menunjukkan bahwa semua kanal pada sistem DWDM harus memiliki *Channel grid* 100 GHz dengan Frekuensi sentral ( $f_0 = 193,10$  THz) untuk panjang gelombang 1552,52 nm.
  - c. Jaringan DWDM memiliki 40 panjang gelombang dengan spasi kanal sesuai dengan ITU-T G.692 yaitu 50, 100, 120, 200, dan 250 GHz.
2. Parameter dalam kinerja *Fiber Bragg Grating* (FBG) yang tetap adalah sebagai berikut :
- a. Cepat rambat gelombang di ruang bebas ( $c$ ) =  $3 \times 10^8$  m/s.
  - b. Indeks bias efektif ( $n_{\text{eff}}$ ) = 1,487 (Alessandra chiareli, 1999).
  - c. Sesuai dengan standar ITU-T *Channel grid* 100 GHz, digunakan 40 kanal untuk aplikasi DWDM dengan panjang gelombang pusat  $\lambda_B = 1552,52$  nm.
  - d. Perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta n$ ) pada inti serat sebesar  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ , dan  $10^{-3}$  yang dipengaruhi pancaran sinar laser pada sumber optik dengan intensitas 100-1000 mJ/cm<sup>2</sup> (Kenneth O Hill, 1997).
3. Laju bit transmisi / *bit rate*,  $B = 10$  Gbps.
4. Sumber optik yang dipergunakan *Laser Diode* (LD) tipe ML9XX37, karena memiliki daya keluaran lebih besar, lebar spektrum lebih kecil dengan pola radiasi lebih kecil, emisi cahaya mendekati koheren, *losses* kecil, dan memiliki waktu jangkit yang kecil dengan spesifikasi :

**Tabel 3.1** Spesifikasi Sumber Optik

No.	Spesifikasi Sumber Optik	Jenis Sumber Optik LD Tipe ML9XX11
1.	Panjang gelombang, $\lambda$ (nm)	1550
2.	Lebar spektrum, $\Delta\lambda$ (nm)	0,8
3.	Waktu jangkit, $\tau_{\text{source}}$ (ns)	0,1
4.	Daya pancar minimum, $P_1$ (mW)	80

(Sumber : Mitsubishi Laser Diodes, 2004)

- 5. Menggunakan serat optik *single mode* karena mempunyai satu mode rambatan yang berarti tidak mempunyai rugi-rugi antar ragam, sehingga mengurangi jumlah dispersi total sistem, spesifikasi serat optik *single mode* yaitu :



**Tabel 3.2** Spesifikasi Serat Optik

No.	Spesifikasi Serat Optik	Jenis Serat Optik <i>Single Mode</i>
1.	Indeks bias inti, $n_1$	1,48
2.	Indeks bias selubung, $n_2$	1,46
3.	Jari-jari inti, $a$ ( $\mu\text{m}$ )	7
4.	Koefisien dispersi bahan, $t_{\text{dm}}$ (ps/(nm.km))	0,8

(Sumber : Gerd Keiser, 2004)

- Spesifikasi detektor optik menggunakan *Avalanche Photo Diode* (APD) dengan bahan InGaAsP karena mempunyai responsivitas, penguatan dan arus cahaya yang lebih besar dibandingkan *Photodiode Positive Intrinsic Negative* (PIN), dengan waktu jangkit ( $\tau_{\text{detector}}$ ) = 0,1 ns (Gerd Keiser, 2004).
- Nilai  $\sigma_{\text{RIN}}^2$  (*relative intensity noise*) berdasarkan variasi jumlah kanal untuk mengetahui performansi perangkat OADM menggunakan FBG dengan *optical circulator* sehingga dapat mengurangi *crosstalk*, berdasar data pada *International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE 2010) Journal Of Network Pages 37-40, 18-20 December 2010* dengan judul *Incoherent Crosstalk Analysis in Fiber Bragg Grating Based Optical Add-Drop Multiplexer in Optical Network* yang ditulis oleh M.Mahiuddin dan M.S.Islam.

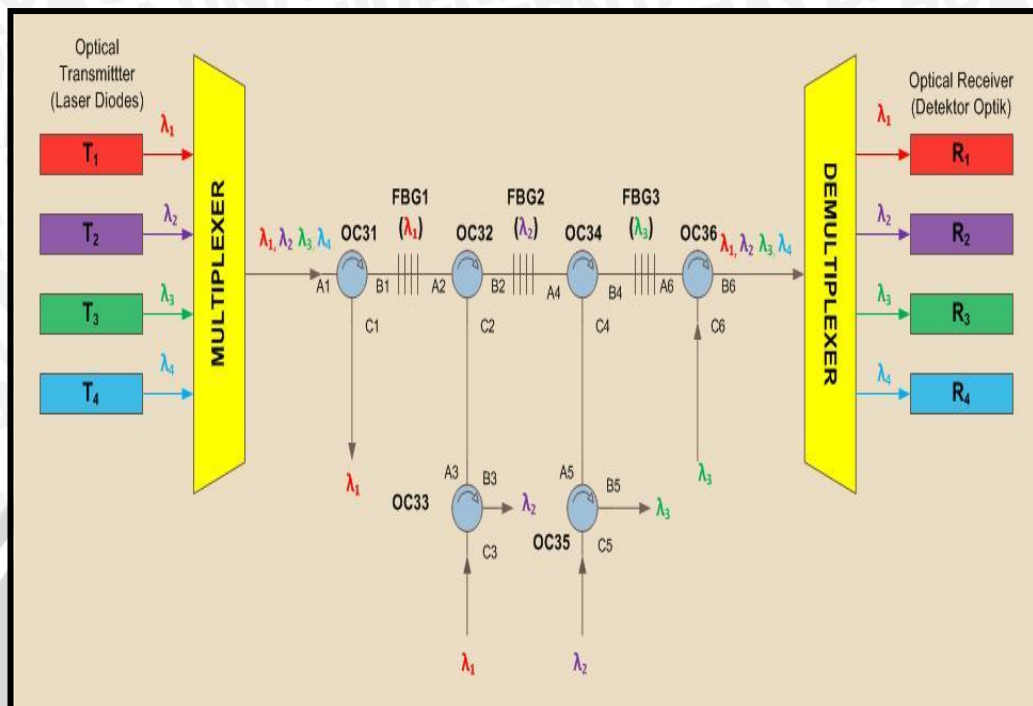
**Tabel 3.3** *Relative Intensity Noise* Berdasarkan Jumlah Kanal

No.	Jumlah Kanal	<i>Relative Intensity Noise</i> (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

(Sumber : M. Mahiuddin et al, 2010)



8. Diagram blok yang diamati dalam sistem transmisi DWDM dengan *Channel grid* 100 GHz dengan 40 kanal adalah :



**Gambar 3.1** Blok Diagram Transmisi DWDM Pada Perangkat OADM menggunakan FBG

### 3.2 Variabel dan Cara Analisis Data

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder sesuai dengan standar ITU-T. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Pendekatan matematis dengan analisis persamaan matematis dilakukan secara *analytical analysis*. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi performansi sebagai berikut :

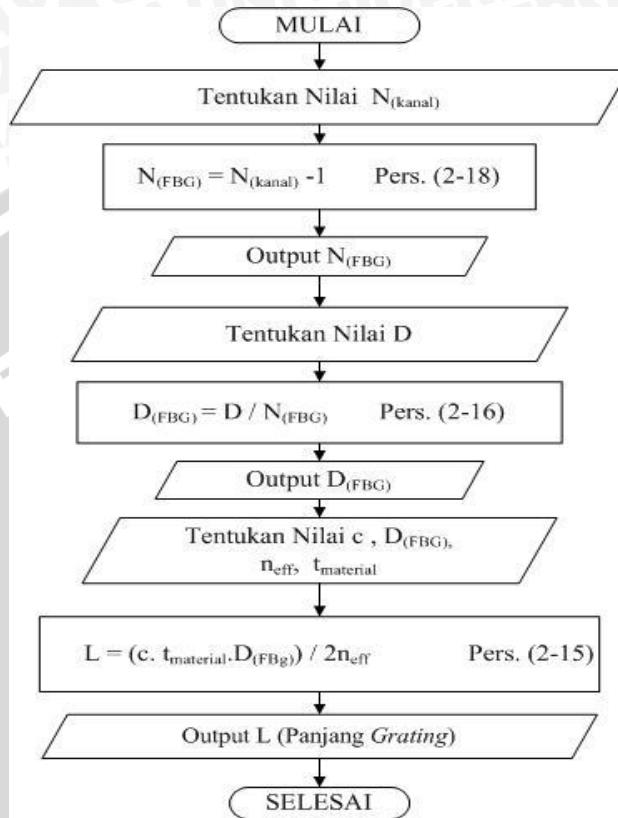
1. Panjang *grating* ( $L$ ) terhadap jumlah kanal transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ )
2. Reflektivitas ( $R$ ) terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta n$ )
3. Transmittivitas ( $T$ ) terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta n$ )
4. *Crosstalk* terhadap jumlah kanal transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ ).



### 3.3 Kerangka Solusi Masalah dalam Bentuk *Flowchart*

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

1. Perhitungan panjang *grating*, dengan cara :



**Gambar 3.2** Diagram Alir Panjang *Grating* Terhadap Jumlah Kanal Trasmisi

dengan :

$N_{(Kanal)}$  = jumlah kanal yang ditransmisikan

$N_{(FBG)}$  = jumlah FBG

$D$  = jarak total transmisi (km)

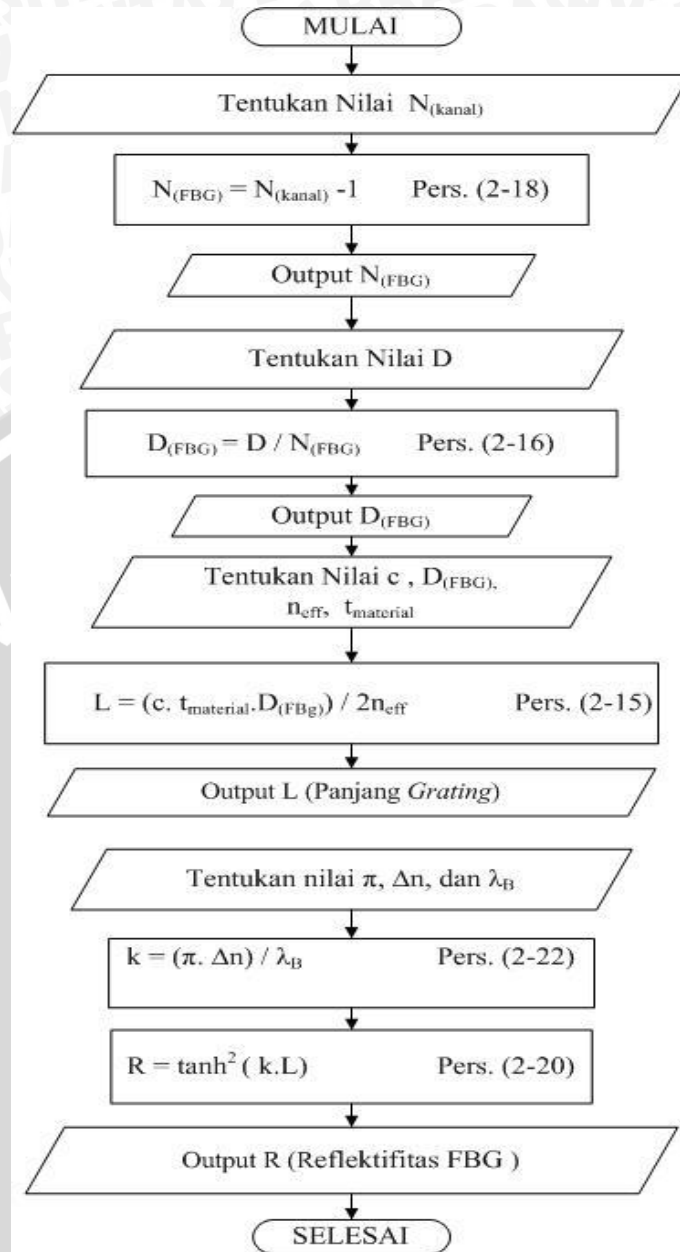
$D_{(FBG)}$  = jarak penempatan FBG (km)

$n_{eff}$  = indeks bias efektif

$t_{material}$  = dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik,  $\Delta\lambda$  (ps/km)

$L$  = panjang *grating* (m)

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



**Gambar 3.3** Diagram Alir Reflektivitas Terhadap Panjang *Grating* dan Perubahan Indeks Bias *Grating*

dengan :

$N_{(Kanal)}$  = jumlah kanal yang ditransmisikan

$N_{(FBG)}$  = jumlah FBG

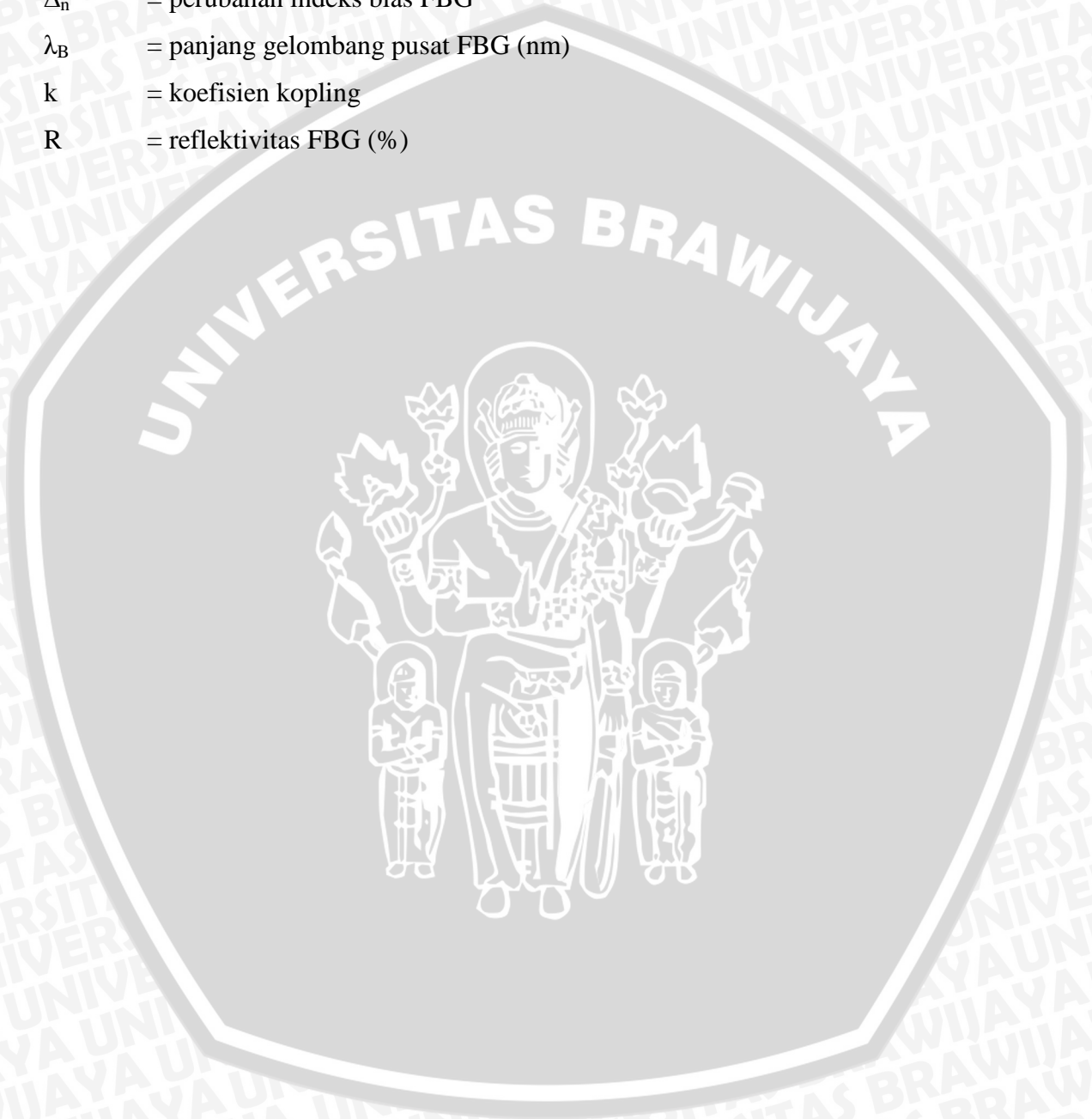
$D$  = jarak total transmisi (km)

$D_{(FBG)}$  = jarak penempatan FBG (km)

$n_{eff}$  = indeks bias efektif

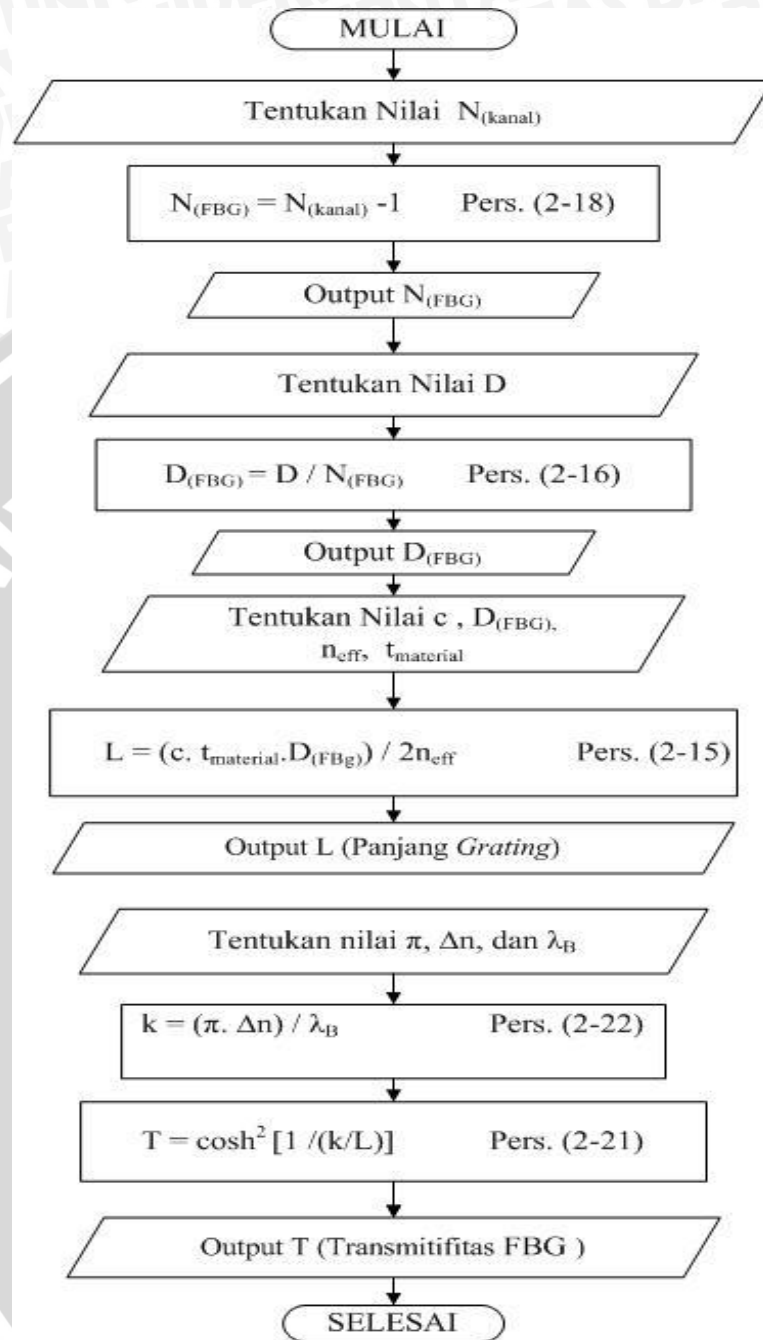


- $t_{\text{material}}$  = dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik ,  $\Delta\lambda$  (ps/km)
- $c$  = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)
- $L$  = panjang *grating* (m)
- $\Delta n$  = perubahan indeks bias FBG
- $\lambda_B$  = panjang gelombang pusat FBG (nm)
- $k$  = koefisien kopling
- $R$  = reflektivitas FBG (%)





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



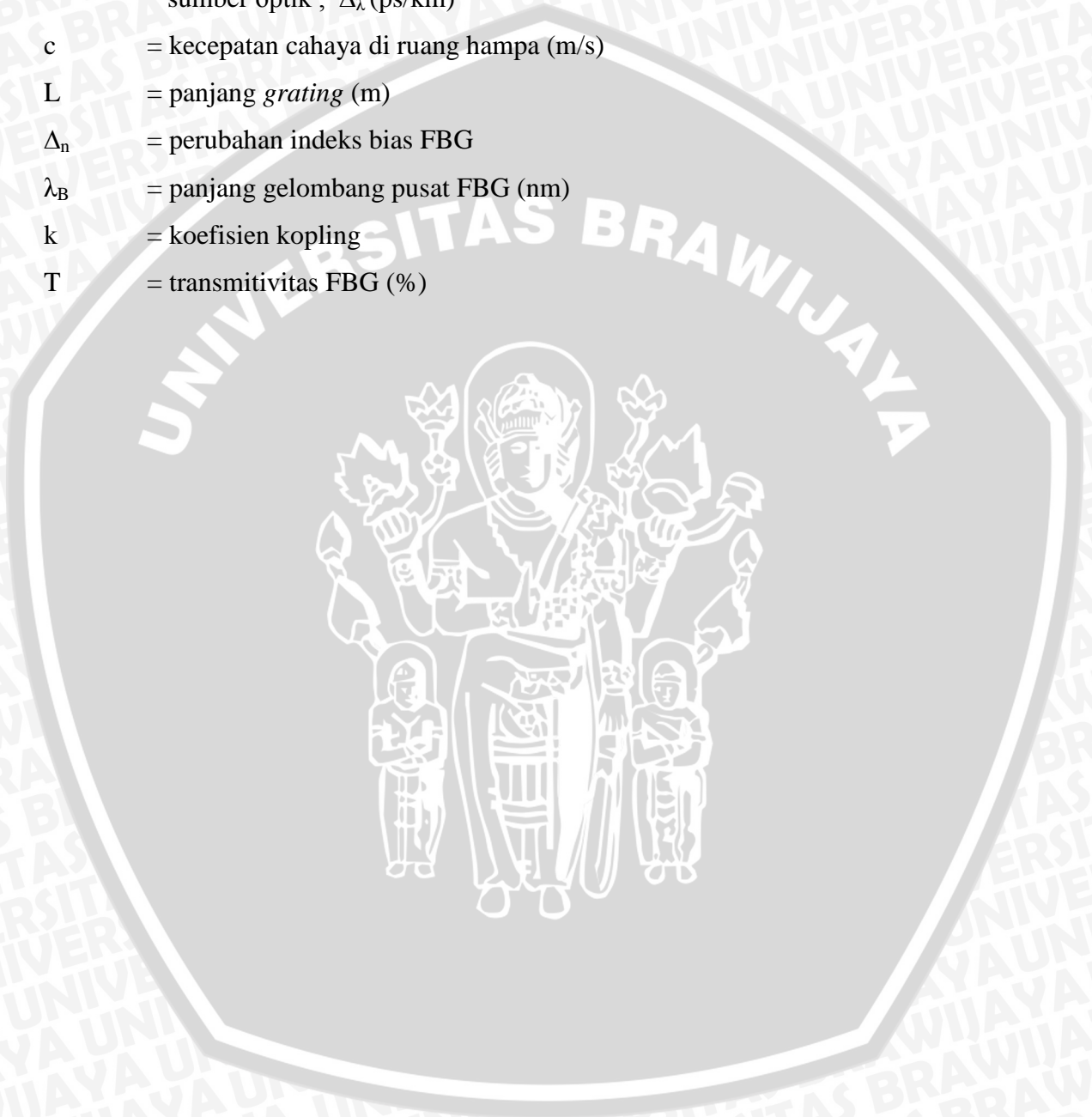
Gambar 3.4 Diagram Alir Transmisifitas Terhadap Panjang *Grating* dan Perubahan Indeks Bias *Grating*

dengan :

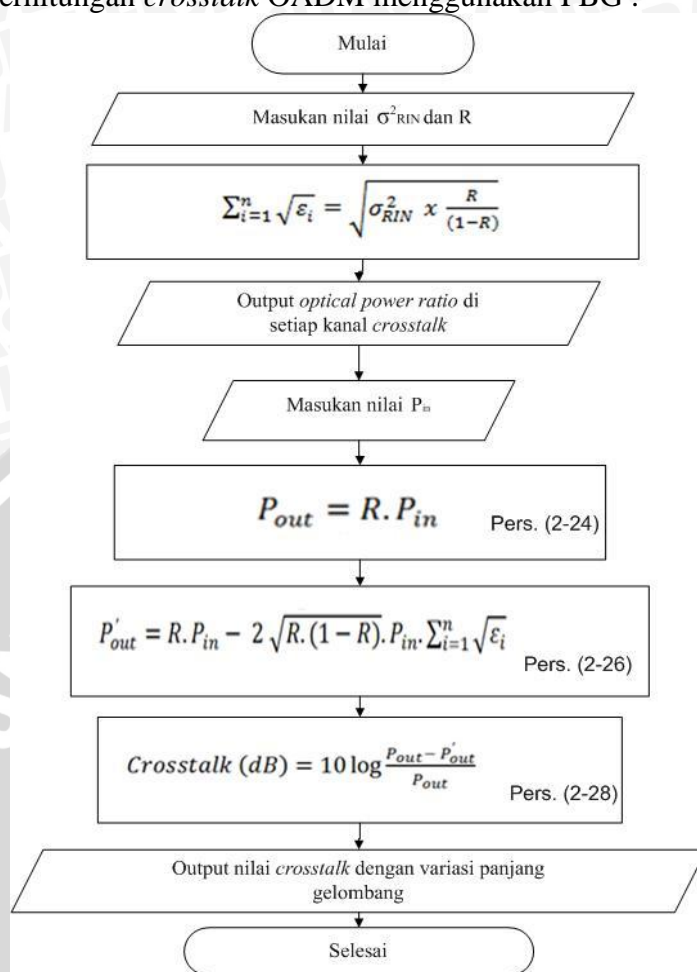
$N_{(Kanal)}$  = jumlah kanal yang ditansmisikan

$N_{(FBG)}$  = jumlah FBG

- $D$  = jarak total transmisi (km)
- $D_{\text{(FBG)}}$  = jarak penempatan FBG (km)
- $n_{\text{eff}}$  = indeks bias efektif
- $t_{\text{material}}$  = dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik,  $\Delta\lambda$  (ps/km)
- $c$  = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)
- $L$  = panjang *grating* (m)
- $\Delta n$  = perubahan indeks bias FBG
- $\lambda_B$  = panjang gelombang pusat FBG (nm)
- $k$  = koefisien kopling
- $T$  = transmitivitas FBG (%)



4. Perhitungan *crosstalk* OADM menggunakan FBG :



Gambar 3.5 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 (daya sumber optik yang dipergunakan) (W)
- $\sigma^2_{RIN}$  = *relative intensity noise* (W)
- $\epsilon_i$  = *optical power ratio* di setiap komponen sinyal *crosstalk*
- R = reflektivitas FBG (%)





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis penerapan *Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) dilakukan berdasarkan pada teori dan persamaan yang terdapat pada Bab II. Parameter penerapan yang diamati meliputi panjang *grating* ( $L$ ) terhadap jumlah kanal ( $N_{\text{kanal}}$ ), reflektivitas ( $R$ ) terhadap panjang *grating* ( $L$ ) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ), transmitivitas ( $T$ ) terhadap panjang *grating* ( $L$ ) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ) serta penerapan OADM menggunakan FBG yang dapat mengurangi *crosstalk*. Hasil analisis akan disimulasikan dengan menggunakan program Matlab 7.0.4.

#### 4.1 Perhitungan Dispersi

Perhitungan dispersi diperlukan untuk mendapatkan unjuk kerja sistem komunikasi serat optik dalam jarak jangkauan transmisi maksimumnya. Perhitungan terhadap dispersi meliputi perhitungan dispersi material, dispersi pandu gelombang, dan dispersi *intermodal*.

##### 4.1.1 Perhitungan Dispersi Material

Terjadinya dispersi material pada transmisi serat optik dikarenakan indeks refraksi/*effective* dari inti material dalam serat optik sebagai fungsi dari panjang gelombang optik. Nilai dispersi material per-satuan panjang serat optik sesuai dengan Persamaan (2-5) berikut ini :

$$t_{\text{material}} = t_{\text{dm}} \times \Delta_{\lambda}$$

dengan :

$t_{\text{material}}$  = dispersi material per-satuan panjang (ps/km)

$t_{\text{dm}}$  = koefisien dispersi material (ps/(nm.km))

$\Delta_{\lambda}$  = lebar spektral sumber cahaya (nm)

Berdasarkan data tabel 3.1 dan 3.2, jika dalam saluran transmisi serat optik dipergunakan :

- Jenis serat optik optik : *single mode*
- Koefisien dispersi material ( $t_{\text{dm}}$ ) : 0,8 ps/(nm.km)

- Lebar spektrum sumber optik ( $\Delta\lambda$ ) : 0,8 nm

maka diperoleh dispersi material per-satuan panjang serat optik sebesar :

$$t_{\text{material}} = 0,8 \times 0,8 = 0,64 \text{ ps/km}$$

#### 4.1.2 Perhitungan Dispersi Pandu Gelombang

Dispersi Pandu Gelombang (*waveguide dispersion*) disebabkan oleh konstanta propagasi  $\beta$  yang merupakan fungsi dari  $a/\lambda$  (dimensi serat optik terhadap panjang gelombang  $\lambda$ , dimana  $a$  adalah jari-jari inti) (Gerd Keiser, 2003). Dispersi Pandu Gelombang per-satuan panjang,  $t_{\text{waveguide}}$  (ps/km) sesuai dengan Persamaan (2-9) berikut ini :

$$t_{\text{waveguide}} = \frac{(n_1 - n_2) t_{wg} \Delta\lambda}{c \cdot \lambda}$$

dengan :

$t_{\text{waveguide}}$  = dispersi pandu gelombang per-satuan panjang (ps/km)

$n_1$  = indeks bias inti

$n_2$  = indeks bias selubung

$\Delta\lambda$  = lebar spektral sumber cahaya (nm)

$c$  = kecepatan cahaya ruang hampa (m/s)

$\lambda$  = panjang gelombang pusat pancaran (nm)

$t_{wg}$  = koefisien dispersi tanpa dimensi, berdasarkan Persamaan (2-7) berikut :

$$t_{wg} = \frac{4(1 - \ln v)}{v^2}$$

dengan :

$v$  = frekuensi ternormalisasi, menyatakan batas *mode-mode* sinyal optik yang dapat berpropagasi di dalam inti serat optik, berdasarkan Persamaan (2-8) sebagai berikut :

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

dengan :

$a$  = jari-jari inti serat optik ( $\mu\text{m}$ )

Berdasarkan data tabel 3.1 dan 3.2, jika dalam saluran transmisi serat optik dipergunakan :

- Jenis serat optik optik : *single mode*
- Indeks bias inti ( $n_1$ ) : 1,48





- Indeks bias selubung ( $n_2$ ) : 1,46
- Jari-jari inti serat ( $a$ ) : 7  $\mu\text{m}$
- Panjang gelombang transmisi ( $\lambda$ ) : 1550 nm
- Lebar spektral sumber optik ( $\Delta\lambda$ ) : 0,8 nm

maka frekuensi ternormalisasi,  $v$  diperoleh sebesar :

$$v = \frac{2\pi}{1550 \times 10^{-9}} \cdot 7 \times 10^{-6} \cdot \sqrt{1,48^2 - 1,46^2} = 6,881$$

dan koefisien dispersi tanpa dimensi :

$$t_{wg} = \frac{4(1 - \ln 6,881)}{6,881^2} = 0,078$$

Sehingga diperoleh nilai dispersi pandu gelombang per-satuan panjang,  $t_{\text{waveguide}}$  (ps/km) sebesar :

$$t_{\text{waveguide}} = \frac{(1,48 - 1,46) \cdot 0,078 \cdot 0,8 \times 10^{-9}}{3 \times 10^8 \cdot 1550 \times 10^{-9}} = 0,003 \text{ ps/km}$$

#### 4.1.3 Perhitungan Dispersi *Intermodal*

Dispersi *intermodal* merupakan dispersi yang ditimbulkan oleh *mode-mode* gelombang berbeda yang terjadi pada serat *multimode*. Sehingga, pada serat *singlemode* tidak mengalami dispersi *intermodal* karena hanya satu *mode* saja yang berpropagasi di dalamnya,  $t_{\text{intermodal}} = 0$  ps/km.

#### 4.1.4 Perhitungan Dispersi Total Serat

Dispersi total per-satuan panjang serat optik merupakan akar dari penjumlahan semua dispersi dalam serat. Secara matematik dinyatakan dalam Persamaan (2-3) yaitu :

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

dengan :

- $t_{\text{fiber}}$  = dispersi total serat per-satuan panjang (ps/km)
- $t_{\text{material}}$  = dispersi material per-satuan panjang (ps/km)
- $t_{\text{waveguide}}$  = dispersi pandu gelombang per-satuan panjang (ps/km)
- $t_{\text{intermodal}}$  = dispersi *intermodal* per-satuan panjang (ps/km)

berdasarkan perhitungan sebelumnya, diperoleh :





- Dispersi material per-satuan panjang ( $t_{\text{material}}$ ) = 0,64 ps/km
- Dispersi pandu gelombang per-satuan panjang ( $t_{\text{waveguide}}$ ) = 0,003 ps/km
- Dispersi *intermodal* per-satuan panjang ( $t_{\text{intermodal}}$ ) = 0 ps/km

maka dispersi total serat per-satuan panjang (ps/km), adalah :

$$t_{\text{fiber}} = \sqrt{(0,64 \times 10^{-12})^2 + (0,03 \times 10^{-12})^2 + 0} = 0,64 \text{ ps/km}$$

#### 4.2 Perhitungan Jarak Total Transmisi

Jarak total transmisi adalah panjang minimum saluran transmisi yang masih diperbolehkan agar diperoleh laju bit transmisi tertentu dalam sistem komunikasi serat optik sehingga didapatkan batas maksimum jarak transmisi agar laju bit dalam sistem tetap tinggi. Dari Persamaan (2-17) jarak total transmisi maksimum untuk laju bit transmisi, B adalah :

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

dengan :

D = jarak total transmisi maksimum (km)

B = laju bit transmisi (bps)

$\tau_{\text{source}}$  = waktu jangkit sumber optik (ps)

$\tau_{\text{detector}}$  = waktu jangkit detektor optik (ps)

$t_{\text{fiber}}$  = dispersi total serat optik per-satuan panjang (ps/km)

Jika dalam saluran transmisi serat optik dipergunakan :

- Jenis serat optik optik : *single mode*
- Laju bit transmisi (B) : 10 Gbps
- Waktu jangkit sumber optik ( $\tau_{\text{source}}$ ) : 0,1 ns
- Waktu jangkit detektor optik ( $\tau_{\text{detector}}$ ) : 0,1 ns
- Dispersi total serat optik per-satuan panjang ( $t_{\text{fiber}}$ ) : 0,64 ps/km

Maka diperoleh jarak total transmisi sebesar :

$$D = \frac{\sqrt{\left(\frac{0,7}{1,1 \cdot 10 \times 10^9}\right)^2 - (0,1 \times 10^{-9})^2 - (0,1 \times 10^{-9})^2}}{0,64 \times 10^{-12}} = 99,43 \text{ km}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh jarak total transmisi maksimum untuk laju bit 10 Gbps dalam saluran transmisi serat optik adalah sebesar 99,43 km.

### 4.3 Analisis Kinerja OADM Menggunakan FBG Pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*

Dalam sub bab ini, akan dibahas performansi OADM menggunakan FBG pada teknik DWDM dalam sistem komunikasi serat optik yang terdiri dari panjang *grating* ( $L$ ) terhadap jumlah kanal ( $N_{\text{kanal}}$ ), reflektivitas ( $R$ ) terhadap panjang *grating* ( $L$ ) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ), Transmittivitas ( $T$ ) terhadap panjang *grating* ( $L$ ) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ), serta performansi OADM menggunakan FBG yang dapat mengurangi *crosstalk*.

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi sistem komunikasi serat optik pada teknik DWDM dengan penerapan OADM menggunakan FBG adalah menggunakan standar ITU-T G-692. Sesuai dengan standar tersebut 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 dengan spasi frekuensi 50 GHz, 100 GHz, 120 GHz, 200 GHz dan 250 GHz.

#### 4.3.1 Analisis Panjang *Grating* ( $L$ ) Terhadap Jumlah Kanal ( $N_{\text{kanal}}$ )

Panjang *grating* ( $L$ ) merupakan salah satu parameter dalam performansi kinerja OADM menggunakan FBG, dimana menunjukkan panjang *grating*/kisi dari FBG pada saat merefleksikan panjang gelombang. Mengacu pada persamaan di Bab II, maka akan didapatkan panjang *grating* sesuai Persamaan (2-15) berikut :

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

dengan :

$L$  = panjang *grating* (m)

$c$  = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)

$t_{\text{material}}$  =dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik ,  $\Delta_\lambda$  (ps/km)

$n_{\text{eff}}$  = indeks bias *effective*

$D_{(\text{FBG})}$  = jarak penempatan FBG (km), sesuai dengan Persamaan (2-16) yaitu :



$$D_{(FBG)} = \frac{D}{N_{(FBG)}}$$

dengan :

D = jarak total transmisi (km)

N<sub>(FBG)</sub> = jumlah FBG, sesuai dengan Persamaan (2-18) yaitu :

$$N_{(FBG)} = N_{(Kanal)} - 1$$

dengan :

N<sub>(Kanal)</sub> = jumlah kanal yang ditransmisikan

Sesuai standar ITU-T G-692 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. Sehingga jumlah FBG yang dibutuhkan pada jumlah kanal transmisi 40 kanal adalah

$$N_{(FBG)} = N_{(Kanal)} - 1 = 39$$

dan jarak penempatan FBG akan diperoleh sebesar :

$$D_{(FBG)} = \frac{D}{N_{(FBG)}} = \frac{99,43}{39} = 2,55 \text{ km}$$

maka nilai panjang *grating* pada jumlah kanal transmisi 40 kanal adalah :

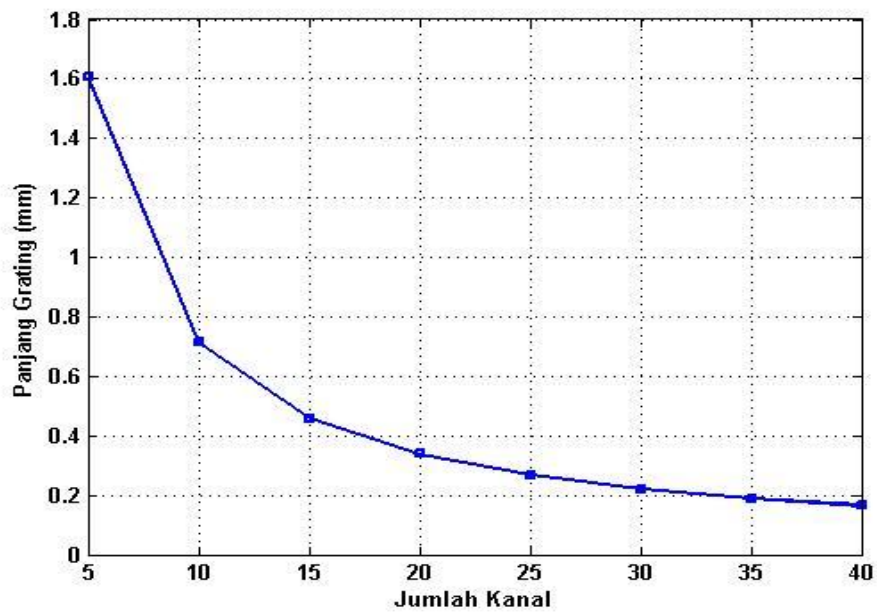
$$L = \frac{c \cdot t_{material} \cdot D_{(FBG)}}{2n_{eff}} = \frac{3 \times 10^8 \cdot 0,64 \times 10^{-12} \cdot 2,55 \times 10^3}{2 \times 1,487} = 0,1646 \text{ mm}$$

Perhitungan panjang *grating* berdasarkan jumlah kenaikan kanal transmisi dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Perhitungan Panjang *Grating*  
Berdasarkan Jumlah Kenaikan Kanal Transmisi

No.	Jumlah Kanal Transmisi (N <sub>kanal</sub> )	Panjang <i>Grating</i> (L)
1.	5	1,6048 mm
2.	10	0,7132 mm
3.	15	0,4585 mm
4.	20	0,3379 mm
5.	25	0,2675 mm
6.	30	0,2214 mm
7.	35	0,1888 mm
8.	40	0,1646 mm





**Gambar 4.1** Hubungan Panjang *Grating* ( $L$ ) Terhadap Jumlah Kanal ( $N_{\text{kanal}}$ )

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara panjang *grating* ( $L$ ) terhadap kenaikan jumlah kanal transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ ). Seiring dengan kenaikan jumlah kanal transmisi maka akan terjadi penurunan panjang *grating*. Sehingga, semakin besar jumlah kanal transmisi maka akan semakin kecil nilai dari panjang *grating*. Nilai panjang *grating* terhadap jumlah kanal transmisi ditunjukkan pada Persamaan (2-15), Persamaan (2-16), dan Persamaan (2-18) :

$$L = \frac{c \cdot t_{\text{material}} \cdot D_{(FBG)}}{2n_{\text{eff}}} = \frac{c \cdot t_{\text{material}} \cdot D}{2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot (N_{\text{kanal}} - 1)}$$

dengan :

$c$  = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)

$t_{\text{material}}$  = dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik ,  $\Delta\lambda$  (ps/km)

$n_{\text{eff}}$  = indeks bias *effective*

$D$  = jarak total transmisi (km)

$N_{(\text{Kanal})}$  = jumlah kanal yang ditransmisikan

panjang *grating* diperoleh dengan memperhitungkan jarak total transmisi, dispersi yang terjadi dalam pentransmisi serat optik, dan jumlah kanal transmisi. Jumlah kanal transmisi yang dianalisis berdasarkan standarisasi teknik DWDM oleh ITU-T

G-692. Sehingga, panjang *grating* akan semakin menurun seiring dengan peningkatan jumlah kanal transmisinya.

Panjang *grating* terjadi ketika panjang gelombang melewati FBG, dimana panjang gelombang akan mengalami penrefleksian. 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 itulah yang disebut panjang *grating*. Semakin besar jumlah kanal yang melewati OADM menggunakan FBG, maka panjang *grating* yang terbentuk akan semakin sedikit.

#### 4.3.2 Analisis Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) dan Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )

FBG merupakan perangkat optik yang mampu merefleksikan panjang gelombang tertentu bergantung periode *grating* dan perubahan indeks bias inti seratnya. Periode *grating* menggunakan tipe *uniform* sehingga memiliki periode yang tetap sesuai Persamaan (2-1) yaitu :

$$\lambda_B = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$$

dengan:

$\lambda_B$  = panjang gelombang pusat *grating* (nm)

$n_{\text{eff}}$  = indeks bias refraktif (*effektive*)

$\Lambda$  = periode *grating*

Dalam saluran transmisi serat optik dipergunakan :

- Panjang gelombang pusat *grating* ( $\lambda_B$ ) = 1552,52 nm
- Indeks bias *effektive* ( $n_{\text{eff}}$ ) = 1,487

maka periode FBG pada panjang gelombang pusat DWDM diperoleh sebesar :

$$\Lambda = \frac{\lambda_B}{2n_{\text{eff}}} = \frac{1552,52 \times 10^{-9}}{2 \times 1,487} = 522,03 \text{ nm}$$

Sedangkan perubahan indeks bias *grating* inti serat ( $\Delta_n$ ) dipengaruhi oleh sifat kepekaan bahan inti serat optik terhadap pancaran sinar laser pada sumber optik dengan intensitas 100-1000 mJ/cm<sup>2</sup> yang mengakibatkan perubahan indeks



bias pada inti serat yang berkisar  $10^{-5}$  hingga  $10^{-3}$  sehingga akan mempengaruhi bentuk keluaran spektrum refleksinya (Alessandra chiareli, 1999).

Parameter lain dari OADM menggunakan FBG yaitu panjang *grating* (L) menunjukkan panjang *grating* / kisi dari FBG pada saat merefleksikan panjang gelombang dan berbanding terbalik terhadap jumlah kanal. Reflektivitas merupakan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* L sesuai dengan Persamaan (2-20) yaitu :

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

dengan :

R = reflektivitas FBG (%)

L = panjang *grating* (m)

k = koefisien kopling ( $m^{-1}$ ), diberikan oleh Persamaan (2-22) :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B}$$

dengan :

$\Delta_n$  = perubahan indeks bias FBG

$\lambda_B$  = panjang gelombang pusat FBG (nm)

Untuk mengamati pengaruh reflektivitas (R) dari panjang *grating* (L) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ) terhadap jumlah kanal transmisi maka dilakukan perhitungan reflektivitas untuk masing-masing perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ) pada inti serat yang berkisar  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ , dan  $10^{-3}$ .

#### 4.3.2.1 Perhitungan Reflektivitas Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* $10^{-5}$

Pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, didapatkan koefisien kopling sebesar :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} = \frac{3,14 \times 10^{-5}}{1552,52 \times 10^{-9}} = 20,225 m^{-1}$$

dan perhitungan panjang *grating* (L) pada jumlah kanal transmisi 40 kanal sebelumnya didapatkan sebesar 0.1646 mm. maka besar reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* 0.1646 mm, yaitu :

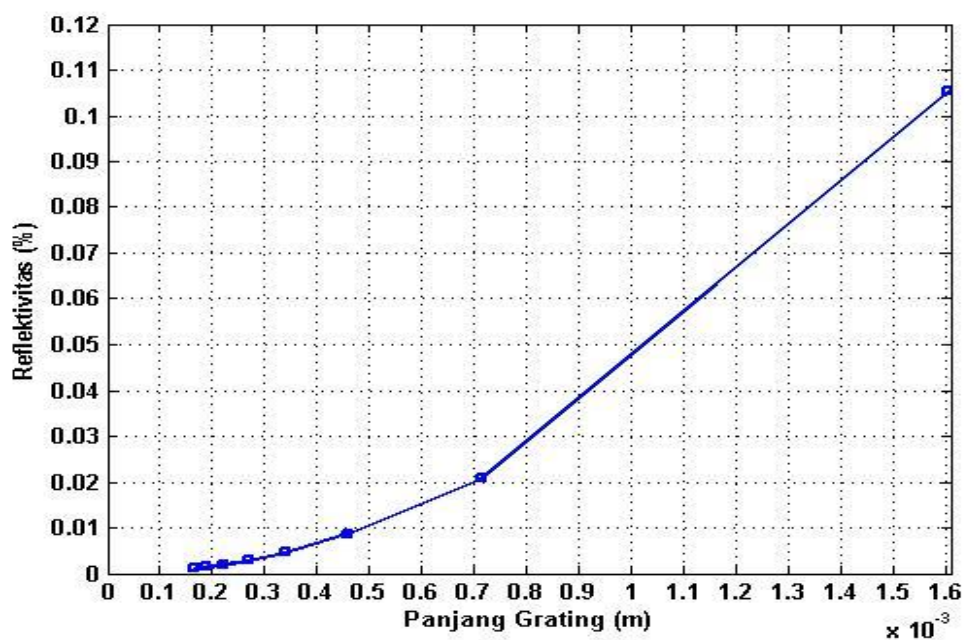
$$R = \tanh^2 ( k.L ) \times 100\% = \tanh^2 ( 20,225 \cdot 0,1646 \times 10^{-3} ) \times 100\% = 0,0011\%$$



Perhitungan reflektivitas (R) dari panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Perhitungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$

No.	Panjang <i>Grating</i> (L)	Reflektivitas (R)
1.	1,6048 mm	0,1052%
2.	0,7132 mm	0,0208%
3.	0,4585 mm	0,0086%
4.	0,3379 mm	0,0046%
5.	0,2675 mm	0,0029%
6.	0,2214 mm	0,0020%
7.	0,1888 mm	0,0014%
8.	0,1646 mm	0,0011%



**Gambar 4.2** Hubungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara reflektivitas (R) terhadap panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  terlihat bahwa semakin besar panjang *grating* maka akan semakin besar pula nilai dari reflektivitas.

Reflektivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Panjang *grating* yang semakin kecil akan memiliki nilai reflektivitas yang semakin kecil pula, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, dengan reflektivitas yang semakin kecil akan semakin kecil pula panjang gelombang yang direfleksikan sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal transmisi.

#### 4.3.2.2 Perhitungan Reflektivitas Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* $10^{-4}$

Pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, didapatkan koefisien kopling sebesar :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} = \frac{3,14 \times 10^{-4}}{1552,52 \times 10^{-9}} = 202,252 \text{ m}^{-1}$$

dan perhitungan panjang *grating* (L) pada jumlah kanal transmisi 40 kanal sebelumnya didapatkan sebesar 0.1646 mm. maka besar reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* 0.1646 mm, yaitu :

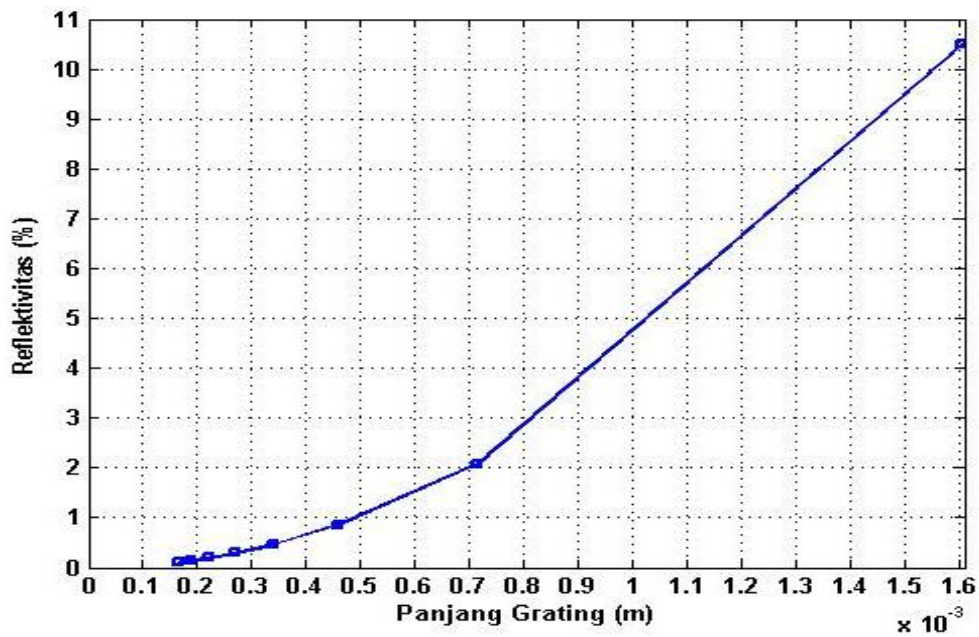
$$R = \tanh^2 (k.L) \times 100\% = \tanh^2 (202,252 \cdot 0,1646 \times 10^{-3}) \times 100\% = 0,1109\%$$

Perhitungan reflektivitas (R) dari panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Perhitungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$

No.	Panjang <i>Grating</i> (L)	Reflektivitas (R)
1.	1,6048 mm	10,5069%
2.	0,7132 mm	2,0828%
3.	0,4585 mm	0,8609%
4.	0,3379 mm	0,4674%
5.	0,2675 mm	0,2929%
6.	0,2214 mm	0,2006%
7.	0,1888 mm	0,1460%
8.	0,1646 mm	0,1109 %





**Gambar 4.3** Hubungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara reflektivitas (R) terhadap panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  terlihat bahwa semakin besar panjang *grating* maka akan semakin besar pula nilai dari reflektivitas.

Reflektivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Panjang *grating* yang semakin kecil akan memiliki nilai reflektivitas yang semakin kecil pula, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, dengan reflektivitas yang semakin kecil akan semakin kecil pula panjang gelombang yang direfleksikan sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal transmisi.

#### 4.3.2.3 Perhitungan Reflektivitas Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* $10^{-3}$

Pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, didapatkan koefisien kopling sebesar :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} = \frac{3,14 \times 10^{-3}}{1552,52 \times 10^{-9}} = 2022,518 \text{ m}^{-1}$$



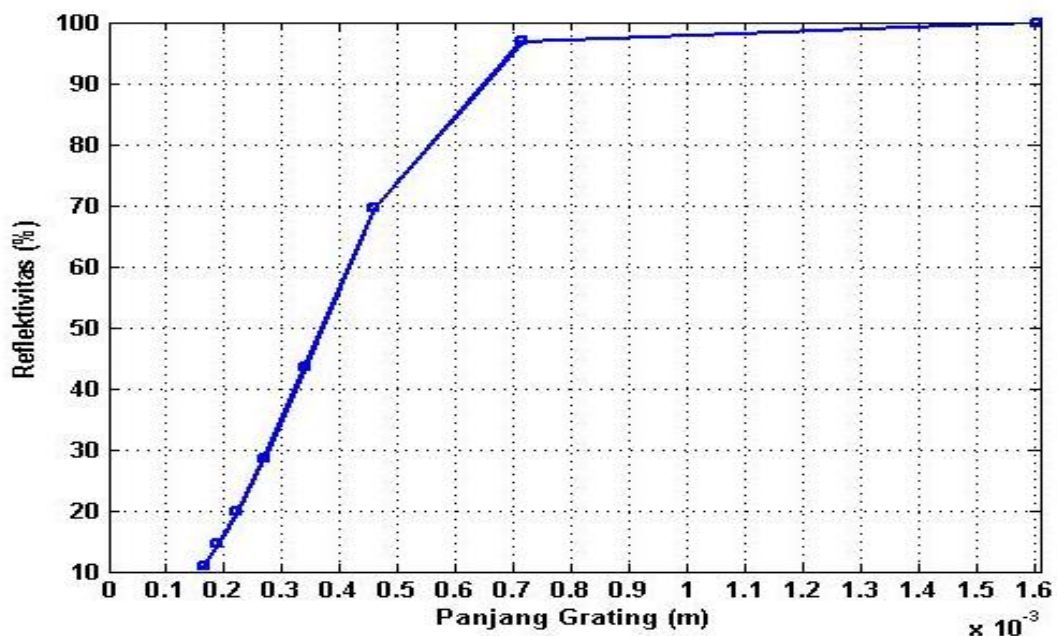
dan perhitungan panjang *grating* (L) pada jumlah kanal transmisi 40 kanal sebelumnya didapatkan sebesar 0.1646 mm. maka besar reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* 0.1646 mm, yaitu :

$$R = \tanh^2 (k.L) \times 100 \% = \tanh^2 ( 2022,518 \cdot 0,1646 \times 10^{-3} ) \times 100\% = 11,0483\%$$

Perhitungan reflektivitas (R) dari panjang *grating* (L) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil Perhitungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$

No.	Panjang <i>Grating</i> (L)	Reflektivitas (R)
1.	1,6048 mm	99,9999%
2.	0,7132 mm	96,9453%
3.	0,4585 mm	69,6713%
4.	0,3379 mm	43,6100%
5.	0,2675 mm	28,4838%
6.	0,2214 mm	19,7985%
7.	0,1888 mm	14,4935%
8.	0,1646 mm	11,0483%



**Gambar 4.4** Hubungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$

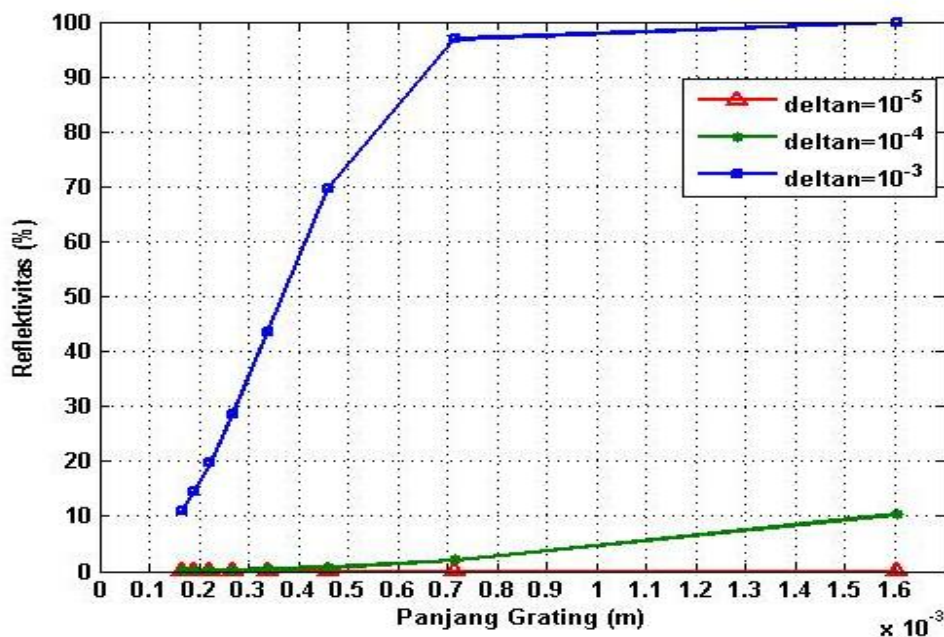
Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara reflektivitas (R) terhadap panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  terlihat bahwa semakin besar panjang *grating* maka akan semakin besar pula nilai dari reflektivitas.

Reflektivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Panjang *grating* yang semakin kecil akan memiliki nilai reflektivitas yang semakin kecil pula, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, dengan reflektivitas yang semakin kecil akan semakin kecil pula panjang gelombang yang direfleksikan sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal transmisi.

**Tabel 4.5** Rekapitulasi Perhitungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang *Grating* (L) dan Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )

No.	Panjang <i>Grating</i> (L)	Reflektivitas (R)		
		$\Delta_n = 10^{-5}$	$\Delta_n = 10^{-4}$	$\Delta_n = 10^{-3}$
1.	1,6048 mm	0,1052%	10,5069%	99,9999%
2.	0,7132 mm	0,0208%	2,0828%	96,9453%
3.	0,4585 mm	0,0086%	0,8609%	69,6713%
4.	0,3379 mm	0,0046%	0,4674%	43,6100%
5.	0,2675 mm	0,0029%	0,2929%	28,4838%
6.	0,2214 mm	0,0020%	0,2006%	19,7985%
7.	0,1888 mm	0,0014%	0,1460%	14,4935%
8.	0,1646 mm	0,0011%	0,1109 %	11,0483%





**Gambar 4.5** Grafik Rekapitulasi Perhitungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang Grating (L) dan Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )

Pada Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara reflektivitas (R) terhadap panjang grating (L) dan perubahan indeks bias grating ( $\Delta_n$ ). Semakin besar perubahan indeks bias grating maka nilai reflektivitas juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan perubahan indeks bias grating dipengaruhi oleh sifat kepekaan bahan inti serat yang bergantung pancaran sinar pada sumber optik. Maka, apabila perubahan indeks bias grating semakin besar akan mengakibatkan semakin banyak cahaya yang dibelokkan dari inti serat, sehingga reflektivitas akan semakin besar.

Berdasarkan perhitungan reflektivitas pada masing-masing perubahan indeks bias grating terhadap panjang gratingnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi kenaikan reflektivitas seiring dengan kenaikan panjang grating dan perubahan indeks bias grating, dimana panjang grating berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Sehingga, semakin besar jumlah kanal transmisi maka akan semakin kecil nilai dari reflektivitas.

Reflektivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Nilai reflektivitas terhadap panjang grating dan perubahan indeks bias grating sesuai pada Persamaan (2-15), Persamaan (2-20), dan Persamaan (2-22) :



$$\begin{aligned}
 R &= \tanh^2 (k.L) \times 100\% \\
 &= \tanh^2 \left( \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} . L \right) \times 100\% \\
 &= \tanh^2 \left( \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} \cdot \frac{c.t_{\text{material}} . D}{2.n_{\text{eff}} \cdot (N_{\text{kanal}}-1)} \right) \times 100\%
 \end{aligned}$$

dengan :

- R = reflektivitas FBG (%)
- L = panjang *grating* (m)
- k = koefisien kopling (m<sup>-1</sup>)
- Δ<sub>n</sub> = perubahan indeks bias FBG
- λ<sub>B</sub> = panjang gelombang pusat FBG (nm)
- c = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)
- t<sub>material</sub> =dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik , Δ<sub>λ</sub> (ps/km)
- n<sub>eff</sub> = indeks bias *effective*
- D = jarak total transmisi (km)
- N<sub>(Kanal)</sub> = jumlah kanal yang ditransmisikan

Maka dapat disimpulkan bahwa apabila terjadi penurunan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* akan menyebabkan penurunan reflektivitas panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG sehingga jumlah kanal transmisi akan semakin besar.

### 4.3.3 Analisis Transmittivitas (T) Terhadap Panjang *Grating* (L) dan Perubahan Indeks Bias *Grating* (Δ<sub>n</sub>)

FBG merupakan perangkat optik yang mampu merefleksikan panjang gelombang tertentu bergantung periode *grating* dan perubahan indeks bias inti seratnya. Perubahan indeks bias *grating* inti serat dipengaruhi oleh sifat kepekaan bahan inti serat optik terhadap pancaran sinar laser pada sumber optik dengan intensitas 100-1000 mJ/cm<sup>2</sup> yang mengakibatkan perubahan indeks bias pada inti serat yang berkisar 10<sup>-5</sup> hingga 10<sup>-3</sup> sehingga akan mempengaruhi bentuk keluaran spektrum refleksinya (Alessandra chiareli, 1999).

Parameter lain dari OADM menggunakan FBG yaitu panjang *grating* (L) menunjukkan panjang *grating* / kisi dari FBG pada saat merefleksikan panjang



gelombang dan berbanding terbalik terhadap jumlah kanal. Transmittivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG. Transmittivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* L sesuai dengan Persamaan (2-21) yaitu :

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

dengan :

T = transmittivitas FBG (%)

L = panjang *grating* (m)

k = koefisien kopling ( $m^{-1}$ ), diberikan oleh Persamaan (2-22) :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B}$$

dengan :

$\Delta_n$  = perubahan indeks bias FBG

$\lambda_B$  = panjang gelombang pusat FBG (nm)

Untuk mengamati pengaruh transmittivitas (T) dari panjang *grating* (L) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ) terhadap jumlah kanal transmisi maka dilakukan perhitungan reflektivitas untuk masing-masing perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ) pada inti serat yang berkisar  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ , dan  $10^{-3}$ .

#### 4.3.3.1 Perhitungan Transmittivitas Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* $10^{-5}$

Pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, didapatkan koefisien kopling sebesar :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} = \frac{3,14 \times 10^{-5}}{1552,52 \times 10^{-9}} = 20,225 m^{-1}$$

dan perhitungan panjang *grating* (L) pada jumlah kanal transmisi 40 kanal sebelumnya didapatkan sebesar 0.1646 mm. maka besar reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* 0.1646 mm, yaitu :

$$T = \frac{1}{\cosh^2(k.L)} \times 100\% = \frac{1}{\cosh^2(20,225 \times 0,1646 \times 10^{-3})} \times 100\% = 99,9989\%$$

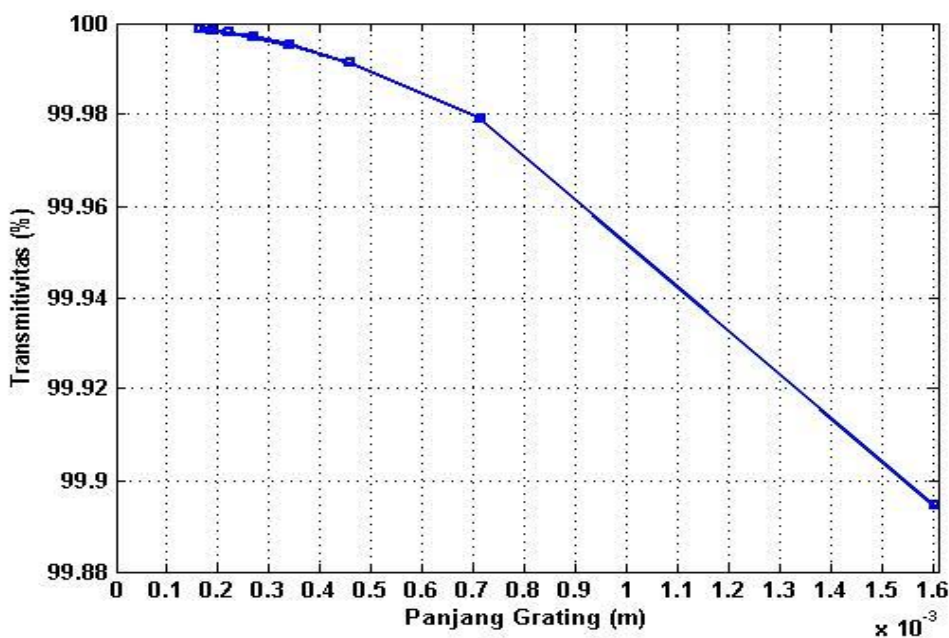
Perhitungan transmittivitas (T) dari panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan Transmittivitas (T) Terhadap Panjang



Grating (L) Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$

No.	Panjang Grating (L)	Transmitivitas (T)
1.	1,6048 mm	99,8948%
2.	0,7132 mm	99,9792%
3.	0,4585 mm	99,9914%
4.	0,3379 mm	99,9954%
5.	0,2675 mm	99,9971%
6.	0,2214 mm	99,9980%
7.	0,1888 mm	99,9986%
8.	0,1646 mm	99,9989%



Gambar 4.6 Hubungan Transmitivitas (T) Terhadap Panjang Grating (L) Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$

Hubungan antara transmitivitas (T) terhadap panjang grating (L) pada perubahan indeks bias grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  ditunjukkan pada Gambar 4.6, yaitu semakin besar panjang grating akan mengakibatkan semakin kecil nilai dari transmitivitas.

Transmitivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG. maka, apabila nilai panjang grating semakin kecil akan memiliki nilai transmitivitas yang semakin besar, dimana panjang grating berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, dengan



transmitivitas yang semakin besar akan semakin besar pula panjang gelombang yang ditransmisikan sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal transmisi.

#### 4.3.3.2 Perhitungan Transmitivitas Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* $10^{-4}$

Pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, didapatkan koefisien kopling sebesar :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} = \frac{3,14 \times 10^{-4}}{1552,52 \times 10^{-9}} = 202,252 \text{ m}^{-1}$$

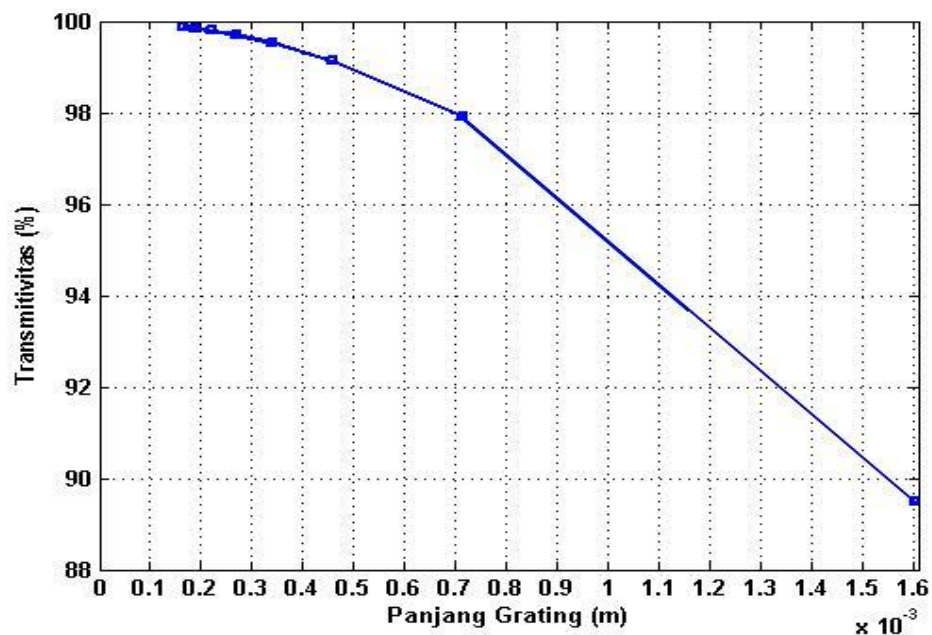
dan perhitungan panjang *grating* (L) pada jumlah kanal transmisi 40 kanal sebelumnya didapatkan sebesar 0.1646 mm. maka besar reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* 0.1646 mm, yaitu :

$$T = \frac{1}{\cosh^2(k \cdot L)} \times 100\% = \frac{1}{\cosh^2(202,25 \times 0,1646 \times 10^{-3})} \times 100\% = 99,8891\%$$

Perhitungan transmitivitas (T) dari panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan Transmitivitas (T) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$

No.	Panjang <i>Grating</i> (L)	Transmitivitas (T)
1.	1,6048 mm	89,4831%
2.	0,7132 mm	97,9172%
3.	0,4585 mm	99,1391%
4.	0,3379 mm	99,5326%
5.	0,2675 mm	99,7071%
6.	0,2214 mm	99,7994%
7.	0,1888 mm	99,8594%
8.	0,1646 mm	99,8891%



**Gambar 4.7** Hubungan Transmitivitas (T) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$

Hubungan antara transmitivitas (T) terhadap panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  ditunjukkan pada Gambar 4.7, yaitu semakin besar panjang *grating* akan mengakibatkan semakin kecil nilai dari transmitivitas.

Transmitivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG. maka, apabila nilai panjang *grating* semakin kecil akan memiliki nilai transmitivitas yang semakin besar, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, dengan transmitivitas yang semakin besar akan semakin besar pula panjang gelombang yang ditransmisikan sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal transmisi.

#### 4.3.3.3 Perhitungan Transmitivitas Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* $10^{-3}$

Pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, didapatkan koefisien kopling sebesar :

$$k = \frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} = \frac{3,14 \times 10^{-3}}{1552,52 \times 10^{-9}} = 2022,52 \text{ m}^{-1}$$



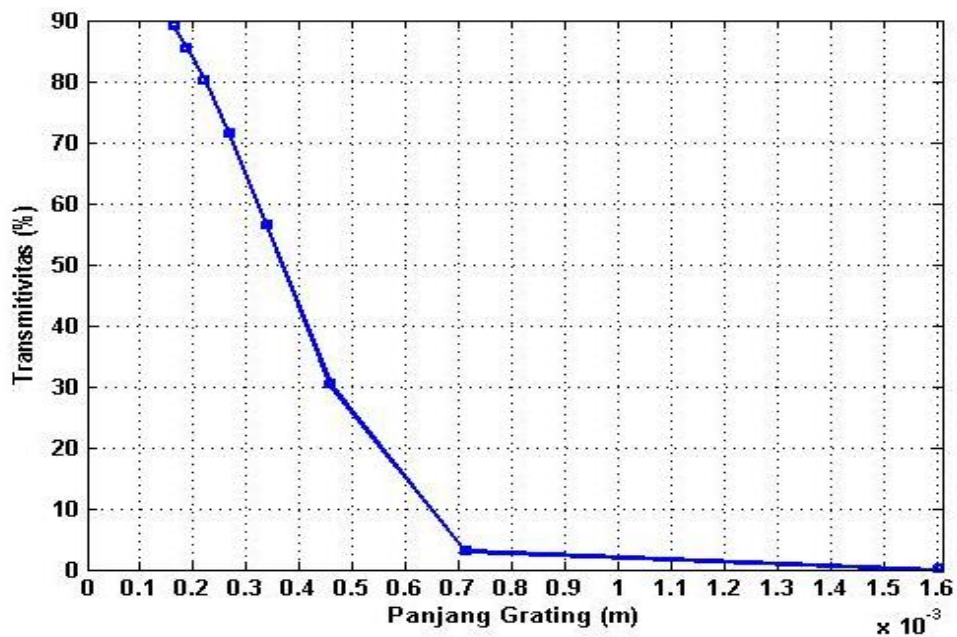
dan perhitungan panjang *grating* (L) pada jumlah kanal transmisi 40 kanal sebelumnya didapatkan sebesar 0.1646 mm. maka besar reflektivitas suatu *grating* fiber dengan panjang *grating* 0.1646 mm, yaitu :

$$T = \frac{1}{\cosh^2(k.L)} \times 100\% = \frac{1}{\cosh^2(2022,5 \times 0,1646 \times 10^{-3})} \times 100\% = 88,9517\%$$

Perhitungan transmitivitas (T) dari panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil Perhitungan Transmitivitas (T) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$

No.	Panjang <i>Grating</i> (L)	Transmitivitas (T)
1.	1,6048 mm	0,0001%
2.	0,7132 mm	3,0547%
3.	0,4585 mm	30,3287%
4.	0,3379 mm	56,3900%
5.	0,2675 mm	71,5162%
6.	0,2214 mm	80,2015%
7.	0,1888 mm	85,5065%
8.	0,1646 mm	88,9517%



**Gambar 4.8** Hubungan Transmitivitas (T) Terhadap Panjang *Grating* (L) Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$

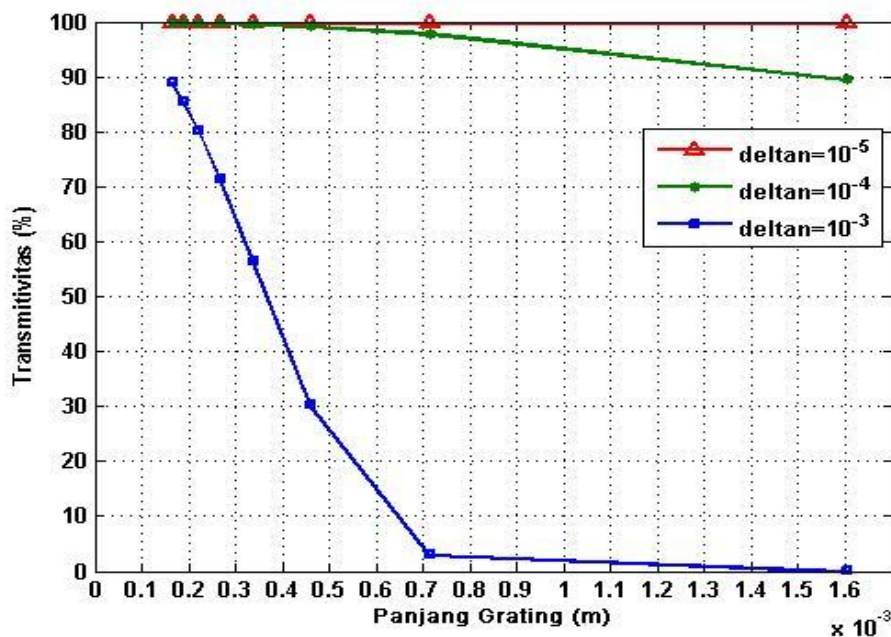


Hubungan antara transmitivitas (T) terhadap panjang *grating* (L) pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  ditunjukkan pada Gambar 4.8, yaitu semakin besar panjang *grating* akan mengakibatkan semakin kecil nilai dari transmitivitas.

Transmitivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG. maka, apabila nilai panjang *grating* semakin kecil akan memiliki nilai transmitivitas yang semakin besar, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Maka, dengan transmitivitas yang semakin besar akan semakin besar pula panjang gelombang yang ditransmisikan sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal transmisi.

**Tabel 4.9** Rekapitulasi Perhitungan Transmitivitas (T) Terhadap Panjang *Grating* (L) dan Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )

No.	Panjang <i>Grating</i> (L)	Transmitivitas (T)		
		$\Delta_n = 10^{-5}$	$\Delta_n = 10^{-4}$	$\Delta_n = 10^{-3}$
1.	1,6048 mm	99,8948%	89,4831%	0,0001%
2.	0,7132 mm	99,9792%	97,9172%	3,0547%
3.	0,4585 mm	99,9914%	99,1391%	30,3287%
4.	0,3379 mm	99,9954%	99,5326%	56,3900%
5.	0,2675 mm	99,9971%	99,7071%	71,5162%
6.	0,2214 mm	99,9980%	99,7994%	80,2015%
7.	0,1888 mm	99,9986%	99,8594%	85,5065%
8.	0,1646 mm	99,9989%	99,8891%	88,9517%



**Gambar 4.9** Grafik Rekapitulasi Perhitungan Transmittivitas (T) Terhadap Panjang *Grating* (L) dan Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara transmittivitas (T) terhadap panjang *grating* (L) dan perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ), dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi penurunan transmittivitas seiring dengan kenaikan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*, dimana panjang *grating* berbanding terbalik dengan jumlah kanal transmisi. Sehingga, semakin besar jumlah kanal transmisi maka akan semakin besar nilai dari transmittivitas.

Semakin kecil perubahan indeks bias *grating* maka nilai transmittivitas akan semakin besar. Hal ini dikarenakan perubahan indeks bias *grating* dipengaruhi oleh sifat kepekaan bahan inti serat yang bergantung pancaran sinar pada sumber optik. Maka, apabila perubahan indeks bias *grating* semakin kecil akan mengakibatkan semakin kecil pula cahaya yang dibelokkan dari inti serat, sehingga transmittivitas akan semakin besar.

Transmittivitas menunjukkan nilai prosentase panjang gelombang yang direfleksikan OADM menggunakan FBG. Nilai transmittivitas terhadap panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* sesuai pada Persamaan (2-15), Persamaan (2-20), dan Persamaan (2-22) :



$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{\cosh^2(k \cdot L)} \times 100\% \\
 &= \frac{1}{\cosh^2\left(\frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} \cdot L\right)} \times 100\% \\
 &= \frac{1}{\cosh^2\left(\frac{\pi \Delta_n}{\lambda_B} \cdot \frac{c \cdot t_{\text{material}} \cdot D}{2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot (N_{\text{kanal}} - 1)}\right)} \times 100\%
 \end{aligned}$$

dengan :

T = transmitivitas FBG (%)

L = panjang *grating* (m)

k = koefisien kopling (m<sup>-1</sup>)

Δ<sub>n</sub> = perubahan indeks bias FBG

λ<sub>B</sub> = panjang gelombang pusat FBG (nm)

c = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)

t<sub>material</sub> =dispersi material per-satuan panjang serat optik untuk lebar spektral sumber optik , Δ<sub>λ</sub> (ps/km)

n<sub>eff</sub> = indeks bias *effective*

D = jarak total transmisi (km)

N<sub>(Kanal)</sub> = jumlah kanal yang ditransmisikan

Maka dapat disimpulkan bahwa penurunan panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating* akan menyebabkan kenaikan transmitivitas panjang gelombang yang ditransmisikan OADM menggunakan FBG sehingga jumlah kanal transmisi akan semakin besar.

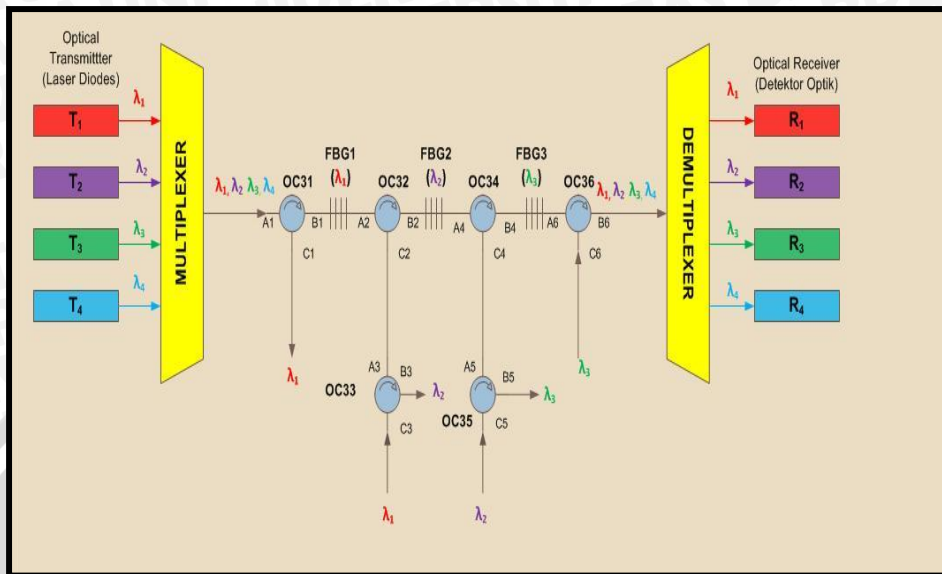
#### 4.3.4 Analisis Crosstalk Pada Penerapan OADM Menggunakan FBG

*Optical Add-Drop Multiplexer* (OADM) menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) merupakan *passive optical device* yang berperan penting dalam proses transmisi dalam komunikasi serat optik. Pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) Penggunaan FBG dalam OADM memiliki banyak fungsi yang mendukung proses transmisi komunikasi serat optik yaitu sebagai *multiplexing* dan *demultiplexing* dengan jumlah kanal transmisi yang besar, *routing*, memiliki *losses* rendah, memiliki karakteristik volume kecil sehingga mudah





digabungkan dengan sistem serat optik rugi yang relatif kecil dan dapat mengurangi *crosstalk*.



**Gambar 4.10** Blok Diagram Transmisi Pada Perangkat OADM menggunakan FBG

*Crosstalk* merupakan kontribusi dari sinyal yang tidak diinginkan dalam sistem. Besarnya *crosstalk* yang terjadi dalam suatu sistem sistem blok transmisi DWDM pada perangkat OADM menggunakan FBG ditentukan dengan menghitung pengurangan daya *output* suatu kanal *input* tanpa *crosstalk*, terhadap daya *output* suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* (semua kanal pada *input* atau diasumsikan beban trafik penuh sehingga menghasilkan *crosstalk* maksimal, dengan perbedaan daya *output* suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* sesuai dengan Persamaan (2-28) :

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

dengan :

$P_{out}$  = daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* (W), diberikan oleh Persamaan (2-24) :

$$P_{out} = R \cdot P_{in}$$

$P'_{out}$  = daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* (W), diberikan oleh Persamaan (2-26) :

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

dengan :

Pin = daya masukan (daya sumber optik yang dipergunakan) (W)

R = reflektifitas FBG (%)

$\varepsilon_i$  = *optical power ratio* di setiap komponen sinyal *crosstalk*, diberikan oleh

Persamaan (2-27) :

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} = \sqrt{\sigma_{RIN}^2 \times \frac{R}{(1-R)}}$$

dengan :

$\sigma_{RIN}^2$  = *relative intensity noise*

Berdasarkan Tabel 3.1 dan 3.3 analisa *crosstalk* dalam sistem OADM menggunakan FBG menggunakan spesifikasi sebagai berikut :

- Daya pancar laser diode (ML9XX37) : 80 mW
- Nilai  $\sigma_{RIN}^2$  (*relative intensity noise*) berdasarkan jumlah kanal :

**Tabel 4.10** *Relative Intensity Noise* Berdasarkan Jumlah Kanal Transmisi ( $N_{kanal}$ )

No.	Jumlah Kanal	$\sigma_{RIN}^2$ ( <i>relative intensity noise</i> ) (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

(Sumber : M. Mahiuddin et al, 2010)

Perhitungan *crosstalk* terhadap variasi jumlah kanal Sesuai standar ITU-T G-692 pada sistem DWDM harus memiliki *channel grid* 100 GHz dan memiliki 40 kanal. Berdasarkan persamaan tersebut, untuk menghitung *crosstalk* terlebih dahulu menghitung reflektivitas (R) yang besarnya dipengaruhi oleh panjang *grating* (L) dan masing-masing perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ ) pada inti serat terhadap jumlah kanal transmisi yang berkisar  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ , dan  $10^{-3}$ . Sehingga perhitungan *crosstalk* juga berdasar pada panjang *grating* dan perubahan indeks bias *grating*.

#### 4.3.4.1 Perhitungan Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-5}$

Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, berdasarkan perhitungan sebelumnya didapatkan :

- Panjang grating (L) = 0,1646 mm
- Reflektivitas (R) = 0,0011%

maka optical power ratio di setiap komponen sinyal crosstalk, akan didapat sebesar:

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} = \sqrt{\sigma_{RIN}^2 \times \frac{R}{(1-R)}} = \sqrt{0,02 \times 10^{-3} \times \frac{0,000011}{(1-0,000011)}} = 1,490 \times 10^{-5}$$

Daya output yang diterima pada suatu kanal input tanpa crosstalk adalah :

$$P_{out} = R \cdot P_{in} = 0,000011 \times 0,08 = 8,8 \times 10^{-7} \text{ W}$$

sedangkan daya output yang diterima pada suatu kanal input yang melibatkan crosstalk adalah :

$$\begin{aligned} P'_{out} &= R \cdot P_{in} - 2 \sqrt{R \cdot (1-R)} \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} \\ &= 8,8 \times 10^{-7} - \left( 2 \sqrt{1,1 \times 10^{-5} (1 - 1,1 \times 10^{-5})} \times 0,08 \times 1,490 \times 10^{-5} \right) \\ &= 8,721 \times 10^{-7} \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga akan didapatkan crosstalk sebesar :

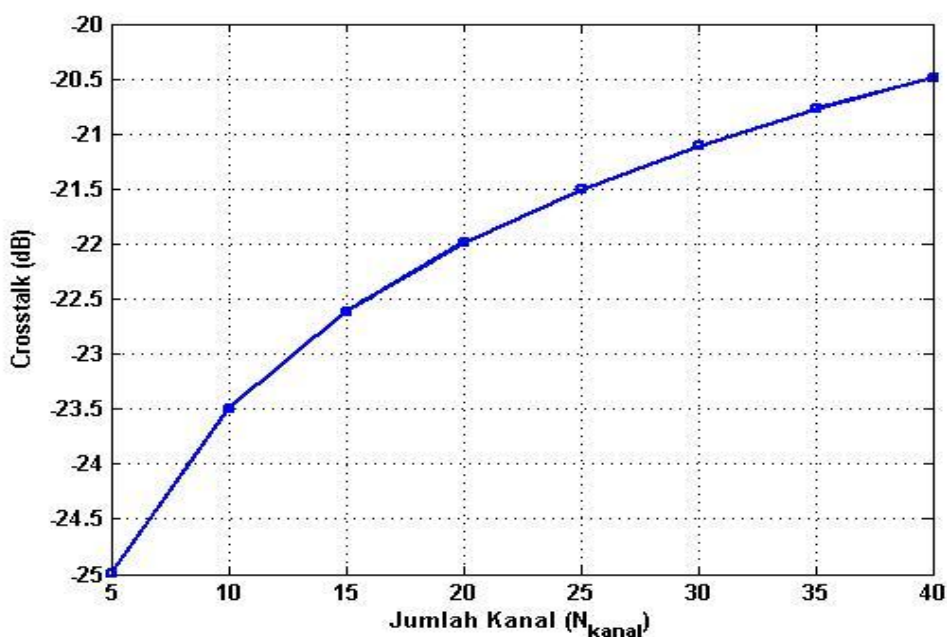
$$\begin{aligned} \text{Crosstalk (dB)} &= 10 \log \frac{P_{out} - P'_{out}}{P_{out}} \\ &= 10 \log \frac{8,8 \times 10^{-7} - 8,721 \times 10^{-7}}{8,8 \times 10^{-7}} \\ &= -20,4846 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan crosstalk berdasarkan pada nilai reflektivitas yang dipengaruhi nilai panjang grating (L) dan perubahan indeks bias grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  dari kenaikan jumlah kanal transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.11.



Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$

No.	Jumlah Kanal Transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ )	Reflektivitas (R)	Daya Ouput Tanpa Crosstalk ( $P_{\text{out}}$ )	Daya Ouput Dengan Crosstalk ( $P'_{\text{out}}$ )	Crosstalk (dB)
1.	5	0,1052%	$841,6 \times 10^{-7}$	$838,934 \times 10^{-7}$	-25.0000
2.	10	0,0208%	$166,4 \times 10^{-7}$	$165,656 \times 10^{-7}$	-23.4949
3.	15	0,0086%	$68,8 \times 10^{-7}$	$68,423 \times 10^{-7}$	-22,6144
4.	20	0,0046%	$36,8 \times 10^{-7}$	$36,567 \times 10^{-7}$	-21,9897
5.	25	0,0029%	$23,2 \times 10^{-7}$	$23,036 \times 10^{-7}$	-21,5051
6.	30	0,0020%	$16 \times 10^{-7}$	$15,876 \times 10^{-7}$	-21,1092
7.	35	0,0014%	$11,2 \times 10^{-7}$	$11,106 \times 10^{-7}$	-20,7745
8.	40	0,0011%	$8,8 \times 10^{-7}$	$8,721 \times 10^{-7}$	-20,4846



Gambar 4.11 Hubungan Crosstalk Terhadap Panjang Kanal Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$

Gambar 4.11 menunjukkan hubungan *crosstalk* terhadap panjang kanal pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$  dan dapat dilihat bahwa kenaikan jumlah kanal mengakibatkan kenaikan nilai *crosstalk*. Maka, besarnya *crosstalk* dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kanal. Semakin banyak jumlah kanal transmisi akan mengakibatkan semakin besar nilai *crosstalk* pada perangkat OADM menggunakan FBG.

#### 4.3.4.2 Perhitungan Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-4}$

Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, berdasarkan perhitungan sebelumnya didapatkan :

- Panjang grating (L) = 0,1646 mm
- Reflektivitas (R) = 0,1109 %

maka optical power ratio di setiap komponen sinyal crosstalk, akan didapat sebesar:

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} = \sqrt{\sigma_{RIN}^2 \times \frac{R}{(1-R)}} = \sqrt{0,02 \times 10^{-3} \times \frac{0,001109}{(1-0,001109)}} = 1,49 \times 10^{-4}$$

Daya output yang diterima pada suatu kanal input tanpa crosstalk adalah :

$$P_{out} = R \cdot P_{in} = 0,001109 \times 0,08 = 8,872 \times 10^{-5} \text{ W}$$

sedangkan daya output yang diterima pada suatu kanal input yang melibatkan crosstalk adalah :

$$\begin{aligned} P'_{out} &= R \cdot P_{in} - 2 \sqrt{R \cdot (1-R)} \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} \\ &= 8,872 \times 10^{-5} - \left( 2 \sqrt{1,109 \times 10^{-3} \times (1 - 1,109 \times 10^{-3})} \right) \times 0,08 \times 1,49 \times 10^{-4} \\ &= 8,793 \times 10^{-5} \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga akan didapatkan crosstalk sebesar :

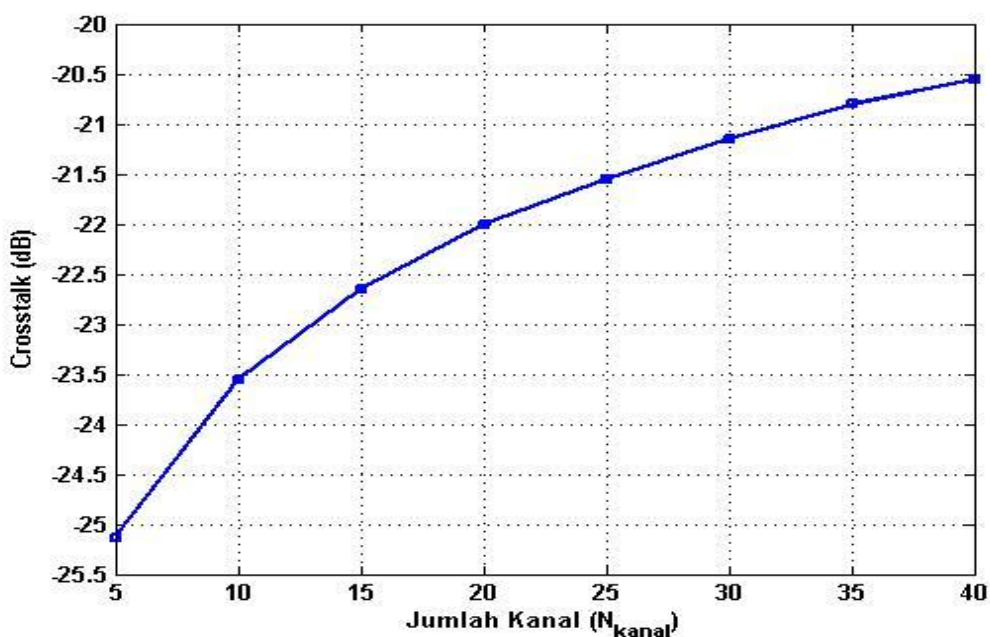
$$\begin{aligned} \text{Crosstalk (dB)} &= 10 \log \frac{P_{out} - P'_{out}}{P_{out}} \\ &= 10 \log \frac{8,872 \times 10^{-5} - 8,793 \times 10^{-5}}{8,872 \times 10^{-5}} \\ &= -20,4846 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan crosstalk berdasarkan pada nilai reflektivitas yang dipengaruhi nilai panjang grating (L) dan perubahan indeks bias grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  dari kenaikan jumlah kanal transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.12.



Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$

No.	Jumlah Kanal Transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ )	Reflektivitas (R)	Daya Ouput Tanpa Crosstalk ( $P_{\text{out}}$ )	Daya Ouput Dengan Crosstalk ( $P'_{\text{out}}$ )	Crosstalk (dB)
1.	5	10,5069%	$840,550 \times 10^{-5}$	$837,957 \times 10^{-3}$	-25,1077
2.	10	2,0828%	$166,630 \times 10^{-5}$	$165,885 \times 10^{-4}$	-23,4958
3.	15	0,8609%	$68,872 \times 10^{-5}$	$68,495 \times 10^{-5}$	-22,6151
4.	20	0,4674%	$37,392 \times 10^{-5}$	$37,155 \times 10^{-5}$	-21,9898
5.	25	0,2929%	$23,432 \times 10^{-5}$	$23,266 \times 10^{-5}$	-21,5075
6.	30	0,2006%	$16,048 \times 10^{-5}$	$15,924 \times 10^{-5}$	-21,1199
7.	35	0,1460%	$11,680 \times 10^{-5}$	$11,583 \times 10^{-5}$	-20,8157
8.	40	0,1109 %	$8,872 \times 10^{-5}$	$8,793 \times 10^{-5}$	-20,4893



Gambar 4.12 Hubungan Crosstalk Terhadap Panjang Kanal Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan *crosstalk* terhadap panjang kanal pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-4}$  dan dapat dilihat bahwa kenaikan jumlah kanal mengakibatkan kenaikan nilai *crosstalk*. Maka, besarnya *crosstalk* dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kanal. Semakin banyak jumlah kanal transmisi akan mengakibatkan semakin besar nilai *crosstalk* pada perangkat OADM menggunakan FBG.



#### 4.3.4.3 Perhitungan Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-3}$

Crosstalk Pada Perubahan Indeks Bias Grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  pada jumlah kanal transmisi 40 kanal, berdasarkan perhitungan sebelumnya didapatkan :

- Panjang grating (L) = 0,1646 mm
- Reflektivitas (R) = 11,0483%

maka *optical power ratio* di setiap komponen sinyal *crosstalk*, akan didapat sebesar:

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} = \sqrt{\sigma_{RIN}^2 \times \frac{R}{(1-R)}} = \sqrt{0,02 \times 10^{-3} \times \frac{0,110483}{(1-0,110483)}} = 1,576 \times 10^{-3}$$

Daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* adalah :

$$P_{out} = R \cdot P_{in} = 0,110483 \times 0,08 = 8,8386 \times 10^{-3} \text{ W}$$

sedangkan daya *output* yang diterima pada suatu kanal *input* yang melibatkan *crosstalk* adalah :

$$\begin{aligned} P'_{out} &= R \cdot P_{in} - 2 \sqrt{R \cdot (1-R)} \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} \\ &= 8,8386 \times 10^{-3} - \left( 2 \sqrt{0,11048 \times (1-0,11048)} \times 0,08 \times 1,576 \times 10^{-3} \right) \\ &= 8,7596 \times 10^{-3} \text{ W} \end{aligned}$$

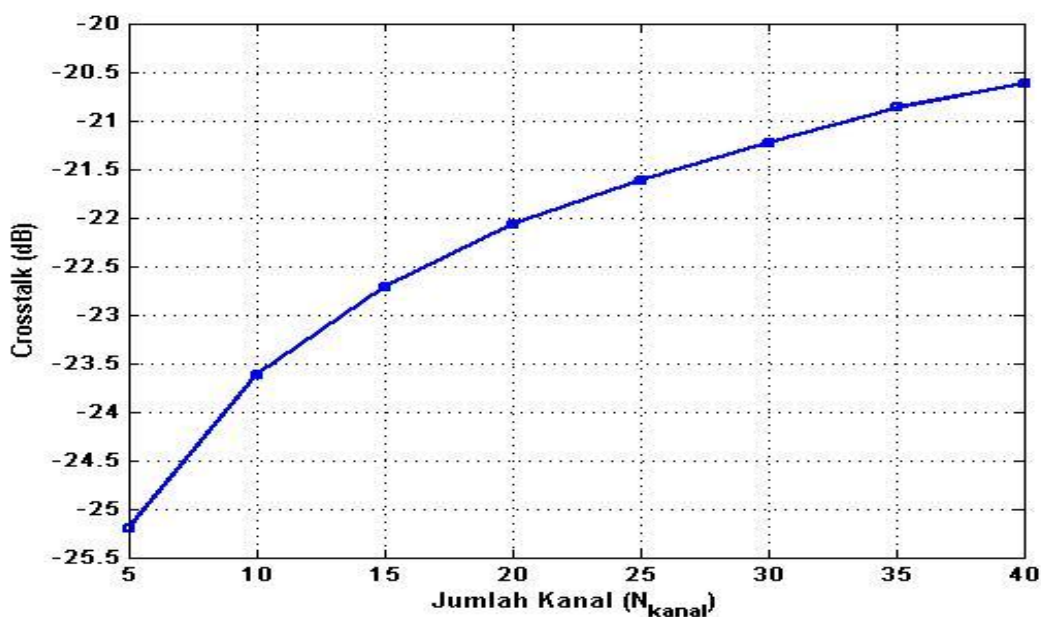
Sehingga akan didapatkan *crosstalk* sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Crosstalk (dB)} &= 10 \log \frac{P_{out} - P'_{out}}{P_{out}} \\ &= 10 \log \frac{8,8386 \times 10^{-3} - 8,7596 \times 10^{-3}}{8,8386 \times 10^{-3}} \\ &= -20,5206 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan *crosstalk* berdasarkan pada nilai reflektivitas yang dipengaruhi nilai panjang grating (L) dan perubahan indeks bias grating ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  dari kenaikan jumlah kanal transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan *Crosstalk* Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$

No.	Jumlah Kanal Transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ )	Reflektivitas (R)	Daya Ouput Tanpa <i>Crosstalk</i> ( $P_{\text{out}}$ )	Daya Ouput Dengan <i>Crosstalk</i> ( $P'_{\text{out}}$ )	<i>Crosstalk</i> (dB)
1.	5	99,9999%	$79,9999 \times 10^{-3}$	$79,7534 \times 10^{-3}$	-25,1282
2.	10	96,9453%	$77,5562 \times 10^{-3}$	$77,2095 \times 10^{-3}$	-23,4964
3.	15	69,6713%	$55,7370 \times 10^{-3}$	$56,4321 \times 10^{-3}$	-22,6199
4.	20	43,6100%	$34,8880 \times 10^{-3}$	$34,6674 \times 10^{-3}$	-21,9899
5.	25	28,4838%	$22,7870 \times 10^{-3}$	$22,6262 \times 10^{-3}$	-21,5140
6.	30	19,7985%	$15,8388 \times 10^{-3}$	$15,8237 \times 10^{-3}$	-21,1200
7.	35	14,4935%	$11,5948 \times 10^{-3}$	$11,4987 \times 10^{-3}$	-20,8183
8.	40	11,0483%	$8,8386 \times 10^{-3}$	$8,7596 \times 10^{-3}$	-20,5206



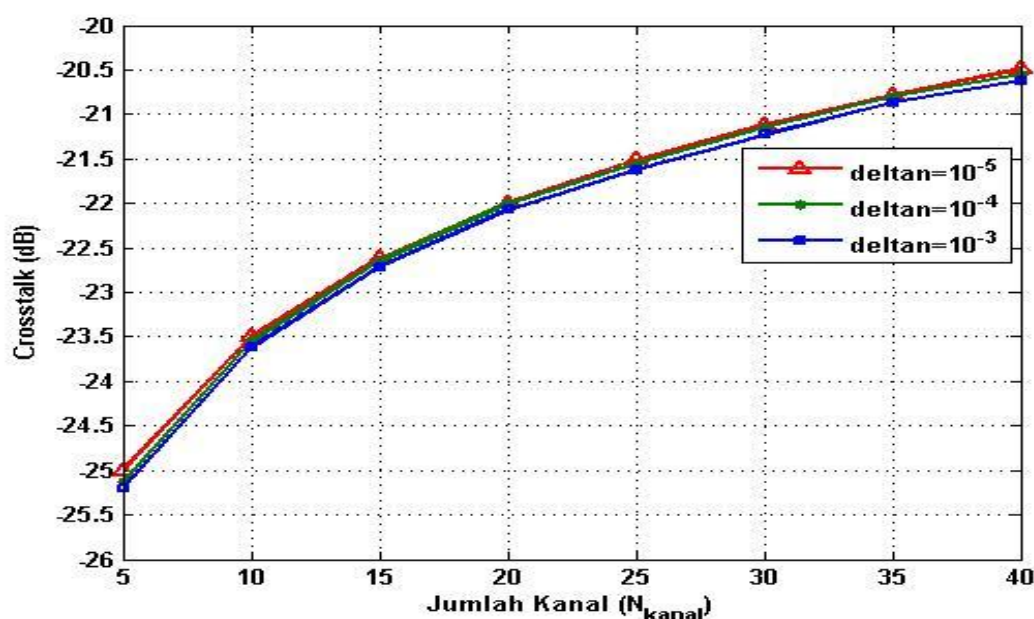
Gambar 4.13 Hubungan *Crosstalk* Terhadap Panjang Kanal Pada Perubahan Indeks Bias *Grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$

Gambar 4.13 menunjukkan hubungan *crosstalk* terhadap panjang kanal pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-3}$  dan dapat dilihat bahwa kenaikan jumlah kanal mengakibatkan kenaikan nilai *crosstalk*. Maka, besarnya *crosstalk* dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kanal. Semakin banyak jumlah kanal transmisi

akan mengakibatkan semakin besar nilai *crosstalk* pada perangkat OADM menggunakan FBG.

**Tabel 4.14** Rekapitulasi Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Kenaikan Jumlah Kanal Transmisi

No.	Jumlah Kanal Transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ )	<i>Crosstalk</i> (dB)		
		$\Delta_n = 10^{-5}$	$\Delta_n = 10^{-4}$	$\Delta_n = 10^{-3}$
1.	5	-25,0000	-25,1077	-25,1282
2.	10	-23,4949	-23,4958	-23,4964
3.	15	-22,6144	-22,6151	-22,6199
4.	20	-21,9897	-21,9898	-21,9899
5.	25	-21,5051	-21,5075	-21,5140
6.	30	-21,1092	-21,1199	-21,1200
7.	35	-20,7745	-20,8157	-20,8183
8.	40	-20,4846	-20,4893	-20,5206



**Gambar 4.14** Grafik Rekapitulasi Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Kenaikan Jumlah Kanal Transmisi

Gambar 4.14 menunjukkan hubungan *crosstalk* terhadap panjang kanal pada perubahan indeks bias *grating* ( $\Delta_n$ )  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$  dan  $10^{-3}$ , dapat dilihat bahwa pada setiap perubahan indeks bias *grating*, kenaikan jumlah kanal transmisi akan mengakibatkan kenaikan nilai *crosstalk*. Maka, semakin banyak jumlah kanal



transmisi akan mengakibatkan semakin besar nilai *crosstalk* pada perangkat OADM menggunakan FBG.

Hal ini dikarenakan dengan jumlah kanal transmisi yang semakin besar, maka akan semakin besar pula panjang gelombang yang akan ditransmisikan OADM menggunakan FBG. Sehingga, semakin besar panjang gelombang yang akan direfleksikan dan dikeluarkan pada *port drop circulator*, kemudian setiap panjang gelombang yang telah terefleksi tersebut ditambahkan pada *port add circulator* untuk pentransmisiannya berikutnya. Maka *crosstalk* timbul akibat adanya penurunan daya pada panjang gelombang yang mengalami refleksi tersebut dan dikeluarkan pada *port drop circulator*, kemudian panjang gelombang yang telah terefleksi akan ditambahkan pada *port add circulator* untuk pentransmisiannya 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 4.15** Perbandingan *Crosstalk* Berdasarkan Jumlah Kanal Transmisi Antara OADM Menggunakan FBG dan AWG

No.	Jumlah Kanal Transmisi ( $N_{\text{kanal}}$ )	<i>Crosstalk</i> (dB)	
		OADM Menggunakan FBG	AWG
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

(Sumber: Adriani Elsa O., 2012 dan Hasil Perhitungan, 2013)

Tabel 4.15 menunjukkan perbandingan *crosstalk* berdasarkan jumlah kanal transmisi antara OADM menggunakan FBG dan AWG. Pada perangkat AWG *crosstalk* terjadi akibat dari *array* yang berdekatan pada AWG. Pada Tabel 4.15 dapat disimpulkan bahwa OADM menggunakan FBG dan AWG merupakan

*passive optical device* dalam sistem transmisi serat optik yang keduanya dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing*, *filter*, dan *routing*. Perangkat OADM menggunakan FBG terbukti memiliki *crosstalk* yang jauh lebih rendah dibandingkan perangkat AWG. Sehingga, OADM menggunakan FBG akan dapat meningkatkan kinerja pada teknik transmisi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dalam sistem komunikasi serat optik.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pembahasan maka 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*.

#### 5.2 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 *Mazh-Zenhder Interferometer* (MZI), *Directional Coupler* (DC), dan *Acusto-Optics* (AO).



## DAFTAR PUSTAKA

- Benjamin B, Dingel. 2001. *Photonic Add-Drop Multiplexing Perspective For Next Generation Optical Network*. SPIE International Society For Optics and Photonic.
- 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).
- Chiareli, Alessandra. 1999. *Troubleshooting Fiber Bragg Grating Fabrication with Modeling*. Fiber Optik And Electronic Technology Center.
- Decusatis, Casimer. 2002. *Handbook Of Fiber Optik Data Communication*. Academic Press. Poughkeepsie, New York.
- Dominik Bischoff. 2009. *Wavelength multiplexing: WDM and DWDM Systems*. Cisco book.
- F. Yu, S. Yin. 2002. *Fiber Optik Sensors*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Ikhlef, Abdallah. 2012. *Uniform Fiber Bragg Grating Modeling and Simulation Used Matrix Transfer Method*. International Journal Of Computer Science Issues.
- ITU-T G.692. 1998. *Optical Interfaces For Multichannel Systems With Optical Amplifier*.
- Gerd, Keiser. 2003. *Optical Fiber Communications*. Digital Engineering Library. The Mcgraw-Hill Companies.
- J. Buck. 2001. *Optical Fiber Amplifiers Handbook of Optics. The McGraw-Hill Companies*.
- Kenneth O. Hill. 1997. *Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals And Overview*. Journal Of Lightwave Technology.
- Mahiuddin, M et al. 2010. *Inchoherent Crosstalk Analysisin Fiber Bragg Grating Based Optical Add-Drop Multiplexer in Optical Network*. Journal Of Networks.
- 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.
- Raman, Khasyap. 2010. *Fiber Bragg Grating Second Edition*. Academic Press.

Ugale, Sunita. 2010. *Fiber Bragg Grating Modeling, Characterization and Optimiazation With Different Index Profiles*. International Journal Of Engineering Science And Technology.

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.

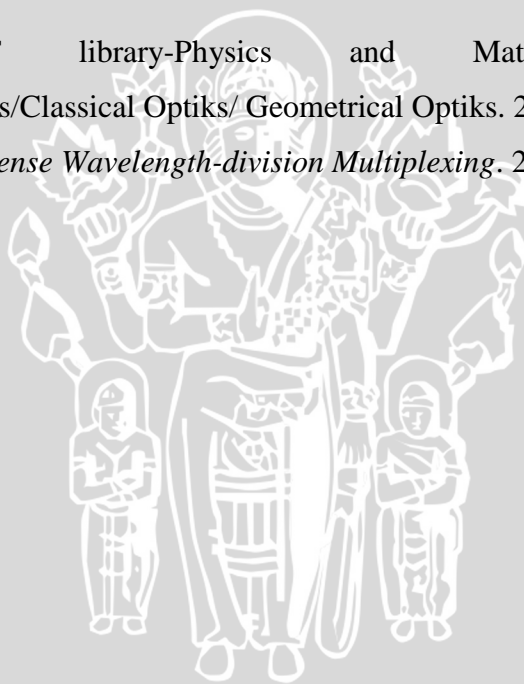
[www.bwtek.com/Photonics Spectra/ Fiber Bragg Gratings Filter WDM Signals](http://www.bwtek.com/Photonics%20Spectra/Fiber%20Bragg%20Gratings%20Filter%20WDM%20Signals). 2003.

[www.da.wikipedia.org/OADM Module 1.PNG](http://www.da.wikipedia.org/OADM%20Module%201.PNG). 2007.

[www.optikomm.com/ Fiber-Optik.Info/ Dense Wavelength-division Multiplexing](http://www.optikomm.com/Fiber-Optik.Info/Dense%20Wavelength-division%20Multiplexing). 2012.

[www.Physicsforums/PF library-Physics and Math Information Database/Physics/Classical Optiks/ Geometrical Optiks](http://www.Physicsforums/PF%20library-Physics%20and%20Math%20Information%20Database/Physics/Classical%20Optiks/Geometrical%20Optiks). 2009.

[www.techguide.com/ Dense Wavelength-division Multiplexing](http://www.techguide.com/Dense%20Wavelength-division%20Multiplexing). 2012.





## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Listing Program Matlab Menghitung Panjang Grating terhadap Jumlah kanal Transmisi

```
%Calculate Data
Nkanal=5:5:40;
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3
plot(Nkanal,L)
xlabel('Jumlah Kanal')
ylabel('Panjang Grating (mm)')
title('Grafik Hubungan Panjang Grating (L) dengan Jumlah
Kanal (N_k_a_n_a_l)')
grid on
```

### Lampiran 2 Listing Program Matlab Menghitung Reflektivitas terhadap Panjang Grating Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-5}$

```
%Calculate Data
Nkanal=5:5:40;
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3
deltan1=1*10^-5;
Lamdabragg=1552.5*10^-9;
k1=(pi.*deltan1)/Lamdabragg
a1=k1.*L;
R1= tanh(a1.^2)
R=R1.*100
plot(L,R)
ylabel('Reflektivitas (%)')
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Grafik Hubungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang
Grating (L)')
grid on
```

**Lampiran 3 Listing Program Matlab Menghitung Reflektivitas terhadap Panjang Grating Pada Perubahan Indeks Bias Grating  $10^4$**

```
%Calculate Data
Nkanal=5:5:40;
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3
deltan2=1*10^-4;
Lamdabragg=1552.5*10^-9;
k2=(pi.*deltan2)/Lamdabragg
a2=k2.*L;
R2= tanh(a2.^2)
R=R2.*100
plot (L,R)
ylabel('Reflektivitas (%)')
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Grafik Hubungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang Grating (L)')
grid on

%jumlah kanal transmisi
%jumlah FBG
%jarak total transmisi
%jarak peletakan FBG
%dispersi material
%keceptan cahaya
%indeks bias efektif
%panjang grating
%indeks bias grating
%panjang gelombang pusat FBG
%koefisien kopling
%reflektivitas
```

**Lampiran 4 Listing Program Matlab Menghitung Reflektivitas terhadap Panjang Grating Pada Perubahan Indeks Bias Grating  $10^3$**

```
%Calculate Data
Nkanal=5:5:40;
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3
deltan3=1*10^-3;
Lamdabragg=1552.5*10^-9;
k3=(pi.*deltan3)/Lamdabragg
a3=k3.*L;
R3= tanh(a3.^2)
R=R3.*100
plot (L,R)
ylabel('Reflektivitas (%)')
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Grafik Hubungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang Grating (L)')
grid on

%jumlah kanal transmisi
%jumlah FBG
%jarak total transmisi
%jarak peletakan FBG
%dispersi material
%keceptan cahaya
%indeks bias efektif
%panjang grating
%indeks bias grating
%panjang gelombang pusat FBG
%koefisien kopling
%reflektivitas
```



**Lampiran 5 Listing Program Matlab Rekapitulasi Reflektivitas terhadap Panjang Grating dan Masing-Masing Perubahan Indeks Bias Grating**

```

%Calculate Data
Nkanal=[5:5:40];
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3
deltan1=1*10^-5;
deltan2=1*10^-4;
deltan3=1*10^-3;
Lamdabragg=1552.5*10^-9;
k1=(pi.*deltan1)/Lamdabragg;
k2=(pi.*deltan2)/Lamdabragg;
k3=(pi.*deltan3)/Lamdabragg;
a1=k1.*L;
a2=k2.*L;
a3=k3.*L;
R1= tanh(a1.^2).*100
R2= tanh(a2.^2).*100
R3= tanh(a3.^2).*100
plot (L,R1,L,R2,L,R3)
legend('deltan=10^-5','deltan=10^-4','deltan=10^-3')
ylabel('Reflektivitas (%)')
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Grafik Hubungan Reflektivitas (R) Terhadap Panjang Grating (L)')
grid on

%jumlah kanal transmisi
%jumlah FBG
%jarak total transmisi
%jarak peletakan FBG
%dispersi material
%keceptan cahaya
%indeks bias efektif
%panjang grating
%indeks bias grating
%panjang gelombang pusat FBG
%koefisien kopling
%reflektivitas

```

**Lampiran 6 Listing Program Matlab Menghitung Transmittivitas terhadap Panjang Grating Pada Perubahan Indeks Bias Grating  $10^{-5}$**

```

%Calculate Data
Nkanal=5:5:40;
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3
deltan1=1*10^-5;
Lamdabragg=1552.5*10^-9;
k1=(pi.*deltan1)/Lamdabragg;
a1=k1.*L;
T1=1-tanh(a1.^2);
T=T1.*100
plot (L,T)

%jumlah kanal transmisi
%jumlah FBG
%jarak total transmisi
%jarak peletakan FBG
%dispersi material
%keceptan cahaya
%indeks bias efektif
%panjang grating
%indeks bias grating
%panjang gelombang pusat FBG
%koefisien kopling
%transmitivitas

```



```

ylabel('Transmitivitas (%)')
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Hubungan Transmitivitas (T) dengan Panjang Grating
(L)')
grid on

```

### Lampiran 7 Listing Program Matlab Menghitung Transmitivitas terhadap Panjang Grating Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-4}$

```

%Calculate Data
Nkanal=5:5:40; %jumlah kanal transmisi
Nfbg=Nkanal-1; %jumlah FBG
D=99431; %jarak total transmisi
Dfbg=D./Nfbg; %jarak peletakan FBG
tm=6.4*10^-16; %dispersi material
c=3*10^8; %keceptan cahaya
neff=1.487; %indeks bias efektif
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3 %panjang grating
deltan2=1*10^-4; %indeks bias grating
Lamdabragg=1552.5*10^-9; %panjang gelombang pusat FBG
k2=(pi.*deltan2)/Lamdabragg %koefisien kopling
a2=k2.*L;
T2=1-tanh(a2.^2);
T=T2.*100 %transmitivitas
plot(L,T)
ylabel('Transmitivitas (%)')
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Hubungan Transmitivitas (T) dengan Panjang Grating
(L)')
grid on

```

### Lampiran 8 Listing Program Matlab Menghitung Transmitivitas terhadap Panjang Grating Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-3}$

```

%Calculate Data
Nkanal=5:5:40; %jumlah kanal transmisi
Nfbg=Nkanal-1; %jumlah FBG
D=99431; %jarak total transmisi
Dfbg=D./Nfbg; %jarak peletakan FBG
tm=6.4*10^-16; %dispersi material
c=3*10^8; %keceptan cahaya
neff=1.487; %indeks bias efektif
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3 %panjang grating
Deltan3=1*10^-3; %indeks bias grating
Lamdabragg=1552.5*10^-9; %panjang gelombang pusat FBG
k3=(pi.*deltan3)/Lamdabragg %koefisien kopling
a3=k3.*L;
T3=1-tanh(a3.^2);
T=T3.*100 %transmitivitas
plot(L,T)
ylabel('Transmitivitas (%)')

```

```
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Hubungan Transmittivitas (T) dengan Panjang Grating
(L)')
grid on
```

### Lampiran 9 Listing Program Matlab Rekapitulasi Transmittivitas terhadap Panjang Grating dan Masing-Masing Perubahan Indeks Bias Grating

```
%Calculate Data
Nkanal=[5:5:40];
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=((c*tm.*Dfbg)/(2*neff))*10^3
deltan1=1*10^-5;
deltan2=1*10^-4;
deltan3=1*10^-3;
Lamdabragg=1552.5*10^-9;
k1=(pi.*deltan1)/Lamdabragg;
k2=(pi.*deltan2)/Lamdabragg;
k3=(pi.*deltan3)/Lamdabragg;
a1=k1.*L;
a2=k2.*L;
a3=k3.*L;
T1=1-tanh(a1.^2);
T2=1-tanh(a2.^2);
T3=1-tanh(a3.^2);
T11=T1.*100
T21=T2.*100
T31=T3.*100
plot(L,T11,L,T21,L,T31)
legend('deltan=10^-^5','deltan=10^-^4','deltan=10^-^3')
ylabel('Transmittivitas (%)')
xlabel('Panjang Grating (m)')
title('Grafik Hubungan Transmittivitas dengan Panjang Grating
(L)')
grid on
```

### Lampiran 10 Listing Program Matlab Menghitung Crosstalk terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-5}$

```
%Calculate Data
Nkanal=[5:5:40];
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
%jumlah kanal transmisi
%jumlah FBG
%jarak total transmisi
%jarak peletakan FBG
%dispersi material
%kecepatan cahaya
```



```

neff=1.487; %indeks bias grating
L=(c*tm.*Dfbg)/(2*neff) %panjang grating
deltan1=1*10^-5; %indeks bias grating
Lamdabragg=1552.5*10^-9; %panjang gelombang pusat FBG
k=(pi.*deltan1)/Lamdabragg; %koefisien kopling
a=k.*L;
R= tanh(a.^2) %reflektivitas
Pin=0.01; %daya input
RIN=[0.00025*10^-3:0.00025*10^-3:0.02*10^-3] %relavite
intensity noise

b=R.*(1-R);
c=(R.*RIN(1:40))./(1-R);
d=sqrt(c)
Pout1=R*Pin %daya output pada kanal tanpa crosstalk
Pout2=Pout1-(2.*sqrt(b)*Pin.*d) %daya output pada kanal
dengan crosstalk

e=Pout1-Pout2;
crosstalkdb=10.*log10(e./Pout1) %crosstalk
plot (Nkanal,crosstalkdb)
ylabel('Crosstalk (dB)')
xlabel('Jumlah Kanal (N_k_a_n_a_l)')
title('Grafik Hubungan Crosstalk Terhadap Jumlah Kanal')
grid on

```

**Lampiran 11 Listing Program Matlab Menghitung Crosstalk terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Perubahan Indeks Bias Grating  $10^{-4}$**

```

%Calculate Data
Nkanal=[5:5:40]; %jumlah kanal transmisi
Nfbg=Nkanal-1; %jumlah FBG
D=99431; %jarak total transmisi
Dfbg=D./Nfbg; %jarak peletakan FBG
tm=6.4*10^-16; %dispersi material
c=3*10^8; %kecepatan cahaya
neff=1.487; %indeks bias grating
L=(c*tm.*Dfbg)/(2*neff) %panjang grating
deltan1=1*10^-4; %indeks bias grating
Lamdabragg=1552.5*10^-9; %panjang gelombang pusat FBG
k=(pi.*deltan1)/Lamdabragg; %koefisien kopling
a=k.*L;
R= tanh(a.^2) %reflektivitas
Pin=0.01; %daya input
RIN=[0.00025*10^-3:0.00025*10^-3:0.02*10^-3] %relavite
intensity noise

b=R.*(1-R);
c=(R.*RIN(1:40))./(1-R);
d=sqrt(c)
Pout1=R*Pin %daya output pada kanal tanpa crosstalk
Pout2=Pout1-(2.*sqrt(b)*Pin.*d) %daya output pada kanal
dengan crosstalk

e=Pout1-Pout2;
crosstalkdb=10.*log10(e./Pout1) %crosstalk

```





```

plot (Nkanal,crosstalkdb)
ylabel('Crosstalk (dB)')
xlabel('Jumlah Kanal (N_k_a_n_a_l)')
title('Grafik Hubungan Crosstalk Terhadap Jumlah Kanal')
grid on

```

### Lampiran 12 Listing Program Matlab Menghitung Crosstalk terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Perubahan Indeks Bias Grating $10^{-3}$

```

%Calculate Data
Nkanal=[5:5:40];
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;
neff=1.487;
L=(c*tm.*Dfbg)/(2*neff)
deltan1=1*10^-3;
Lamdabragg=1552.5*10^-9;
k=(pi.*deltan1)/Lamdabragg;
a=k.*L;
R= tanh(a.^2)
Pin=0.01;
RIN=[0.00025*10^-3:0.00025*10^-3:0.02*10^-3]
b=R.*(1-R);
c=(R.*RIN(1:40))./(1-R);
d=sqrt(c)
Pout1=R*Pin
Pout2=Pout1-(2.*sqrt(b)*Pin.*d)
e=Pout1-Pout2;
crosstalkdb=10.*log10(e./Pout1)
plot (Nkanal,crosstalkdb)
ylabel('Crosstalk (dB)')
xlabel('Jumlah Kanal (N_k_a_n_a_l)')
title('Grafik Hubungan Crosstalk Terhadap Jumlah Kanal')
grid on

```

### Lampiran 13 Listing Program Matlab Rekapitulasi Menghitung Crosstalk terhadap Jumlah Kanal Transmisi Pada Masing-Masing Perubahan Indeks Bias Grating

```

%Calculate Data
Nkanal=[5:5:40];
Nfbg=Nkanal-1;
D=99431;
Dfbg=D./Nfbg;
tm=6.4*10^-16;
c=3*10^8;

```

```

%jumlah kanal transmisi
%jumlah FBG
%jarak total transmisi
%jarak peletakan FBG
%dispersi material
%kecepatan cahaya

```

```

neff=1.487; %indeks bias grating
L=(c*tm.*Dfbg)/(2*neff) %panjang grating
deltan1=1*10^-5; %indeks bias grating
deltan2=1*10^-4;
deltan3=1*10^-3;
Lamdabragg=1552.5*10^-9; %panjang gelombang pusat FBG
k1=(pi.*deltan1)/Lamdabragg; %koefisien kopling
k2=(pi.*deltan2)/Lamdabragg;
k3=(pi.*deltan3)/Lamdabragg;
a1=k1.*L;
a2=k2.*L;
a3=k3.*L;
R1= tanh(a1.^2) %reflektivitas
R2= tanh(a2.^2)
R3= tanh(a3.^2)
Pin=0.01; %daya input
RIN=[0.00025*10^-3:0.00025*10^-3:0.02*10^-3] %relavite
intensity noise
b1=R1.*(1-R1);
b2=R2.*(1-R2);
b3=R3.*(1-R3);
c1=(R1.*RIN(1:40))./(1-R1);
c2=(R2.*RIN(1:40))./(1-R2);
c3=(R3.*RIN(1:40))./(1-R3);
d1=sqrt(c1)
d2=sqrt(c2)
d3=sqrt(c3)
Pout11=R1*Pin %daya output pada kanal tanpa crosstalk
Pout12=R2*Pin
Pout13=R3*Pin
Pout21=Pout11-(21.*sqrt(b1)*Pin.*d1) %daya output pada kanal
dengan crosstalk
Pout22=Pout12-(22.*sqrt(b2)*Pin.*d2)
Pout23=Pout13-(23.*sqrt(b3)*Pin.*d3)
e1=Pout11-Pout21;
e2=Pout12-Pout22;
e3=Pout13-Pout23;
crosstalkdb1=10.*log10(e1./Pout11) %crosstalk
crosstalkdb2=10.*log10(e2./Pout12)
crosstalkdb3=10.*log10(e3./Pout13)
plot(Nkanal,crosstalkdb1,Nkanal,crosstalkdb2,Nkanal,crosstalk
db3)
ylabel('Crosstalk (dB)')
xlabel('Jumlah Kanal (N_k_a_n_a_l)')
title('Grafik Hubungan Crosstalk Terhadap Jumlah Kanal')
grid on

```



## Lampiran 14 Spesifikasi Laser DWDM

MITSUBISHI LASER DIODES

### PRELIMINARY

### ML9xx37 SERIES

Notice: Some parametric limits are subject to change

High Power InGaAsP DFB LASER DIODE

TYPE  
NAME

**ML99237/ML9SM37**

#### DESCRIPTION

ML9xx37 series are high power DFB (Distributed Feedback) laser diodes for optical transmission emitting light beam at 1550 nm. ML9xx37 achieves 60mW CW operation with stable single longitudinal mode oscillation and narrow linewidth. ML9xx37 is a suitable light source for a 10Gbps/40Gbps external modulator.

#### APPLICATION

CW light source for external modulator

#### FEATURES

- High power operation: 60mW (@25°C)
- High side-mode suppression ratio: 45 dB (typ)
- Narrow line width: 0.5MHz (typ)
- Small size chip-on-carrier

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Conditions	Ratings	Unit
P <sub>o</sub>	Optical output power	CW	<b>80</b>	mW
I <sub>f</sub>	Laser forward current	-	<b>450</b>	mA
V <sub>RL</sub>	Laser reverse voltage	-	<b>2</b>	V
T <sub>sld</sub>	Soldering temperature	1 minute	<b>320</b>	°C
T <sub>c</sub>	Operation temperature	-	<b>+15~+35</b>	°C
T <sub>stg</sub>	Storage temperature	-	<b>-40 ~+100</b>	°C

#### ELECTRICAL/OPTICAL CHARACTERISTICS (T<sub>c</sub>=25°C)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I <sub>th</sub>	Threshold current	CW	---	8	15	mA
		CW, T <sub>c</sub> =85°C	---	30	50	
I <sub>op</sub>	Operation current	CW, P <sub>o</sub> =5mW	---	25	40	mA
		CW, P <sub>o</sub> =5mW, T <sub>c</sub> =85°C	---	60	80	
V <sub>op</sub>	Operating voltage	CW, P <sub>o</sub> =5mW	---	1.1	1.5	V
η	Slope efficiency	CW, P <sub>o</sub> =5mW	0.20	0.28	---	mW/mA
λ <sub>p</sub>	Peak wavelength	CW, P <sub>o</sub> =5mW	1530	1550	1570	nm
θ <sub>//</sub>	Beam divergence angle (parallel)	CW, P <sub>o</sub> =5mW	---	25	35	deg.
θ <sub>⊥</sub>	Beam divergence angle (perpendicular)	CW, P <sub>o</sub> =5mW	---	35	45	deg.
SMSR	Side mode suppression ratio	CW, P <sub>o</sub> =5mW T <sub>c</sub> = -40 to +85°C	35	40	---	dB
tr,tf	Rise and Fall time	I <sub>b</sub> =I <sub>th</sub> , 20-80% <*>	---	0.1	0.2	ns
I <sub>m</sub>	Monitoring output current (PD)	CW, P <sub>o</sub> =5mW	0.05	0.2	---	mA
I <sub>d</sub>	Dark current (PD)	V <sub>RD</sub> =5V	---	---	0.1	μA
C <sub>t</sub>	Capacitance (PD)	V <sub>RD</sub> =5V	---	10	20	pF

<\*> Except influence of the 18mm lead.



