KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK PADA TEKNIK *DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING* (DWDM) MELALUI PENERAPAN *ARRAY WAVEGUIDE GRATING* (AWG)

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

OLIVIA ELSA ADRIANI
NIM : 0810630082 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PERSETUJUAN

KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK PADA TEKNIK *DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING* (DWDM) MELALUI PENERAPAN *ARRAY WAVEGUIDE GRATING* (AWG)

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun Oleh :

OLIVIA ELSA ADRIANI
NIM: 0810630082 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
DR.Ir.Sholeh Hadi Pramono, MS	**Ali Mustofa, ST., MT**
NIP. 19580728 198701 1 001	**NIP. 19710601 200003 1 001**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK PADA TEKNIK *DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING* (DWDM) MELALUI PENERAPAN *ARRAY WAVEGUIDE GRATING* (AWG)

Disusun Oleh :
OLIVIA ELSA ADRIANI
NIM: 0810630082 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal **20 Maret 2012**

Majelis Penguji :

Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng	**Gaguk Asmungi, ST., MT.**
NIP 19700310 199412 1 001	**NIP. 19670627 199802 1 001**

Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT
NIP 19530714 198203 1 003

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

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 skripsi ini dengan judul "*Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik Pada Teknik Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) Melalui Penerapan Array Waveguide Grating (AWG)*" yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir zaman.

Skripsi ini mengulas tentang pengaruh penerapan *Array Waveguide Grating* (AWG) dalam kinerja komunikasi serat optik. Analisis perhitungan terhadap kinerja AWG pada komunikasi serat optik dilakukan dengan *analytical analysis.* Pembahasan yang dilakukan meliputi analisis pengaruh-pengaruh sebagian parameter dari kinerja AWG pada komunikasi serat optik diantaranya adalah pengaruh selisih panjang *array waveguide* dan pengaruh orde kisi difraksi. Selain itu akan dibahas pula konsekuensi yang diberikan terhadap penerapan AWG pada komunikasi serat optik.

Penulisan karya tulis 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 Kholis Hasyim dan Ibunda Tersayang Endah Sudarwati yang dengan penuh kasih sayang dan kesabaran telah mengasuh, membesarkan, mendidik, memberikan pelajaran hidup yang tak ternilai harganya serta memberikan semua yang terbaik kepada penulis. Kepada kedua adek tercinta dan tersayang Febrina Sylva Fridayanti dan Kurnia Reza Septandri yang selalu memberikan doa dan semangat yang tiada henti.

Selain itu, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

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, saran dan kritik, serta pelajaran yang berharga,
2. Bapak Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. sebagai Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
3. Bapak Mochammad Rif'an, ST., MT. sebagai Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
4. Bapak Ali Mustofa, ST., MT sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang diberikan,
5. Bapak Raden Arief Setyawan ST., MT sebagai Dosen Pembimbing akademik atas segala bimbingan yang telah diberikan selama menempuh studi,
6. Seluruh Dosen, Laboran, dan Staf pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

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, Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR TABEL v
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR LAMPIRAN x
ABSTRAK xi
BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah 2
1.3 Ruang Lingkup 3
1.4 Tujuan 4
1.5 Sistematika Penulisan 4

BAB II TINJAUAN TEORI 5

2.1 Dasar Komunikasi Serat Optik 5
2.2 Media Transmisi Serat Optik 6
2.3 Tipe Serat Optik 7
2.3.1 Berdasarkan mode perambatannya 7
2.3.2 Berdasarkan indeks bias core 9
2.4 Perambatan Cahaya Dalam Serat Optik 10
2.5 Pembagian Daerah Kerja Pada Serat Optik 14
2.6 *Dense Wavelength Division Multiplexing* 15
2.6.1 Prinsip Kerja DWDM 16
2.6.2 Komponen Penting Dalam DWDM 18
2.6.3 DWDM sebagai *cross connect* 24
2.6.4 *Channel Spacing* 25
2.6.5 Pemilihan DWDM 26
2.6.6 Keunggulan dan Kelemahan DWDM 28
2.7 *Array Waveguide Grating* (AWG) 29
2.7.1 Prinsip Kerja AWG 30

2.7.2 Komponen AWG 32
2.7.3 Parameter Performansi AWG 37
2.7.4 Keunggulan dan Kelemahan AWG 42

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 44

3.1 Jenis dan Cara Pengambilan Data 44
3.2 Variabel dan Cara Analisis Data 46
3.3 Kerangka Solusi Masalah 47

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 54

4.1 Analisis Kinerja AWG Pada Teknik DWDM 54
4.2 Analisis Orde Kisi Difraksi Pada Kinerja AWG 55
4.2.1 Perhitungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Spasi Kanal 55
4.2.2 Perhitungan Orde Kisi Difraksi Jumlah Kanal 58
4.3 Analisis Selisih Panjang *Array Waveguide* 79
4.4 Analisis *Crosstalk* Sebagai Konsekuensi Penerapan AWG 82
4.4.1 Analisis *Crosstalk* Terhadap Jumlah Panjang Gelombang 84
4.4.2 Analisis Crosstalk Terhadap Jumlah Kanal 86
4.4.3 Analisis Crosstalk Terhadap Daya *Input* 89

BAB V PENUTUP 92

5.1 Kesimpulan 92
5.2 Saran 93

DAFTAR PUSTAKA 94

LAMPIRAN 96

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter *Array Waveguide Grating* untuk *Dense Wavelength Division Multiplexing* 55

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Orde Kisi Difraksi Pada Masing-Masing Spasi Kanal..... 56

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal *Input* dan *Output Wavelength* Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 0,4 nm 59

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 0,6 nm 61

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 0,8 nm 63

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1 nm 65

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,2 nm 67

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,4 nm 69

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,6 nm 71

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,8 nm 73

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 2 nm 75
Tabel 4.12 Rekapitulasi Perhitungan Jumlah Kanal *Input* dan *Output Wavelength* Terhadap Orde Kisi Difraksi Pada Masing-masing Spasi Panjang Gelombang 77
Tabel 4.13 Perhitungan Selisih Panjang *Array Waveguide* Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi 80
Tabel 4.14 Spesifikasi sistem AWG Untuk Perhitungan *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Panjang Gelombang 84
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Jumlah Panjang Gelombang 85
Tabel 4.16 Spesifikasi sistem AWG Untuk Perhitungan *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Kanal 87
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Jumlah Kanal 87
Tabel 4.18 Spesifikasi sistem AWG Untuk Perhitungan *Crosstalk* Dengan Variasi Daya *Input* 89
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Jumlah Kanal 90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Penampang Serat Optik 6
Gambar 2.2 Konfigurasi Sistem Transmisi Serat Optik..... 7
Gambar 2.3 *Fiber Optic Single Mode* dan *Multimode* 9
Gambar 2.4 Skema Jalannya Sinar Dalam Serat Optik *Step Indexed* 9
Gambar 2.5 Skema Jalannya Sinar Dalam Serat Optik *Graded Indexed*..... .10
Gambar 2.6 Peristiwa Pemantulan dan Pembiasan Pada Bidang Batas Antara Dua Medium Optik……11
Gambar 2.7 Ilustrasi Terjadi Pemantulan Sempurna……13
Gambar 2.8 Lintasan Cahaya dalam Serat Optik……...14
Gambar 2.9 Pembagian Daerah Kerja Pada Serat Optik……...15
Gambar 2.10 Ilustrasi Perbedaan TDM dan WDM……..17
Gambar 2.11 Konfigurasi Sistem DWDM……17
Gambar 2.12 *Angulary Dispersion*……..19
Gambar 2.13 *Filter Type Multiplexing Element*……...19
Gambar 2.14 Teknik *Multiplexing* Menggunakan Prisma……...20
Gambar 2.15 *Fiber Bragg Grating* dan *Dichronic Filter*……..21
Gambar 2.16 Teknik *Demultiplexing* Menggunakan Prisma……...22
Gambar 2.17 Teknik *Demultiplexing* menggunakan *Diffraction Grating*……...22
Gambar 2.18 Arsitektur EDFA……23
Gambar 2.19 Komponen Utama Dalam DWDM……23
Gambar 2.20 Sistem *Cross Connect* Wavelength 2x2……24
Gambar 2.21 Karakteristik Kanal Pada DWDM……..25
Gambar 2.22 Prinsip Kerja AWG……30
Gambar 2.23 Struktur Rangkain *Optical Waveguide* Pada AWG……30
Gambar 2.24 Struktur dari *Optical Waveguide* pada AWG……32
Gambar 2.25 Skema Representasi FSR……34
Gambar 2.26 Pentransmisian DWDM Menggunakan Sistem Transmisi *Ring*....36
Gambar 2.27 Diagram Blok Transmisi DWDM Menggunakan AWG……..41
Gambar 3.1 Diagram Blok Transmisi DWDM Menggunakan AWG……47
Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan orde kisi difraksi sistem……47

Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungann Jumlah Kanal *Input* dan *Output* *Wavelength* Terhadap Orde Kisi Difraksi……..48
Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Selisih Panjang *Array Waveguide* yang Berdekatan……..49
Gambar 3.5 Diagram Alir Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Variasi Jumlah Panjang Gelombang……...50
Gambar 3.6 Diagram Alir Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Variasi Jumlah Kanal……...51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Listing Program Matlab Menghitung Orde Kisi Difraksi……..96

Lampiran 2 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 0,4 nm 96

Lampiran 3 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 0,6 nm 97

Lampiran 4 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 0,8 nm 97

Lampiran 5 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1 nm 98

Lampiran 6 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1,2 nm 98

Lampiran 7 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1,4 nm 99

Lampiran 8 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1,6 nm 99

Lampiran 9 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1,8 nm 100

Lampiran 10 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 2 nm 100

Lampiran 11 *Listing* Program Matlab Menghitung Rekapitulasi Jumlah Kanal *Input* dan *Output Wavelength* 101

Lampiran 12 *Listing* Program Matlab Menghitung Selisih Panjang *Array* 102

Lampiran 13 *Listing* Program Matlab Menghitung *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Panjang Gelombang 102

Lampiran 14 *Listing* Program Matlab Menghitung *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Kanal 103

Lampiran 15 *Listing* Program Matlab Menghitung *Crosstalk* Dengan Variasi Daya *Input* 105

Lampiran 16 Spesifikasi Laser DWDM 106

Lampiran 17 Daftar Permintaan Revisi Penguji 107

repository.ub.ac.id

ABSTRAK

OLIVIA ELSA ADRIANI, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2012, **Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik Pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) Melalui Penerapan *Array Waveguide Grating* (AWG)**, Dosen Pembimbing : DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. dan Ali Mustofa, ST.,MT.

Array Waveguide Grating (AWG) is a passive optical device that supports transmission of optical fiber communication systems in Dense Wavelength Division Multiplexing technique. AWG has any function, there are multiplexer, demultiplexer, filter, and optical cross connect. The analysis showed that AWG strongly support the optical fiber transmission. This is proved by the decline in value of diffraction order to the increase in channel spacing, The channel spacing that observed is 50 GHz to 250 GHz. The result will be showed in diffraction order 97 to 19. Decline value of diffraction order will increase the number of input/output wavelength channel. The analysis show the difference length of the array waveguide increase significantly and liniear. The difference is 55,88 μm to 10, 95 μm. In the crosstalk analysis, the application of AWG with a variation of the number wavelength, number of channel, and power input prove that AWG has a small crosstalk, there are -0,4711 dB to -2,0379 dB. The crosstalk value of AWG is influenced by number of wavelength and channel.

***Index Terms*—**AWG, DWDM, diffraction order, maximum number of input/output wavelength channels, length difference of adjacent arrayed waveguide, crosstalk.

Array Waveguide Grating (AWG) adalah *passive optical device* yang mendukung sistem transmisi komunikasi serat optik pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). AWG memiliki beberapa fungsi diantaranya adalah sebagai *multiplexer*, *demultiplexer*, *filter*, dan *optical cross connect.* Hasil analisis membuktikan bahwa penggunaan AWG sangat mendukung transmisi serat optik. Hal ini dibuktikan dengan penurunan nilai orde kisi difraksi terhadap kenaikan spasi kanal. Pada spasi kanal yang diamati adalah 50 GHz sampai dengan 250 GHz, akan menghasilkan orde kisi difraksi 97 sampai dengan 19. Penurunan nilai orde kisi difraksi tersebut akan meningkatkan jumlah kanal *input* dan *output wavelength*. Hasil analisis selisih panjang *array waveguide* menunjukkan terjadi peningkatan linier yang signifikan dengan perbedaan yang sangat kecil yaitu dari 55,88 μm – 10, 95 μm. Pada analisis *crosstalk* sebagai konsekuensi penerapan AWG dengan variasi jumlah panjang gelombang, jumlah kanal, dan daya *input* membuktikan bahwa AWG memiliki nilai *crosstalk* yang kecil yaitu -0,4711 dB sampai dengan -2,0379 dB. Nilai *crosstalk* yang terjadi pada AWG dipengaruhi oleh jumlah panjang gelombang, dan jumlah kanal.

Kata Kunci*—*AWG, DWDM, orde kisi difraksi, jumlah kanal input dan output, selisih panjang array, crosstalk

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan kebutuhan layanan telekomunikasi menunjukkan peningkatan setiap tahunnya. Kenyataan ini ditunjukkan dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan layanan komunikasi dengan performa dan kualitas yang semakin baik dari segi kapasitas, kecepatan, dan sedikitnya pengaruh redaman. Hal tersebut akan terpenuhi bilamana infrastruktur yang ada memiliki jaringan komunikasi dengan performa yang baik pula.

Masalah utama dalam telekomunikasi adalah tentang keterbatasan *bandwidth* dan *bit rate*. Permasalahan yang terjadi memunculkan temuan-temuan teknologi untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Salah satu teknologi yang mampu memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan media transmisi serat optik. Hal ini dikarenakan serat optik merupakan media transmisi unggulan yang memiliki *bandwidth* besar dan redaman transmisi yang kecil.

Untuk memanfaatkan *bandwidth* yang lebar tersebut, terdapat metode penjamakan panjang gelombang pada transmisi serat optik yang dikenal dengan DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) yang mampu meningkatkan kecepatan transmisi. Pada perkembangannya, teknik DWDM dipilih karena memiliki fleksibilitas, dan pemenuhan kapasitas jaringan jangka panjang yang tinggi. Sehingga solusi yang tepat adalah dengan mengimplementasikan DWDM tersebut.

DWDM merupakan teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda sebagai kanal informasinya, sehingga setelah dilakukan proses *multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat optik.

Dalam teknik DWDM tersebut, terdapat sebuah aplikasi sistem pembagi spektrum panjang gelombang dalam pentransmisiannya. Sistem ini dikenal dengan AWG (*Arrayed Waveguide Grating)*. Sistem AWG ini dapat melakukan

multiplexing dan *demultiplexing* dengan jumlah kanal yang besar dan rugi yang relatif kecil. Pengaplikasian sistem AWG ini sangat penting dalam sistem transmisi sinyal melalui serat optik karena dapat meningkatkan performansi komunikasi serat optik.

Pada skripsi ini akan dibahas mengenai seberapa besar pengaruh kinerja AWG terhadap komunikasi serat optik. Pembahasan yang dilakukan meliputi analisis pengaruh-pengaruh sebagian parameter dari kinerja AWG pada komunikasi serat optik diantaranya adalah pengaruh selisih panjang *array waveguide* dan pengaruh orde kisi difraksi. Selain itu akan dibahas pula konsekuensi yang diberikan terhadap penerapan AWG pada komunikasi serat optik. Hal yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah bila nilai orde kisi difraksi ditekan menjadi lebih kecil, dapat meningkatkan spasi kanal, dan jumlah kanal transmisi, serta pengaruh selisih panjang *array* terhadap kinerja AWG.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Masalah utama dalam telekomunikasi adalah tentang keterbatasan *bandwidth* dan *bit rate*. Solusi dari permasalahan tersebut adalah menerapkan *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) sebagai teknik transmisinya. DWDM memiliki fleksibilitas, dan pemenuhan kapasitas jaringan jangka panjang yang tinggi. Sehingga solusi yang tepat adalah dengan mengimplementasikan DWDM tersebut.

Dalam teknik DWDM, terdapat sebuah aplikasi sistem pembagi spektrum panjang gelombang. Sistem ini dikenal dengan AWG (*Arrayed Waveguide Grating).* AWG merupakan *passive optical device* dalam sistem transmisi serat optik yang digunakan sebagai media untuk melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing.* Terdapat parameter-parameter performansi dari kinerja AWG tersebut yang berhubungan dengan peningkatan dari kinerja komunikasi serat optik, diantaranya adalah orde kisi difraksi yang merupakan hubungan antara *order grating* (*m*) untuk mencakup *spectral range* pada *C-band*.

Parameter lain yang diamati adalah perbedaan panjang gelombang yang berada pada *array waveguide* yang bersebelahan, dimana nilainya diharapkan

konstan agar mampu meningkatkan kinerja komunikasi serat optik. Selain beberapa parameter yang mendukung dalam peningkatan kinerja komunikasi serat optik, terdapat juga konsekuensi dalam penerapan AWG sebagai *multiplexer* dan *demultiplexer* dalam transmisi serat optik yang juga akan mempengaruhi kinerja komunikasi serat optik tersebut. Berdasarkan pada masalah yang ada pada kinerja *Array Waveguide Grating* (AWG) dan konsekuensi dalam penerapannya, maka perumusan masalah dalam skripsi ini ditekankan pada:

1. Bagaimana pengaruh orde kisi difraksi terhadap spasi kanal dan jumlah kanal transmisi pada komunikasi serat optik dengan menggunakan AWG?
2. Bagaimana pengaruh selisih panjang *array* pada sistem AWG dalam komunikasi serat optik?
3. Bagaimana performansi *crosstalk* sebagai konsekuensi penerapan AWG dalam komunikasi serat optik?

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah maka pembahasan pada skripsi ini dibatasi pada beberapa hal diantaranya adalah teknik pentransmisian menggunakan teknologi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). DWDM mampu menyediakan kapasitas kanal yang lebih besar dari teknik sebelumnya, dan spasi antar kanal yang semakin sempit sehingga mampu mengirimkan sinyal dengan kapasitas yang lebih besar.

Serat optik yang digunakan adalah *single mode*. Hal ini dikarenakan serat optik *single mode* memiliki redaman yang sangat kecil, lebar pita frekuensi yang besar, dan kecepatan tinggi. Dengan kelebihan tersebut, serat optik *single mode* banyak digunakan untuk aplikasi jarak jauh dan mampu menyalurkan data dengan kapasitas yang besar dan *bit rate* yang tinggi.

Parameter kinerja sistem AWG (*Array Waveguide Grating)* yang diamati adalah pengaruh order kisi difraksi dan selisih panjang *array waveguide* terhadap jumlah kanal transmisi dan spasi kanal, serta *crosstalk* sebagai konsekuensi dalam penerapan AWG pada teknik DWDM dalam sistem komunikasi serat optik.

Analisis data dan perhitungan dalam skripsi ini akan disimulasikan dengan menggunakan program Matlab 7.0.4 untuk lebih mempermudah dalam proses perhitungan dan penyajian.

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan *Arrayed Waveguide Grating* (AWG) pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dalam komunikasi serat optik. Hasil dari analisis pada skripsi ini diharapkan dapat menunjukan pengaruh dari penerapan AWG dalam kinerja komunikasi serat optik.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini tersusun atas 5 bab. Ulasan tentang latar belakang penulisan skripsi, identifikasi dan rumusan masalah, ruang lingkup permasalahan, dan sistematika dari penulisan skripsi diuraikan dalam bab I. Tinjauan teori yang membahas tentang dasar komunikasi serat optik, teori DWDM yang terdiri dari pengertian, elemen dan perangkat, prinsip kerja DWDM, komponen penyusun jaringan DWDM, kelebihan dan kelemahan DWDM, serta memuat juga dasar teori tentang sistem AWG, dan parameter–parameter yang digunakan untuk menghitung performansi kinerja dari AWG pada komunikasi serat optik diuraikan dalam bab II.

Pada bab III akan diuraikan mengenai metodologi penelitian yang meliputi metode studi literatur mengenai DWDM dan AWG, metode pengambilan data-data sekunder yang digunakan dalam skripsi, metode analisis data, dan metode pengambilan kesimpulan dari analisis perhitungan yang akan dilakukan. Analisis perhitungan terhadap kinerja AWG pada komunikasi serat optik dan konsekuensi dalam penerapan AWG diuraikan pada bab IV. Kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis perhitungan yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran diuraikan dalam bab V.

BAB II
TINJAUAN TEORI

Bab II akan memberikan paparan mengenai teori pendukung terkait dengan permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini. Teori pendukung tersebut membahas tentang dasar komunikasi serat optik, teori DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) yang terdiri dari pengertian, elemen dan perangkat, jenis-jenis serat optik, prinsip kerja DWDM, komponen penyusun jaringan DWDM, kelebihan dan kelemahan DWDM, serta memuat juga dasar teori tentang sistem AWG (*Arrayed Waveguide Grating)*, serta parameter–parameter yang digunakan untuk menghitung performansi kinerja dari AWG.

2.1 Dasar Komunikasi Serat Optik

Komunikasi serat optik adalah suatu sistem komunikasi yang di dalam pengiriman dan penerimaan sinyalnya menggunakan sumber optik dan detektor optik dengan panjang gelombang sinar inframerah antara 850 nm – 1550 nm (frekuensi 0,035 THz – 0,019 THz) yang dilakukan pada media transmisi serat optik. Komponen-komponen dalam rangkaian serat optik diantaranya adalah *transmitter* yang terletak pada awal proses transmisi. Ini adalah tempat darimana informasi tersebut berasal yang kemudian menjalar ke jalur serat optik. Sebuah *Light Emitting Diode* (LED) atau *Injection Laser Diode* (ILD) digunakan sebagai *carier source* pada proses transmisi serat optik. Pada tahap akhir proses transmisi terdapat sebuah *receiver* yang akan menghubungkan dengan *user*. Sebelum sinyal tersebut masuk pada *receiver* terdapat sebuah komponen detektor optik yang berfungsi merubah sinyal cahaya menjadi sinyal elektrik.

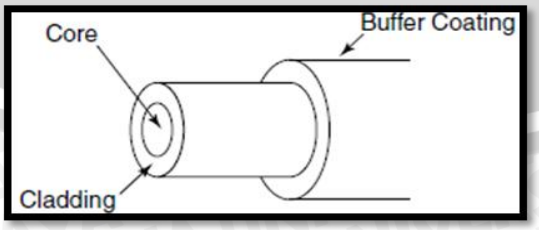
Dalam proses pengiriman sinyal tersebut, diperlukan suatu teknik *multiplexing*. *Multiplexing* adalah suatu teknik untuk mengirimkan banyak informasi pada saat yang bersamaan dengan menggunakan banyak kanal. Kanal-kanal tersebut dibedakan berdasarkan waktu, frekuensi, panjang gelombang, dan lain-lain. Teknik *multiplexing* yang digunakan dalam serat optik adalah TDM (*Time Division Multiplexing*) dan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) yang selanjutnya berkembang menjadi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).

Pada awal kemunculannya WDM hanya mampu menggabungkan dua sinyal, tetapi dalam perkembangannya WDM mampu mengirimkan beberapa panjang gelombang dalam sebuah fiber tunggal yang masing-masing memiliki kapasitas 2,5 GHz sampai dengan 5 GHz. Tetapi WDM memiliki kelemahan dalam penggunaannya yaitu kenonlinieran serat optik dan efek dispersi yang nantinya akan mengakibatkan keterbatasan jumlah panjang gelombang. [Optical Communication Essential.2004]

DWDM merupakan pemecahan masalah-masalah yang ditemukan pada WDM, dimana dari segi infrastruktur terdapat penambahan pemancar dan penerima dari sejumlah panjang gelombang yang digunakan. Perbaikan sistem WDM pada DWDM adalah terletak pada jenis filter, serat optik, dan amplifier. Pada bab ini akan dijelaskan teori penunjang mengenai dasar komunikasi serat optik, teknologi DWDM *(Dense Wavelength Division Multiplexing)* dan AWG (*Arrayed Waveguide Grating)* serta parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui performansi AWG dan konsekuensi yang terjadi pada penerapan AWG dalam kinerja komunikasi serat optik.

2.2 Media Transmisi Serat Optik

Serat optik adalah suatu pemandu gelombang cahaya (*light waveguide*) yang berupa suatu kabel tembus pandang, yang mana penampang dari kabel tersebut terdiri dari dua bagian, yaitu : bagian tengah yang disebut *core* dan bagian luar yang disebut *cladding*. *Cladding* pada serat optik membungkus atau mengelilingi c*ore*. Adapun gambar skema penampang dari serat optik dapat dilihat pada gambar berikut:

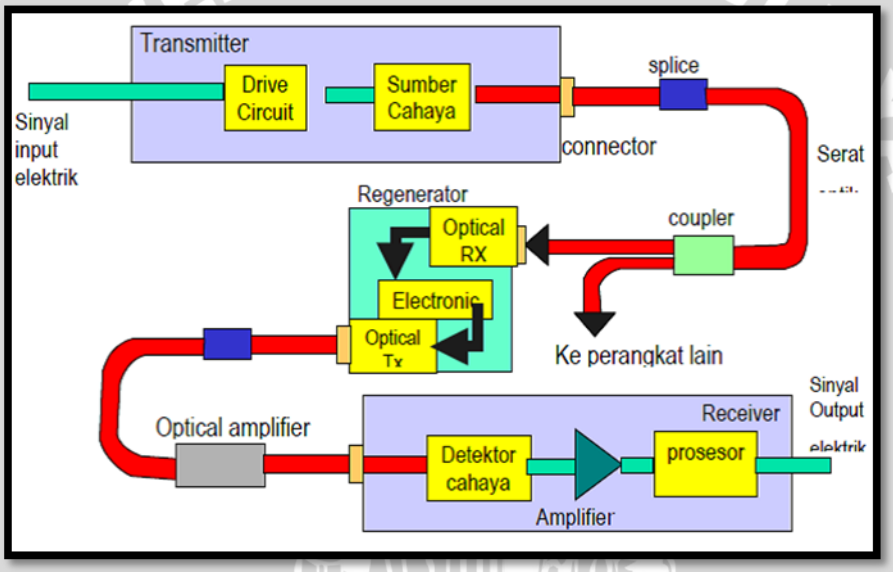


Gambar 2.1. Skema Penampang Serat Optik

(**Sumber**: *Basic of Fiber Optics*)

Sistem komunikasi serat optik adalah pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya. Komunikasi serat optik menggunakan getar cahaya untuk mengirimkan informasi melalui jalur *fiber* dan tidak menggunakan getar listik untuk mengirimkan informasi seperti pada jalur tembaga.

Pada komunikasi serat optik, sinyal yang digunakan dalam bentuk sinyal digital. Sedangkan penyaluran sinyal melalui serat optik dalam bentuk pulsa cahaya. Pulsa cahaya didapat dari memodulasi sinyal informasi dalam bentuk digital dalam suatu komponen sumber cahaya, proses ini terjadi pada *transmitter*. Sedangkan pada *receiver* melalui detektor cahaya, pulsa cahaya diubah kembali dalam bentuk sinyal digital.



Gambar 2.2 Konfigurasi Sistem Transmisi Serat Optik
(**Sumber**: Surawan Adi Putra. 2009)

2.3 Tipe Serat Optik

2.3.1 Berdasarkan mode perambatannya

a. *Single Mode Fiber*

Serat *single mode* merupakan jenis khusus serat *step-index* yang memiliki ukuran inti (*core*) antara 2 – 10 µm dan perbedaaan indeks bias relatif antara inti dengan selubungnya kecil, sehingga hanya terdapat sebuah energi cahaya *single mode* yang dapat merambat sepanjang serat.

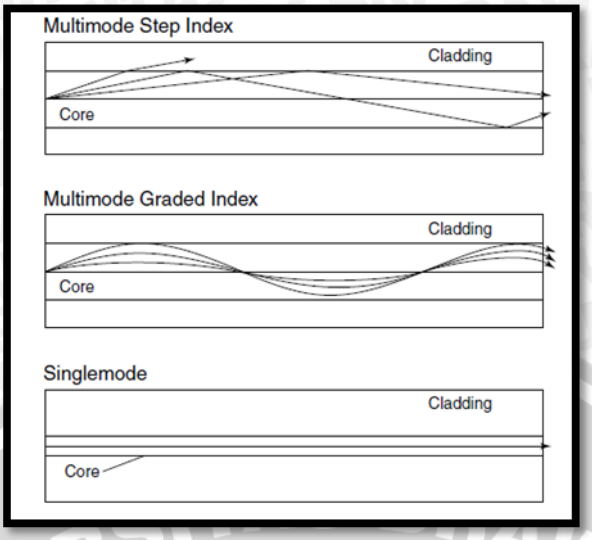
Cahaya merambat hanya dalam satu mode, yaitu sejajar dengan sumbu serat optik. Karena hanya ada satu lintasan cahaya sepanjang serat, maka serat optik *single mode* mengalami penyebaran dan penyerapan cahaya lebih sedikit. Oleh karena itu, serat jenis ini memiliki redaman yang sangat kecil dan *bandwidth* yang lebar dan kecepatan tinggi. Dengan kelebihan tersebut, serat optik *single mode* banyak digunakan untuk aplikasi jarak jauh dan mampu menyalurkan data dengan kapasitas yang besar dan *bit rate* yang tinggi.

Bagian inti serat optik *single mode* terbuat dari bahan kaca *silika* (SiO_2) dengan sejumlah kecil kaca *germanium* (GeO_2) dengan tujuan untuk meningkatkan indeks biasnya. Untuk mendapatkan performa yang baik pada kabel ini, ukuran *cladding*nya adalah sekitar 15 kali dari ukuran *core*nya (sekitar 125 mikron). Standar terbaru untuk kabel ini adalah ITU-T G.652D dan G.65

Kabel serat optik jenis *single mode* ini umumnya digunakan pada tempat-tempat yang jaraknya sangat jauh atau biasanya tempatnya sangat terpencil dimana sangat sulit dijangkau dengan alat-alat atau media telekomunikasi, dengan kata lain jangkauannya luas dan jauh.

b. *Multi Mode Fiber*

Serat optik *multi mode* merupakan jenis serat yang memiliki jumlah mode lebih dari satu yang merambat pada panjang gelombang pengoperasian sistem. Umumnya, serat optik *multi mode* dengan jumlah mode mulai dari dua mode sampai dengan ratusan mode dan digunakan untuk aplikasi komersial tertentu. Meskipun tidak memiliki kapasitas pengangkutan informasi yang besar, serat *multi mode* memiliki diameter inti yang sangat besar sehingga lebih mudah saat penyambungan dilakukan. Selain itu, dengan nilai *NA* (*numerical aperture*) yang lebih tinggi dan biasanya jarak sambungan lebih pendek, serat *multi mode* bisa menggunakan sumber cahaya yang lebih murah seperti *LED*.



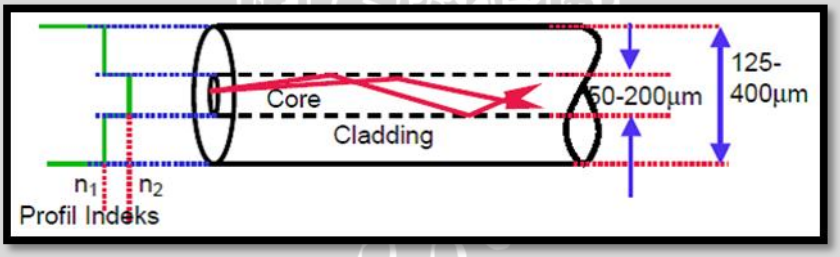
Gambar 2.3 *Fiber Optic Single Mode* dan *Multimode*

(**Sumber**: *Basic of Fiber Optics*)

2.3.2 Berdasarkan indeks bias *core*

a. Step index

Serat *step index* memiliki karateristik indeks bias inti yang tetap dan juga memiliki indeks bias *cladding* yang konstan. Karakteristik serat optik *step-index* ditunjukkan seperti gambar dibawah ini:



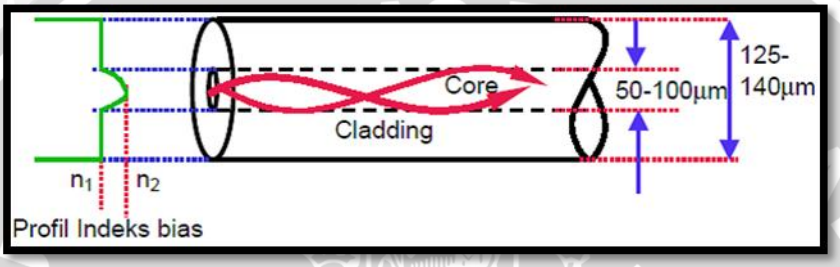
Gambar 2.4 Skema Jalannya Sinar Dalam Serat Optik *Step Indexed*

(**Sumber**: PT. Telkom Indonesia , 2004))

Pada serat *step index* ini, terjadi permasalahan dalam perambatan pulsa optik dimana sinyal yang merambat akan mengalami pemantulan pada dinding-dinding *cladding*. Perambatan sinyal seperti ini akan mengakibatkan terjadinya keterlambatan, karena sinyal datang yang mengalami pemantulan beberapa kali dibandingkan dengan sinyal yang merambat lurus tanpa mengalami pemantulan.

b. Graded index

Inti serat *gradded index* memiliki indeks bias yang tidak seragam sehingga mengikuti *profile* tertentu. Tujuan menggunakan indeks bias seperti ini adalah untuk membuat sinyal tepi yang lintasannya lebih jauh, mengalami kecepatan yang lebih tinggi daripada sinyal yang merambat melalui tengah, sehingga pada penerimaan sinyal didapatkan sinyal yang datang bersamaan tanpa terjadi keterlambatan. Gambar dibawah ini menunjukkan karakteristik serat optik *gradded index.*



Gambar 2.5 Skema Jalannya Sinar Dalam Serat Optik *Gradded-Index*
(**Sumber**: PT. Telkom Indonesia , 2004)

2.4 Perambatan Cahaya Dalam Serat Optik

Beberapa fenomena yang terjadi saat perambatan energi cahaya pada serat optik, diantaranya adalah :

a. Indeks bias

Perbandingan kecepatan cahaya pada ruang hampa terhadap kecepatan cahaya di suatu materi disebut indeks bias (n), dinyatakan dengan persamaan :

$$n = \frac{c}{v} \qquad (2\text{-}1)$$

dengan :

n = indeks bias

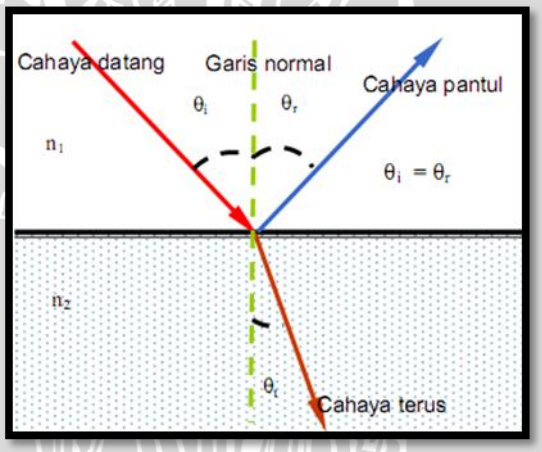
c = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)

v = kecepatan cahaya di suatu materi (m/s)

b. Hukum Snellius

Setiap cahaya yang datang pada suatu medium optis ke medium optis yang lain, pada bidang batas kedua medium tersebut cahaya akan mengalami peristiwa pemantulan (cahaya akan kembali masuk ke medium yang pertama) dan juga mengalami peristiwa pembiasan (cahaya diteruskan masuk ke dalam medium yang kedua).

Menurut prinsip Snellius, apabila sinar datang dari medium optis kurang rapat ke medium optis lebih rapat, maka sinar tersebut akan dibiaskan cenderung mendekati garis normal. Jadi sudut datang akan lebih besar dari sudut bias dan sebaliknya, apabila sinar datang dari medium optis lebih rapat ke medium optis kurang rapat, maka sinar akan dibiaskan cenderung menjauhi garis normal, sehingga sudut datang akan lebih kecil dari sudut bias.



Gambar 2.6 Peristiwa Pemantulan Dan Pembiasan Pada Bidang Batas Antara Dua Medium Optik (**Sumber** : PT. Telkom Indonesia , 2004)

Hal tersebut dapat ditulis dengan hukum Snellius sebagai berikut :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2\text{-}2)$$

dengan :

n_1 = indeks bias materi 1

n_2 = indeks bias materi 2

θ_1 = sudut datang (°)

θ_2 = sudut bias (°).

c. Prinsip *Total Internal Reflection*

Dengan fenomena *total internal reflection*, seluruh cahaya yang mengenai permukaan akan dipantulkan. Hal ini akan terjadi apabila ditemui kondisi sebagai berikut :

1. Cahaya merambat dari bahan dengan indeks bias tinggi ke bahan dengan indeks bias yang lebih rendah ($n_1 > n_2$).
2. Sudut datang terhadap sumbu normal harus lebih besar dari sudut kritisnya. Sudut kritis adalah sudut datang minimum yang mengakibatkan sudut bias membentuk sudut 90°, didapatkan hukum Snellius, yaitu [*Introduction to DWDM technology,* 2001] :

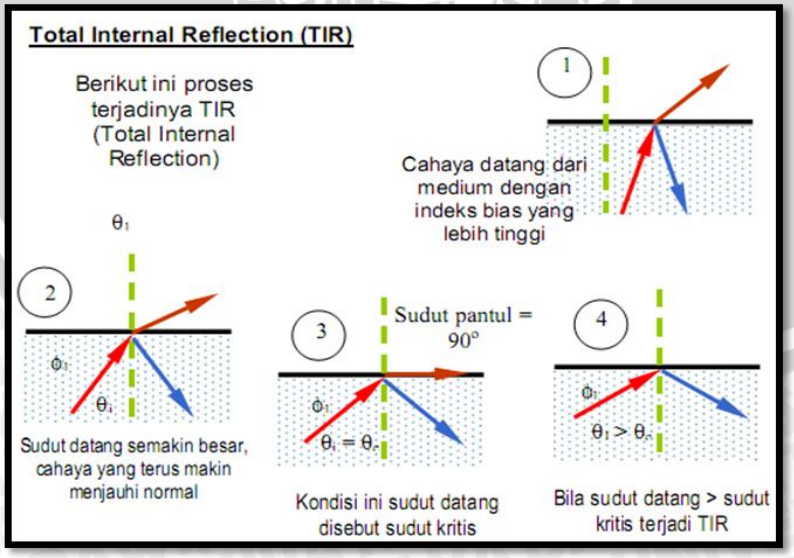
$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \qquad (2\text{-}3)$$

dengan :

θ_c = sudut kritis (°)

n_1 = indeks bias materi 1

n_2 = indeks bias materi 2



Gambar 2.7 Ilustrasi Terjadi Pemantulan Sempurna

(**Sumber** : PT. Telkom Indonesia , 2004)

d. *Numerical Aperture*

Numerical Aperture (NA) merupakan kemampuan daya tangkap cahaya oleh suatu serat optik, dapat dirumuskan dengan persamaan :

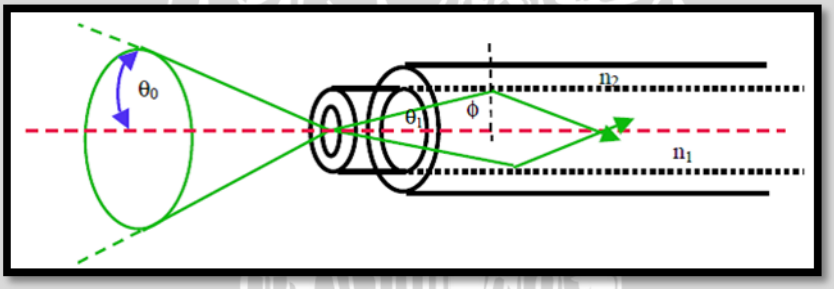
$$NA = \sin\theta_{maks} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = n_1\sqrt{2\Delta} \qquad (2\text{-}4)$$

dengan :

n_1 = indeks bias core

n_2 = indeks bias cladding.

Numerical aperture juga dipakai untuk mendefenisikan *acceptance cone* dari sebuah serat optik. *Numerical Aperture* merupakan parameter yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimum, dimana berkas cahaya masih bisa diterima dan merambat di dalam inti serat. Sudut penerimaan ini dapat beraneka macam tergantung kepada karakteristik indeks bias inti dan selubung serat optik. Gambar dibawah ini menunjukkan lintasan cahaya dalam serat optik.



Gambar 2.8 Lintasan Cahaya dalam Serat Optik
(**Sumber**. PT. Telkom Indonesia , 2004)

Jika sudut datang berkas cahaya lebih besar dari *NA* atau sudut kritisnya maka berkas tidak akan dipantulkan kembali ke dalam serat melainkan akan menembus *cladding* dan akan keluar dari serat. Semakin besar *NA* maka semakin banyak jumlah cahaya yang diterima oleh serat. Akan tetapi sebanding dengan kenaikan *NA* menyebabkan lebar pita berkurang, dan rugi penyebaran serta penyerapan akan bertambah. Oleh karena itu, nilai *NA* besar hanya baik untuk aplikasi jarak pendek dengan kecepatan rendah.

2.5 Pembagian Daerah Kerja Pada Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik adalah suatu sistem yang memanfaatkan gelombang cahaya sebagai pembawa untuk transmisi. Spektrum optik memiliki enam daerah kerja (*region*), yang disebut dengan *window*. Keenam *window* panjang gelombang tersebut adalah sebagai berikut [*Introduction to DWDM technology, 2001*] :

a. *Window* pertama *Original Band* (O-*Band*) : 1260-1360 nm

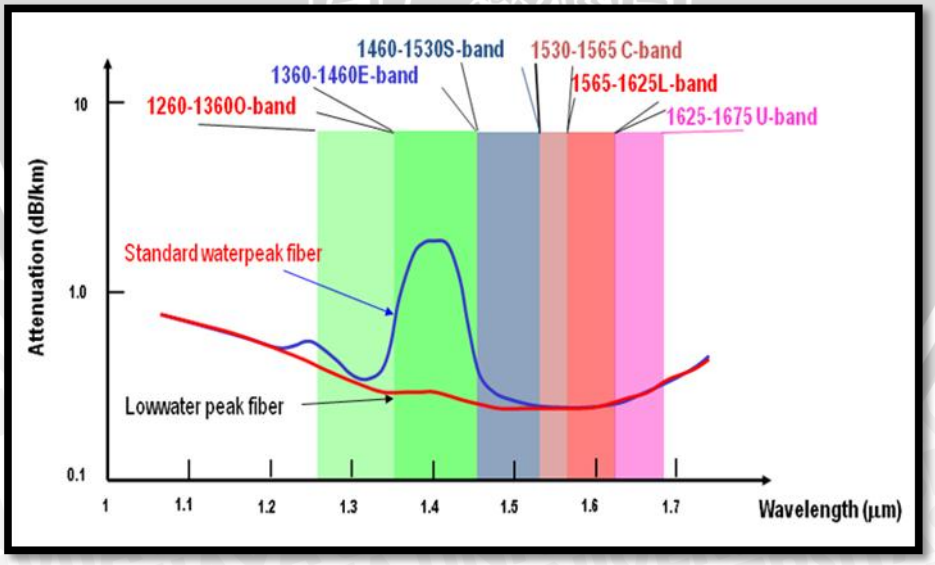
b. *Window* kedua *Extended Band* (E-*Band*) : 1360-1460 nm

c. *Window* ketiga *Short Band* (S-*Band*) : 1460-1565 nm
(S *Band*) mempunyai atenuasi yang lebih rendah. Atenuasi sekitas 0,3 dB/km. *Window* ini digunakan untuk jarak dekat atau jaringan *metro*.

d. *Window* keempat *Conventional Band* (C-*Band*) : 1530-1565 nm
C *Band* adalah pilihan umum untuk jaringan DWDM, digunakan untuk jarak jauh karena *atenuasi* yang ada (0,2 dB/km) merupakan *atenuasi* yang terendah.

e. *Window* kelima *Long Band* (L-*Band*) : 1565-1625 nm

f. *Window* keenam *Ultralong Band* (U-*Band*) : 1625-1675 nm



Gambar 2.9 Pembagian Daerah Kerja Pada Serat Optik

(**Sumber** : www3.50megs.com)

2.6 *Dense Wavelength Division Multipleksing* (DWDM)

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda sebagai kanal informasinya, sehingga setelah proses *multiplexing* seluruh panjang gelombang dapat ditransmisikan melalui serat optik.

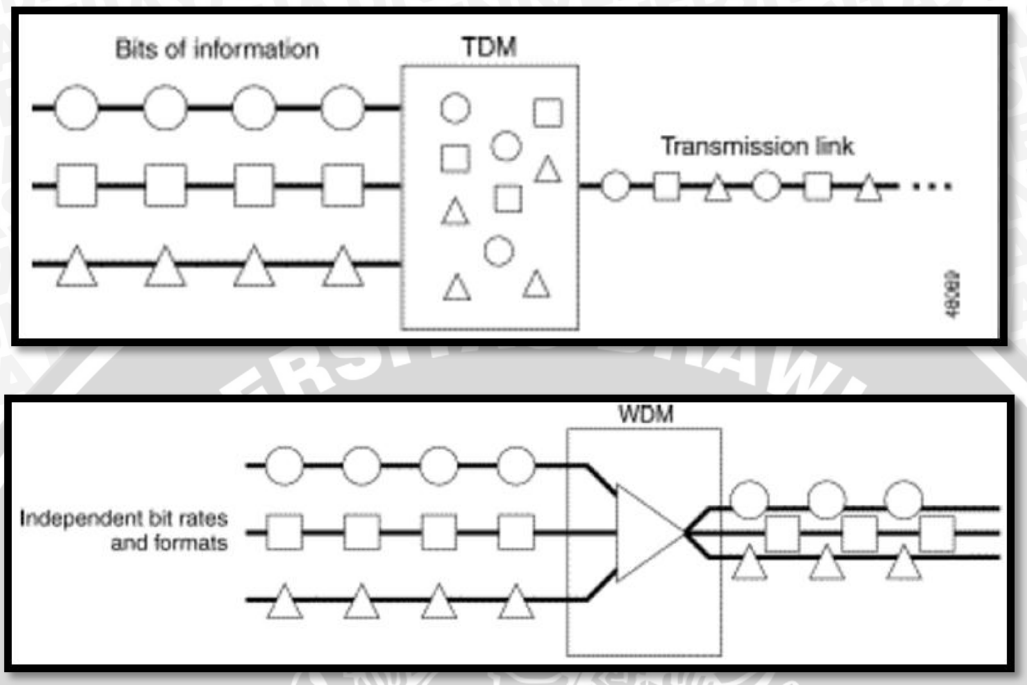
Pada perkembangannya DWDM tidak hanya digunakan pada jaringan utama (*backbone*) tetapi juga digunakan pada jaringan akses. Salah satu hal yang mendasari penggunaan teknik DWDM pada jaringan akses adalah kemampuan sehelai serat optik yang mampu mengirimkan ratusan panjang gelombang dalam waktu yang bersamaan, sehingga memiliki tingkat efisien yang tinggi.

DWDM merupakan pemecahan masalah-masalah yang ditemukan pada teknik sebelumnya yaitu WDM. Dimana dari segi infrastruktur terjadi penambahan pada pemancar dan penerima untuk masing-masing panjang gelombang yang diperlukan. Perbaikan dari WDM menuju DWDM adalah pada jenis filter yang digunakan dan *amplifier*nya. Jenis filter yang digunakan diantaranya adalah *Fiber Bragg Grating* (FBG) dan *Array Waveguide Grating* (AWG). Selain itu adalah komponen serat optik dengan *dispersi* yang rendah, dimana hal ini merupakan hal yang sangat penting, karena *dispersi* erat hubungannya dengan kapasitas transmisi suatu sistem. Sementara penguat optik yang banyak digunakan adalah EDFA (*Erbium Dopped Fiber Amplifier*) dengan karakteristik untuk semua panjang gelombang dalam spektrum DWDM.

2.6.1 Prinsip Kerja *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

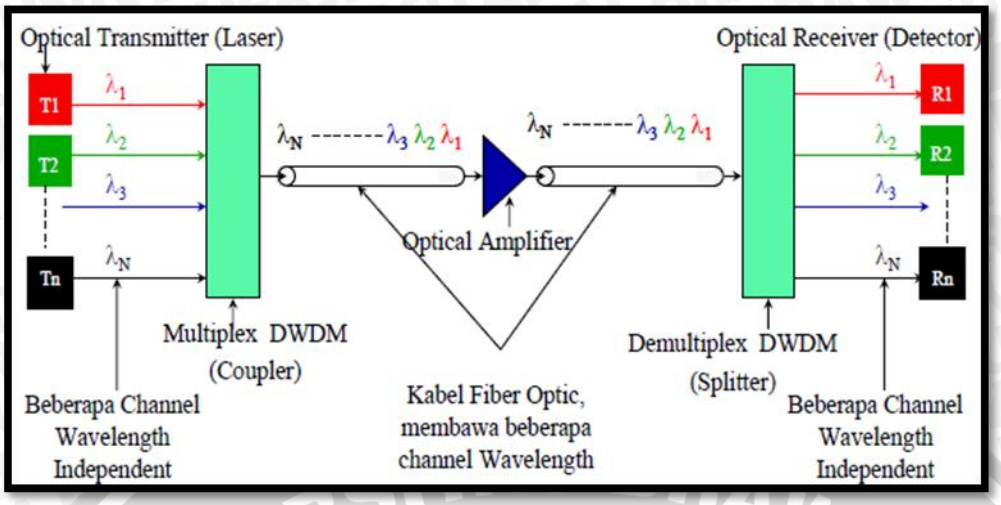
Pada dasarnya teknologi DWDM memiliki prinsip kerja yang sama dengan teknik transmisi yang lainnya, yaitu untuk mengirimkan informasi dari suatu tempat ke tempat yang lain. Namun pada teknik DWDM ini suatu serat optik dapat mengirimkan banyak informasi dalam waktu yang bersamaan, dimana setiap kanal dibedakan dengan menggunakan prinsip perbedaan panjang gelombang (*wavelength*) yang dikirim oleh sinyal informasi. Sinyal informasi yang dikirim awalnya diubah ke dalam bentuk panjang gelombang yang sesuai dengan panjang gelombang yang tersedia pada kabel serat optik.

Perbedaan prinsip kerja pada TDM (*Time Division Multiplexing*) yang juga digunakan pada komunikasi serat optik dengan WDM dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 2.10 Ilustrasi Perbedaan TDM Dan WDM
(**Sumber** : Samsa Cardiansyah, 2009)

Teknik DWDM pada dasarnya adalah teknik transportasi untuk menyalurkan berbagai jenis trafik seperti suara, data, gambar, dan multimedia dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda. Sebagai contoh adalah sistem DWDM yang digunakan dengan beberapa sinyal informasi yang akan dikirim dengan panjang gelombang yang berbeda-beda.



Gambar 2.11 Konfigurasi Sistem DWDM

(**Sumber** : Surawan Adi Putra. 2009)

Sinyal informasi yang masuk ke dalam multiplekser akan dipisahkan oleh beberapa kanal dengan panjang gelombang tertentu, dimana setiap kanal didasarkan atas prinsip perbedaan panjang gelombang. Kemudian sinyal yang sudah dimultiplekskan tersebut ditransmisikan dalam serat optik. Sebelum sampai pada sisi penerima, maka sinyal yang ditransmisikan tersebut akan masuk kedalam demultiplekser, kemudian akan dipilah sesuai dengan panjang gelombang yang telah dikirim. Sehingga dalam sistem DWDM, sinyal informasi dalam jumlah yang banyak, dapat dikirimkan dengan waktu yang bersamaan, menggunakan banyak kanal yang sesuai dengan panjang gelombang sinyalnya.

2.6.2 Komponen Penting Dalam DWDM

Pada teknik DWDM terdapat beberapa komponen utama untuk mengoperasikan DWDM tersebut, agar sesuai dengan standart ITU-T sehingga DWDM dapat diaplikasikan pada jaringan-jaringan optik. [Gilang Andika, dkk. 2006] Komponen-komponen tersebut adalah :

1. *Transmitter*

   Merupakan komponen utama yang menjembatani antara sumber sinyal informasi dengan multiplekser pada sistem DWDM. Komponen ini

mengirimkan sinyal informasi untuk di*multiplex*kan pada sistem DWDM. Sinyal dari *transmitter* ini akan di*multiplex* untuk ditransmisikan.

2. *Receiver*

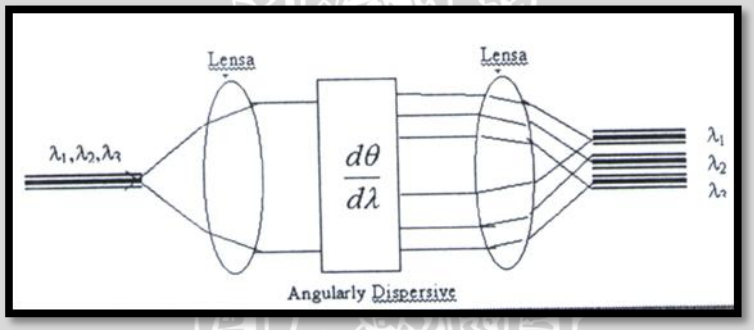
   Komponen yang menerima sinyal informasi dari demultiplekser untuk dapat dipilah berdasarkan sinyal informasi yang telah dikirim.

3. *Wavelength Multiplexer* dan *Wavelength Demultiplexer*

   Secara garis besar, peralatan multiplekser dan demultiplekser gelombang cahaya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

   a. Peralatan dispersi sudut (*angulary dispersive devices*)

      A*ngulary dispersive devices*, berupa prisma atau *grating* yang menyebarkan cahaya datang menjadi bermacam komponen panjang gelombang. Prinsip dasarnya adalah :



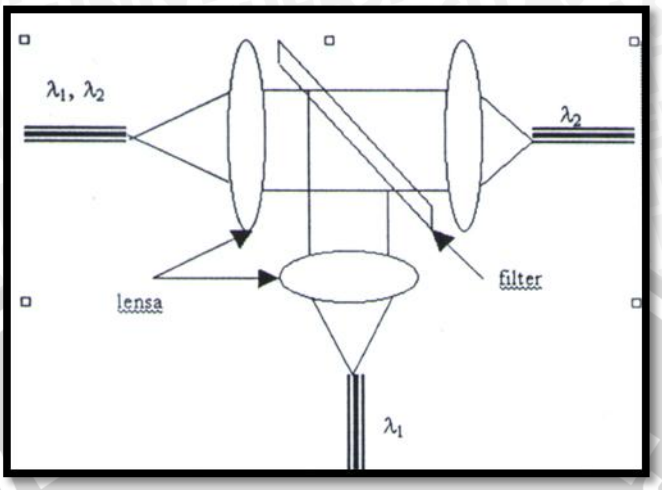
Gambar 2.12 *Angulary Dispersion*
(**Sumber** : Agrawal, 2001)

Untuk sistem tiga panjang gelombang, ketika cahaya memasuki demultiplekser, cahaya disebarkan oleh lensa L_1 dan dilewatkan melalui elemen *dispersi* yang memisahkan panjang gelombang. Lensa L_2 akan memfokuskan keluaran dari elemen *dispersi* kepada detektor.

   b. Peralatan berbasis filter

      Filter didesain untuk mentransmisikan cahaya pada kanal dengan panjang gelombang tertentu dan menyerap atau memantulkan semua panjang gelombang lain. Filter ini terdiri dari lensa datar yang menyeleksi panjang gelombang yang melaluinya. Pada gambar terlihat

filter meneruskan panjang gelombang λ_2 dan merefleksikan panjang gelombang λ_1.



Gambar 2.13 *Filter Type Multiplexing Element*

(**Sumber** : Agrawal, 2001)

3.1 *Wavelength Multiplexer*

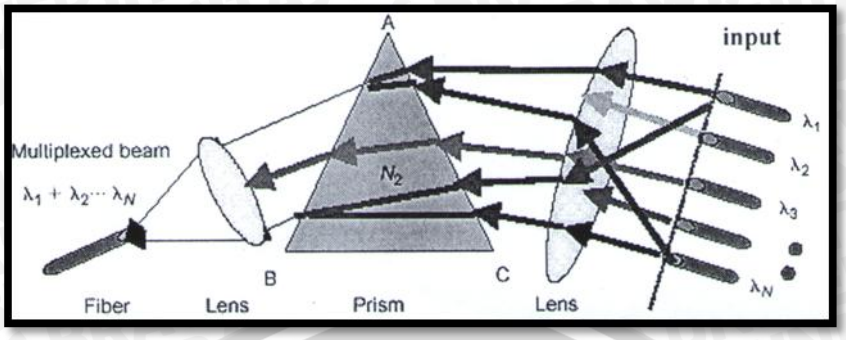
Wavelength Multiplexer adalah peralatan yang menggabungkan sinyal *input* dengan panjang gelombang berbeda menjadi satu panjang gelombang termultipleks. Untuk dapat berfungsi dengan baik, multiplekser harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [Max Ming-Kang Liu] :

- Mampu menampung sejumlah besar sinyal input.
- Memiliki rugi-rugi yang rendah.

Wavelength multiplexer dapat menggunakan peralatan sebagai berikut :

a. Prisma

Pada teknik *multiplexing* menggunakan prisma, masing-masing panjang gelombang dipusatkan ke satu titik fokus yang sama dan dikopel menjadi satu keluaran.

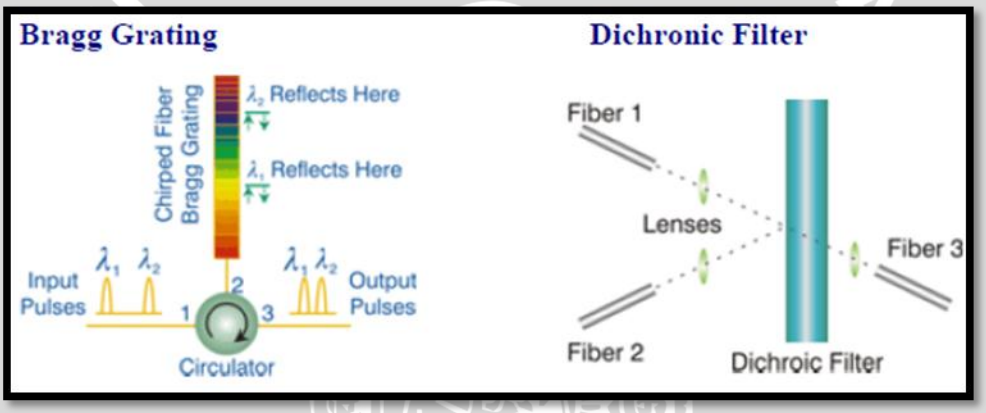


Gambar 2.14 Teknik *Multiplexing* Menggunakan Prisma

(**Sumber** : Stamatios V.Kartalopoulus, 2000)

b. Grating

Ada beberapa macam teknologi *grating*, antara lain adalah *diffraction grating*, *Fiber Bragg Grating* (FBG), dan *Array Wavelength Grating* (AWG).



Gambar 2.15 Fiber Bragg Grating dan Dichronic Filter

(**Sumber** : Rifqi Firdaus. 2009)

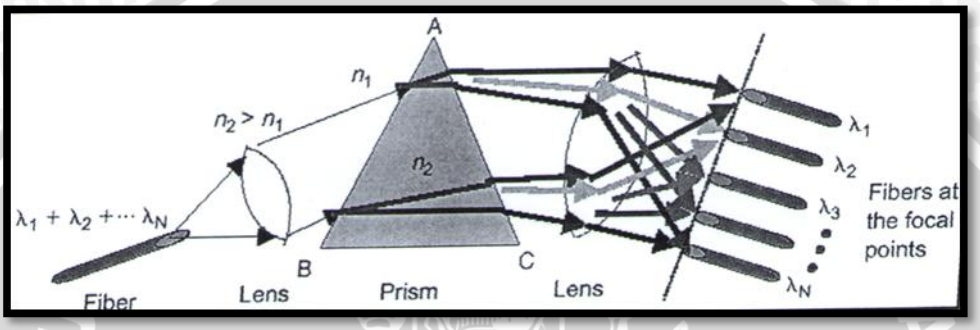
3.2 *Wavelength Demultiplexer*

Berkebalikan dengan multiplekser, demultiplekser adalah peralatan yang memisahkan sinyal menjadi beberapa sinyal *output* dengan panjang gelombang yang berbeda. Komponen dan teknik yang digunakan sebagai multiplekser dapat juga digunakan sebagai demultiplekser ditambah dengan satu jenis peralatan pemilah panjang gelombang.

Wavelength demultiplexer dapat menggunakan peralatan sebagai berikut :

a. Prisma

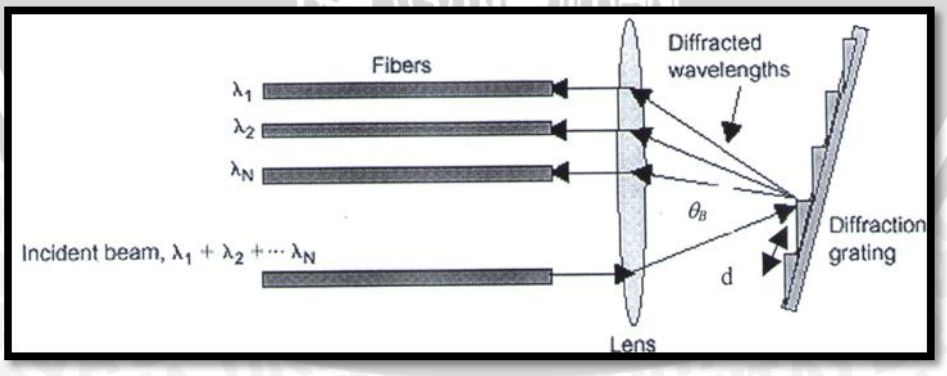
Ketika berkas cahaya *polychromatic* paralel mengenai salah satu permukaan prisma (AB), tiap komponen panjang gelombang akan dibiaskan. Hal ini disebut dengan efek pelangi. Keluaran cahaya dari sisi lain (AC) terdiri dari beberapa panjang gelombang yang dipisahkan dengan sudut tertentu. Sebuah lensa memfokuskan tiap panjang gelombang ke titik tertentu dimana serat ditempatkan.



Gambar 2.16 Teknik *Demultiplexing* Menggunakan Prisma
(**Sumber** : Stamatios V.Kartalopoulus, 2000)

b. *Grating*

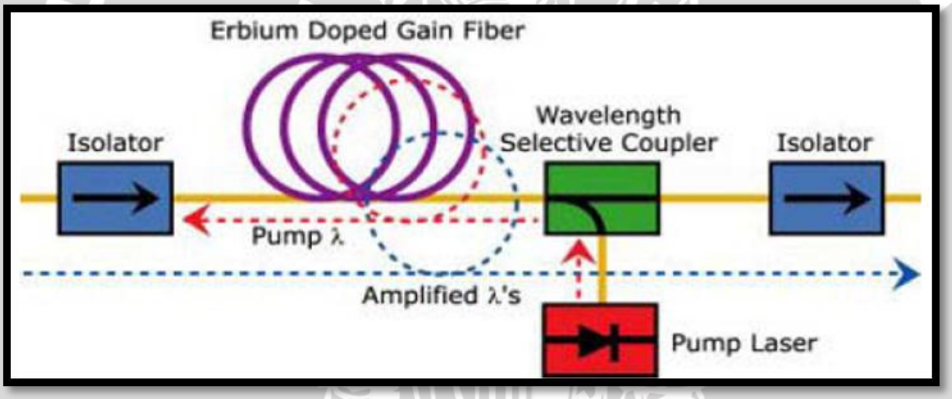
Seperti halnya multiplekser, terdapat beberapa teknik *grating* untuk demultiplekser yaitu antara lain *diffraction grating*, *Fiber Bragg Grating* (FBG), dan *Array Wavelength Grating* (AWG).



Gambar 2.17 Teknik *Demultiplexing* Menggunakan *Diffraction Grating*
(**Sumber** : Stamatios V.Kartalopoulus, 2000)

4. *Intermediate Optical Terminal (Amplifier)*

Komponen ini merupakan *amplifier* yang digunakan untuk transmisi jarak jauh, dimana digunakan untuk menguatkan sinyal dengan banyak panjang gelombang yang akan dikirim untuk jarak jauh. *Diagnostic optical* diletakkan di daerah dekat *amplifier* untuk mendeteksi adanya kerusakan dan pelemahan dalam fiber. Pada proses pengiriman sinyal informasi, akan terdapat *atenuasi* dan *dispersi* yang melemahkan sinyal tersebut. Sistem penguat yang biasa digunakan dalam serat optik adalah EDFA (*Erbium Dopped Fiber Amplifier)* namun karena *bandwidth* EDFA sangat kecil 30 nm (1530 nm – 1560 nm) dan *atenuasi* minimum terletak pada 1500 nm – 1600 nm. Kemudian digunakan DBFA (*Dual Band Fiber Amplifier)* dengan *bandwidth* 1528 nm – 1610 nm. Kedua jenis penguat ini, termasuk jenis EBFA (*Extended Band Filter Amplifier)* dengan penguatan yang tinggi, saturasi yang lambat, dan *noise* yang rendah.

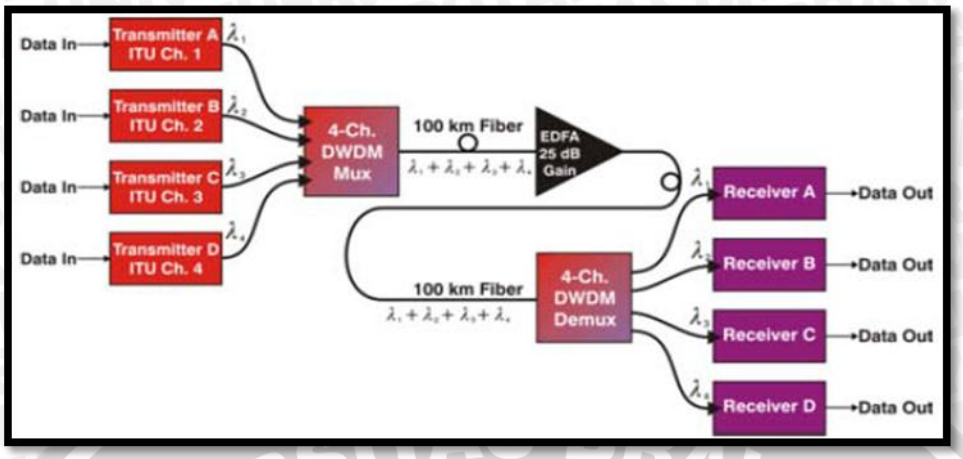


Gambar 2.18 Arsitektur EDFA
(**Sumber** : Gilang Andika, dkk. 2003)

5. *Optical Supervisory Channel.* (OSC)

Ini merupakan tambahan panjang gelombang yang selalu ada diantara 1310 nm – 1510 nm. OSC membawa informasi berupa *optic multi wavelength*. Jadi OSC selalu ditempatkan pada daerah *intermediate amplifier* yang menerima informasi sebelum dikirim kembali.

Jadi komponen utama pada DWDM dapat dilihat pada gambar berikut :

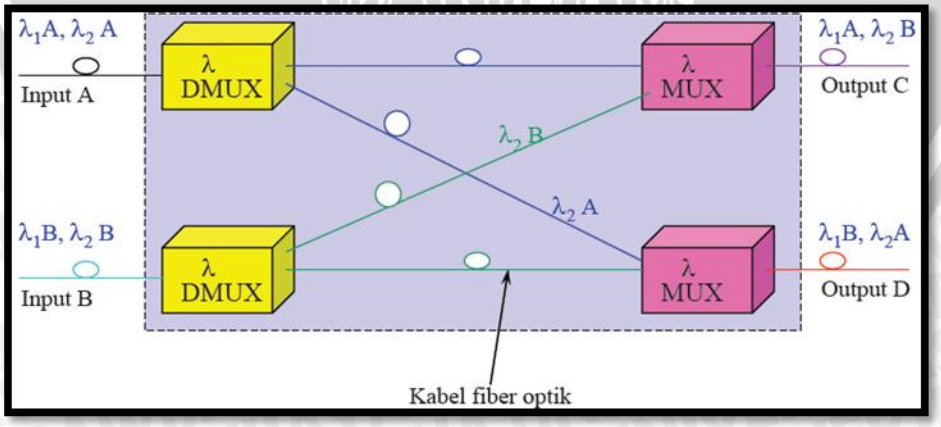


Gambar 2.19 Komponen Utama Dalam DWDM

(**Sumber** : Gilang Andika, dkk. 2003)

2.6.3 DWDM sebagai *cross connect*

DWDM tidak hanya dapat melakukan proses *multiplexing* dan *demultiplexing* yang baik, tetapi DWDM juga dapat melakukan *optical cross connect.* Dalam hal ini berkaitan dengan jumlah ketersediaan panjang gelombang maka jaringan dapat melakukan *routing passive* untuk melakukan suatu sinyal pada jaringan yang hanya berbasis pada panjang gelombangnnya sendiri. *Routing* didesain dengan jalan menggunakan kembali panjang gelombang pada *link-link* lainnya. Fungsi penggunaan kembali panjang gelombang pada *link* lainnya adalah prinsip kerja dari *cross connect.*



Gambar 2.20 Sistem *Cross Connect Wavelength* 2x2

(**Sumber**. Naemah Mubarakah, 2007)

Cross connect terdiri dari :

a. Demultiplekser panjang gelombang untuk arah sinyal masuk.

b. Multiplekser panjang gelombang untuk arah sinyal keluar.

c. Fiber yang menghubungkan tingkat *input* dan *output.*

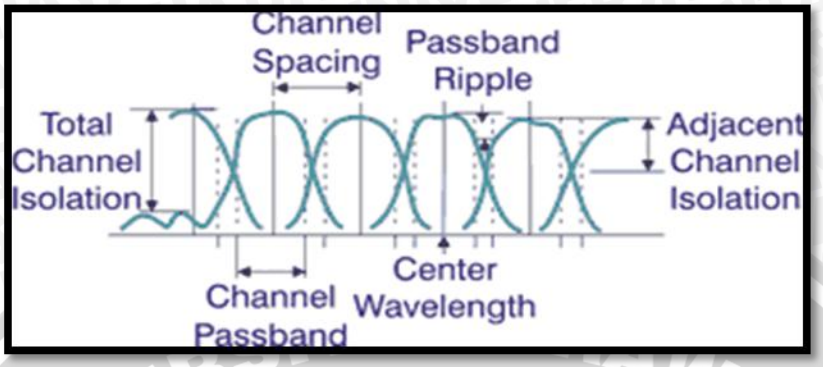
Walaupun hanya ada 2 panjang gelombang namun terdapat 4 kemungkinan *path routing* tanpa saling mengganggu yang berdasarkan kepada panjang gelombang dan *transmitter*nya. Pada umumnya N panjang gelombang untuk N kemungkinan koneksi *path*, tetapi dengan menggunakan teknik *cross connect*, maka N panjang gelombang untuk N^2 koneksi *path.* Teknik *cross connect* menggunakan panjang gelombang yang sama dapat digunakan kembali oleh setiap *port input* untuk akses ke *port output* yang berbeda dan untuk penambahan koneksi. Teknik ini akan meningkatkan kapasitas dari jaringan DWDM.

Gambar 2.20 menunjukkan contoh jaringan *cross connect wavelength* 2x2, dimana routing *port output*nya ditentukan oleh masukan panjang gelombang tertentu dan *input port* tertentu pula. *Optical cross connect* merupakan sistem baru dalam dunia telekomunikasi. Teknik ini dapat melakukan transfer sinyal optik secara bersamaan dengan kecepatan tinggi pada *input* dan *output*nya. Teknik ini hanya dapat mengatasi untuk jumlah *switching* terbatas yaitu 8x8 dengan 8 *input* dan 8 *output*.

2.6.4 *Channel Spacing*

Channel spacing menentukan performansi dari sistem DWDM. Standar *channel spacing* dari ITU-T seri G.692 adalah 50 GHz, sampai dengan 250 GHz. *Spacing* ini membuat *channel* dapat dipakai dengan memperhatikan batasan-batasan fiber amplifier. *Channel spacing* merupakan sistem frekuensi minimum yang memisahkan 2 sinyal yang akan dimultiplekskan, atau disebut juga sebagai perbedaan panjang gelombang diantara 2 sinyal yang akan ditransmisikan. Pada perkembangan selanjutnya, sistem DWDM berusaha untuk menambah kanal sebanyak-banyaknya yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas

informasi komunikasi data. Salah satu caranya adalah dengan memperkecil *channel spacing* tanpa adanya suatu interferensi dari sinyal pada serat optik tersebut.



Gambar 2.21 Karakteristik Kanal Pada DWDM

(**Sumber**. Rifqi Firdaus. 2009)

Pada gambar diatas, *total channel isolation* merupakan isolasi dari kanal secara keseluruhan. *Channel passband* menunjukkan rentang dari kanal yang dilewatkan. *Center wavelength* adalah pusat dari panjang gelombang. *Adjacent channel isolation* adalah merupakan isolasi dari kanal yang berdekatan. *Passband ripple* merupakan fluktuasi atau toleransi *band* yang dapat dilewatkan.

2.6.5 Pemilihan DWDM

Di dalam sistem telekomunikasi, masalah utama yang sudah menjadi keterbatasan umum adalah tentang spektrum dan *bandwidth*. Keterbatasan-keterbatasan tersebut tidak hanya menimbulkan dampak negatif, tetapi juga akan menimbulkan dampak positif, yaitu munculnya teknologi-teknologi terbaru sebagai respon solusi dari masalah-masalah tersebut.

Secara umum ada beberarapa alternatif yang dapat ditempuh untuk memenuhi kapasitas jaringan akibat perkembangan trafik, diantaranya adalah :

a. Memperbesar kecepatan transmisi.

   Penggantian perangkat dengan sistem/kapasitas yang baru (SDH dengan kapasitas STM 64) dengan kapasitas yang lebih besar. Hambatan dari alternatif ini adalah keterbatasan kapasitas terbesar dari SDH.

b. Mengimplementasikan WDM.

Cara lain dengan faktor ekonomis dan faktor fleksibilitas yang tinggi, adalah dengan menerapkan sistem WDM. Sistem ini memanfaatkan sistem SDH yang sudah ada, jadi hal ini merupakan salah satu solusi terintegrasi.

Pada perkembangannya, sistem DWDM dipilih karena memiliki faktor ekonomi, fleksibilitas, dan pemenuhan kapasitas jaringan jangka panjang yang tinggi. Sehingga solusi yang tepat adalah dengan mengimplementasikan DWDM tersebut. Beberapa faktor yang menjadikan DWDM sebagai solusi terintegrasi yang tepat adalah :

a. Menurunkan biaya instalasi awal.

Karena dengan mengimplementasikan DWDM, maka tidak perlu membuat jaringan fiber baru, tetapi cukup menggunakan jaringan fiber yang sudah ada (sesuai dengan ITU-T G.652 atau ITU-T G.655) dan mengintegrasikan perangkat SDH eksisting dengan perangkat DWDM.

b. Dapat dipakai untuk memenuhi permintaan pasar yang berkembang, dimana teknik DWDM dapat digunakan untuk penambahan kapasitas.

c. Dapat mengakomodasikan layanan baru.

Hal ini dimungkinkan karena sifat dari teknologi DWDM yang terbuka terhadap protokol dan format sinyal.

Teknologi jaringan optik DWDM ini diyakini akan menjadi teknologi yang berperan penting untuk masa depan. Dimana banyak kajian dari lembaga riset yang menyatakan dan meyakini bahwa perkembangan teknologi di masa depan akan didominasi oleh trafik paket *switch*, yang ditentukan oleh faktor perkembangan teknologi *service node*nya. Kemampuan dari *service node* akan dipengaruhi oleh kemampuan dari teknologi DWDM dalam menyediakan kapasitas besar pada jaringan. Terbukti teknologi ini memiliki keunggulan dalam hal tersebut. [Naemah Mubarakah, ST . 2007]

2.6.6 Keunggulan dan Kelemahan DWDM

- **Keunggulan DWDM**

DWDM memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan sistem yang lain, diantaranya adalah [Naemah Mubarakah, ST . 2007] :

1. Kemampuan *core fiber* yang mengacu kepada 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* , yaitu jenis fiber yang memiliki perlakuan *dispersi* tidak nol, tetapi juga tidak lebar. *Dispersi* adalah peristiwa pembelokan 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. Untuk mendapatkan fiber dengan *dispersi* optimal, dikembangkan fiber tipe NZDF. 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 NZDF adalah :

   - Tidak ada kompensasi yang diperlukan untuk mengeliminasi efek *dispersi* pada kecepatan 10 Gbps.
   - Jarak yang lebih panjang dapat ditempuh pada kecepatan transmisi 10 Gbps.
   - Mampu mengakomodasi perkembangan trafik untuk kecepatan 40 Gbps.

2. Sistem DWDM mampu untuk mengakomodasi karakteristik *fiber* yang mengacu pada rekomendasi ITU-T seri G.652 dan seri G.653 yang umum digunakan pada jaringan *eksisting*.

3. Tepat untuk diimplementasikan pada jaringan jarak jauh, baik untuk sistem *point to point* ataupun topologi *ring.*
4. Lebih fleksibel untuk mengantisipasi pertumbuhan trafik yang tidak terprediksi.
5. Transparan terhadap berbagai *bit rate* dan protokol jaringan. (Tidak merubah format / *bit rate*, tetapi hanya menyalurkan).
6. Tepat diterapkan pada daerah dengan perkembangan *bandwidth* yang cepat.
7. Kemampuan penyaluran *transport network* yang sangat tinggi, sehingga mampu menekan biaya investasi dan pemeliharaan perangkat.

- **Kelemahan DWDM**

Selain memiliki kelebihan, DWDM juga memiliki kelemahan jika dibandingkan dengan sistem yang lain diantaranya adalah pada DWDM dibutuhkan laser *transmitter* yang lebih stabil dan presisi. Artinya pada penerapan DWDM dibutuhkan level teknologi yang tinggi. Selain itu pada DWDM, laser yang digunakan adalah yang menggunakan teknologi tinggi dengan toleransi panjang gelombang sekitar 0,1 nm (presisi dan sangat sempit) sehingga mengakibatkan temperatur tinggi dan lebih membutuhkan sistem pendingin.

2.7 *Array Waveguide Grating* (AWG)

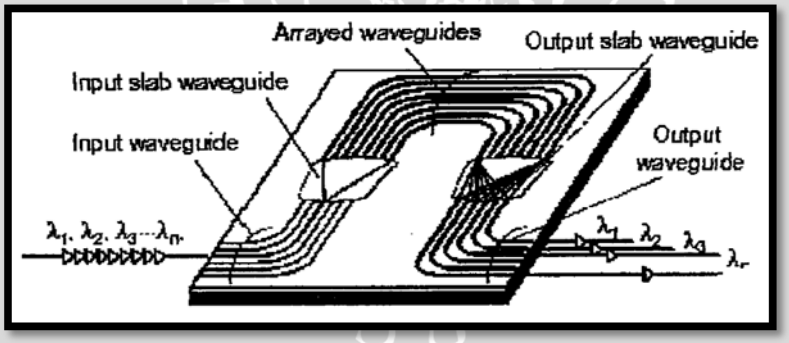
Pengenalan tentang sistem pada *Array Waveguide Grating* (AWG) merupakan revolusi dari sistem telekomunikasi. AWG pertama kali diperkenalkan sebagai solusi bagi permasalahan di WDM. AWG merupakan bagian dari sistem DWDM, dimana AWG berperan sebagai multiplekser dan demultiplekser. Multiplekser AWG dikenal dengan nama *Wavelength Division Multiplexer* (WDM) dan demultiplekser AWG dikenal dengan nama *Wavelength Division Demultiplexer (*WDDM*).* AWG memberikan selektivitas terhadap panjang gelombang yang tinggi, *loss* yang rendah, dan ukuran yang kecil. Sistem AWG ini

dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* dengan jumlah kanal yang besar dan rugi yang relatif kecil. Pengaplikasian sistem AWG ini sangat penting dalam sistem transmisi sinyal melalui serat optik karena dapat meningkatkan performansi komunikasi serat optik. [Rifqi Firdaus. 2009]

AWG digunakan sebagai multiplekser, demultiplekser, dan *router*. AWG sebagai multiplekser akan mengkombinasikan banyak sinyal masukan dari sisi yang berbeda yang nantinya sinyal keluarannya akan berada pada sisi yang sama pada *port output*. Sedangkan AWG sebagai demultiplekser, dengan satu masukan pada *port*nya, yang selanjutnya akan dipilah menjadi beberapa kanal yang berbeda. Kombinasi antara multiplekser dan demultiplekser tersebut, dapat menjadi *router* bagi sistem. [Investigation of AWG as a device DWDM. 2004]

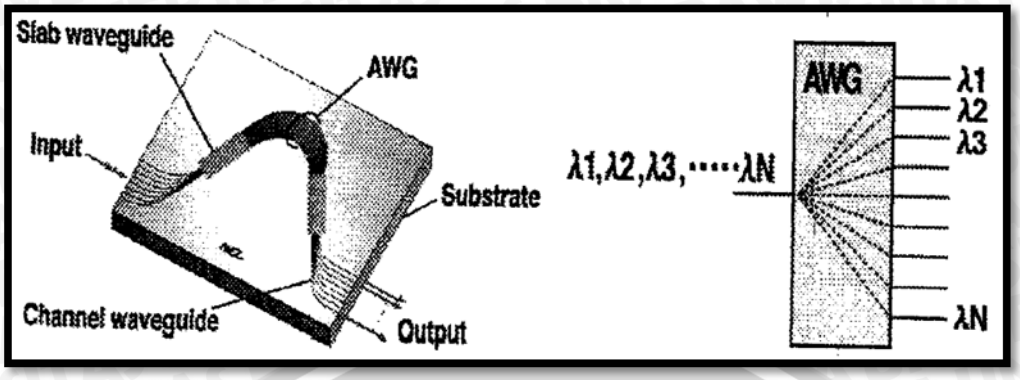
2.7.1 Prinsip Kerja AWG.

AWG dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* pada jumlah panjang gelombang yang banyak. Prinsip kerja dari AWG dapat dilihat pada gambar 2.22 sebagai berikut :



Gambar 2.22 Prinsip Kerja AWG

(**Sumber** : *Investigation of AWG as a device in DWDM.* 2004)



Gambar 2.23 Struktur Rangkain *Optical Waveguide* Pada AWG

(**Sumber** : Investigation of AWG as a device in DWDM. 2004)

Gelombang cahaya termultipleks masuk melalui *input waveguide* dan menuju *input slab waveguide*. Di *slab* ini gelombang mengalami efek pembiasan (*diffraction*), kemudian berpropagasi di *array waveguide*. Setelah itu melewati *output slab waveguide* kemudian keluar dari *output waveguide*. Karena panjang *array waveguide* berbeda antara satu dengan yang lainnya, maka akan terjadi beda fasa pada berkas cahaya selama berpropagasi di *array waveguide*. Akibat dari beda fasa tersebut, cahaya membentuk sudut dan keluar terpisah menjadi beberapa panjang gelombang.

Cahaya dari masing-masing *waveguide* muncul dengan waktu tunda phasa yang berbeda dari *array waveguide* dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta\Phi = 2\pi n_{eff} \frac{\Delta L}{\lambda_c} \qquad (2\text{-}5)$$

dengan :

n_{eff} = indek refraksi efektif

λ_c = *center wavelength* (μm)

ΔL = jarak antar *array waveguide grating* (nm)

AWG dirancang untuk panjang gelombang optik yang berbeda-beda antara *array waveguide* yang berdekatan. Oleh karena itu perubahan fasa akan terjadi di cabang tiap *array*. Jika masukan panjang gelombang diatur dari pusat panjang gelombang, maka fasa akan berubah pada cabang *array*. Hal ini dapat dilihat dari persamaan sebagai berikut :

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{k\Delta L d\lambda n_g}{k n_s \lambda_c d} = \frac{n_g m}{n_c n_s d} \quad (2\text{-}6)$$

dengan :

θ = sudut difraksi ( )

ΔL = selisih panjang *array waveguide* (μm)

m = order difraksi

n_g = indeks bias group

n_c = indeks bias pada *array waveguide.*

n_s = indeks bias *slab*

k = konstanta *coupling*

Karena panjang gelombang pada *waveguide* yang berdekatan berbeda, maka fasa akan berubah meningkat secara linier dari masukan menuju keluaran *array waveguide*. Persamaan berikut menunjukkan pengaruh ΔL terhadap perubahan fasa gelombang :

$$m = \frac{n_c \Delta L}{\lambda_c} \quad (2\text{-}7)$$

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n_g \Delta L}{n_s d \lambda_c} \quad (2\text{-}8)$$

Dari persamaan (2-7), akan didapatkan persamaan (2-8) dimana merupakan substitusi antara persamaan (2-6) dan (2-7), yang digunakan untuk menunjukkan pengaruh ΔL terhadap perubahan fasa gelombang.

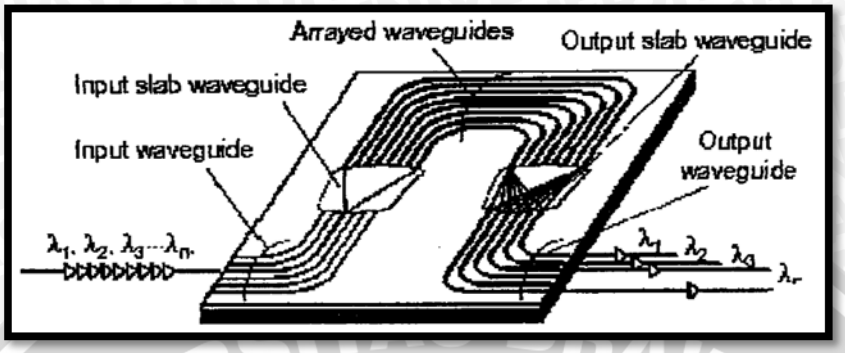
Letak titik fokus pada ujung keluaran *waveguide* bergantung pada panjang gelombang sinyal, dikarenakan hal ini bergantung pada delay fasa di tiap-tiap *array waveguide*, yang diberikan oleh persamaan sebagai berikut :

$$delay = \frac{\Delta L}{\lambda} \quad (2\text{-}9)$$

2.7.2 Komponen AWG

Array Waveguide Grating terdiri dari *arrayed waveguide* yang dikopling dengan 2 *slab.* Struktur ini menghasilkan perubahan fasa yang bergantung pada

panjang gelombangnya. *Arrayed Waveguide Grating* bekerja sebagai kisi difraksi cembung. Konstanta perbedaan panjang jalur antara *waveguide* yang berdekatan ΔL dihubungkan ke orde *m* kisi difraksi.



Gambar 2.24 Struktur dari *Optical Waveguide* pada AWG
(**Sumber** : *Investigation of AWG as a device in DWDM.* 2004)

Dari kondisi kesesuaian fasa tersebut, persamaan kisinya yaitu :

$$\beta(\lambda_c)d\sin\theta_i + \beta(\lambda_c)\Delta L + \beta(\lambda_c')d\sin\theta_o = 2m\pi \qquad (2\text{-}10)$$

dengan :

β = konstanta propagasi *slab* dan *arrayed waveguide* (m^{-1})

Karena,

$$\theta_i = \frac{i\cdot\Delta x}{Lf} \quad \text{dan} \quad \theta_o = \frac{j.\Delta x}{Lf} \qquad (2\text{-}11)$$

dengan :

Lf = radius kelengkungan (nm)

Δx = jarak antar *waveguide* pada bagian output (nm)

Pada *slab* masukan, *x* adalah jarak antara *waveguide* masukan, *d* merupakan jarak antar *waveguide* keluaran dengan radius kelengkungan *Lf* yang bersesuaian dengan sudut difraksi pada *slab* θ_i.Dalam daerah keluaran *slab*, *x* adalah jarak antar *waveguide* keluaran, *d* adalah jarak antar *waveguide* masukan dengan radius kelengkungan *Lf* yang sesuai terhadap sudut difraksi keluaran θ_o.

Maka dengan mensubstitusi persamaan (2-10) dan (2-11), diperoleh persamaan berikut:

$$\beta(\lambda_c)\frac{dx}{Lf} + \beta\lambda_c \Delta L - \beta(\lambda_c)\frac{dx}{Lf} = 2m\pi \quad (2\text{-}12)$$

$$\beta\lambda_c \Delta L = 2m\pi \quad (2\text{-}13)$$

Atau dari persamaan (2-7) dan (2-8), diperoleh persamaan :

$$\lambda_c = \frac{n_c \Delta L}{m} \quad (2\text{-}14)$$

dengan :

n_c = indeks bias efektif pada *arrayed waveguide.*

Difraksi angular merupakan hubungan antara sudut difraksi dan frekuensi, sehingga akan diperoleh persamaan (2-15) yang didapat dari penurunan rumus persamaan (2-6) dengan sudut $\theta_i = \theta_o = \theta$:

$$\frac{d\theta}{df} = \frac{m\lambda_c^2 n_g}{n_s dc n_g} \quad (2\text{-}15)$$

$$n_g = \frac{n_c - \lambda dn_c}{d\lambda} \quad (2\text{-}16)$$

dengan :

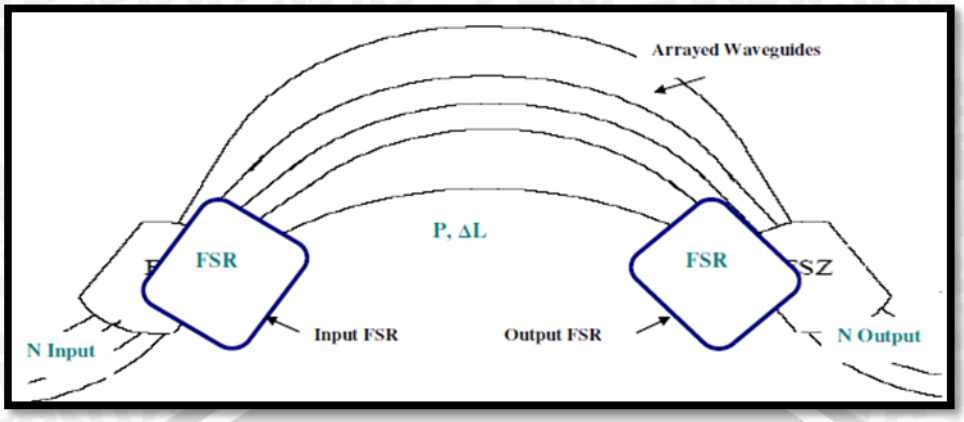
n_s = indeks efektif *slab*

n_g = indeks bias group dari *waveguide*

c = cepat rambat cahaya di ruang hampa (m/s)

Setiap jalur mempunyai fungsi kerja periodik, jaraknya ditunjukkan sebagai *Free Spectral Range* (FSR), dimana :

$$FSR = N.\Delta f \approx \frac{\lambda_c}{m} \quad (2\text{-}17)$$



Gambar 2.25 Skema Representasi FSR

(**Sumber** : Abd.El-Naser.Muhammad 2009]

FSR dirancang ke dalam persamaan $N.\Delta f$, pada orde (m+1) , maka akan didapatkan persamaan :

$$(n_s + \Delta n_s)d_i \sin\theta_i + (n_c + \Delta n_c)\Delta L + (n_s + \Delta n_s)d \sin\theta_o = (m+1)\frac{c}{f + FSR} \qquad (2\text{-}18)$$

dengan :

$n_s + \Delta n_s$ & $n_c + \Delta n_c$ = indeks bias efektif pada *slab* dan kanal *array waveguide*

Pada frekuensi $f + FSR$, indeks bias tersebut bisa diganti dengan persamaan (2-19) dan (2-20) yaitu :

$$\Delta n_c = \frac{dn_c}{df} FSR = -\frac{cdn_c}{f^2 d\lambda} FSR \qquad (2\text{-}19)$$

$$\Delta n_s = \frac{dn_s}{df} FSR = -\frac{cdn_s}{f^2 d\lambda} FSR \qquad (2\text{-}20)$$

dengan demikian FSR menjadi :

$$FSR = \frac{c}{\left(n_c - \lambda\frac{dn_c}{d\lambda}\right)\Delta L + \left(n_s - \lambda\frac{dn_s}{d\lambda}\right)(d\sin\theta_i + d\sin\theta_o)} \qquad (2\text{-}21)$$

Pada persamaan (2-6), kita asumsikan bahwa FSR relatif lebih kecil dari f dan menganggap $f(f+FSR)$ sebagai f^2 karena $\Delta L >> (d\sin\theta_i + d\sin\theta_o)$, maka $-\frac{\lambda dn_s}{d\lambda}$ dianggap n_g, maka persamaannya menjadi :

$$FSR = \frac{c}{n_g(\Delta L + d\sin\theta_i + d\sin\theta_o)} \quad (2\text{-}22)$$

Persamaan $(d\sin\theta_i + d\sin\theta_o)$ menunjukkan bahwa FSR bergantung kepada *port* masukan dan keluaran, karena $(\theta_i + \theta_o = 0)$, maka :

$$FSR = \frac{c}{n_g \Delta L} \quad (2\text{-}23)$$

Untuk memperoleh *chromatic dispersion,* penggabungan panjang gelombang pusat, jarak antar kanal, dan *free spectral range* dapat digunakan sebuah strategi rancangan sederhana. Rancangan awal dengan menentukan panjang penyebaran *d* dari keluaran *waveguide.* Jarak ini secara total memberikan efek *crosstalk,* sehingga untuk mendapatkan *crosstalk* yang diinginkan, maka *d* harus diatur sedemikian rupa. Lebar *waveguide* dapat ditentukan sehingga antara *input* dan *output* adalah sebuah *single mode.* Besar keluaran *Lf* pada keluaran FPR dapat diperkirakan sesuai dengan persamaan berikut :

$$Lf = \frac{d.\Delta x.n_{FPR}}{m,\Delta\lambda_{ch}} \quad (2\text{-}24)$$

dengan θ diperoleh dari persamaan :

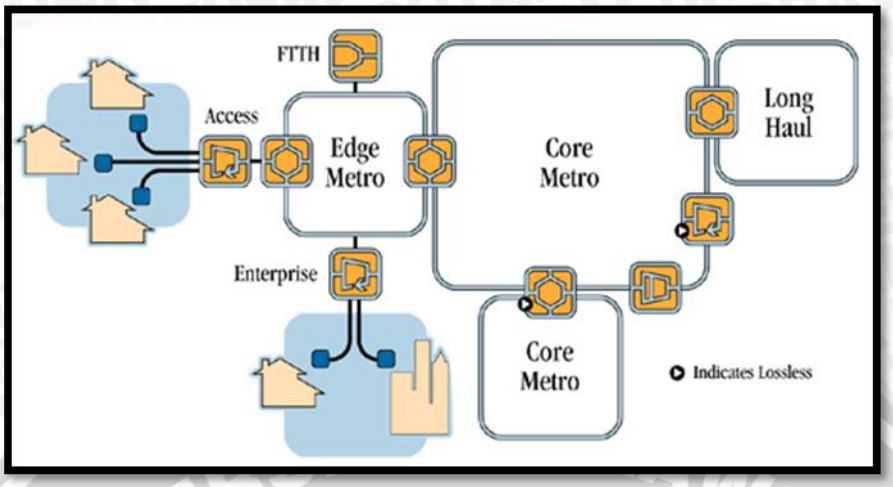
$$\theta = \frac{m\lambda_o - n_{eff}\Delta L}{n_{FPR} d_a} \quad (2\text{-}25)$$

dengan :

$m = \frac{V_c}{\Delta\lambda_{FSR}}$ adalah order kisi difraksi.

Spasi kanal $\Delta\lambda_{ch}$ harus besar sehingga dapat menampung rentang operasi *waveguide* yang diperlukan. Spasi panjang gelombang ditentukan sekecil mungkin untuk meminimalisir efisiensi *coupling* FPR pada AWG.

Pentransmisian DWDM melalui *single mode* dapat dilihat pada gambar (31).



Gambar 2.26 Pentransmisian DWDM Menggunakan Sistem Transmisi Ring
(**Sumber** : *Research Project. AWG in Technology in DWDM system.*2003)

Pada gambar 2.26 dapat dilihat pentransmisian DWDM melalui *single mode* pada jaringan WAN, MAN, dan LAN. Sebagai contoh adalah data informasi yang ditransmisikan ialah berupa gelombang cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Untuk pentransmisian jaringan WAN menuju MAN, AWG dapat melakukan *drop* panjang gelombang yang diinginkan ke tujuan di jaringan MAN tanpa mengganggu informasi yang lainnya. Jika informasi tersebut tidak ingin di*drop* pada jaringan MAN, maka AWG cukup melewatkan informasi tersebut pada jaringan WAN dengan sistem *cross connect.*

2.7.3 Parameter Performansi AWG

Untuk menentukan pengaruh kinerja *Array Waveguide Grating* (AWG) dalam suatu sistem, maka terdapat beberapa parameter yang dapat menunjukkan performansi AWG dalam suatu sistem komunikasi serat optik, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Orde Kisi Difraksi

Orde kisi difraksi adalah hubungan antara *order grating* (*m*) untuk mencakup *spectral range* pada *C-band* dari 1,528 sampai 1,58 μm. Dapat

diperoleh persamaan *order grating* (*m*) sebagai fungsi dari panjang gelombang untuk beberapa *spectrum range,* adalah sebagai berikut :

Orde kisi difraksi juga dapat dinyatakan dengan persamaan adalah

$$m = \frac{V_c}{\Delta\lambda_{FSR}} \tag{2-26}$$

dengan :

V_c = frekuensi koresponden (Hz)

$\Delta\lambda_{FSR}$ = frekuensi pada *Free Spectral Range*(Hz)

Orde kisi difraksi (m) adalah parameter yang penting, karena orde kisi difraksi dapat juga digunakan untuk menentukan beberapa parameter yang lain pada AWG. Orde kisi difraksi ini diharapkan dapat bernilai kecil, sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal panjang gelombang. [Abd.El-Naser A.Mohammed,2009].

2. Selisih Panjang Dari *Array Waveguide* yang Berdekatan

Perbedaan panjang gelombang yang berada pada *array waveguide* yang bersebelahan, dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta L = \frac{m\lambda_c}{n_c} \tag{2-27}$$

dengan :

ΔL = selisih panjang array (μm)

m = orde kisi difraksi

n_c = indeks bias efektif pada *array*

λ_c = panjang gelombang pusat (μm)

3. Radius Kelengkungan Dari *Slab Waveguide*

Radius kelengkungan dari *slab waveguide* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [Okamoto, 2000]:

$$L_f = \frac{n_s d^2 n_c}{m\Delta\lambda n_g} \tag{2-28}$$

dengan :

L_f = radius kelengkungan dari *slab waveguide* (nm)

n_s = indek efektif dari *slab waveguide*

d = panjang dari kanal *input/output* dan *arrayed waveguide* yang berdekatan (μm)

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

n_g = indek bias group.

m = orde kisi difraksi

Dimana indek group dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$n_g = n_c - \lambda_c - \frac{dn_c}{d\lambda_c} \quad (2\text{-}29)$$

dengan :

n_g = indek bias group.

n_c = indeks bias efektif pada *array*

λ_c = panjang gelombang pusat (μm)

4. *Free Spectral Range* (FSR)

Bagian penting dari AWG adalah *free spectral range* (FSR), yang berfungsi sebagai demultiplekser *periodicity*. *Free spectral range* (FSR) merupakan panjang gelombang dan jarak frekuensi maksimum pada pola interferensi yang merupakan karakteristik periodik dari fungsi transfer AWG, sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan [Abd.El-Naser A.Mohammed, 2009]:

$$FSR = \frac{\lambda_c n_c}{m n_g} \quad (2\text{-}30)$$

dengan :

FSR = *Free Spectral Range* (μm)

n_g = indek bias group.

n_c = indeks bias efektif pada *array*

λ_c = panjang gelombang pusat (μm)

m = orde kisi difraksi

5. Maksimum Jumlah Kanal *Input dan Output Wavelength*

Nilai maksimum kanal *input* dan *output wavelength* bergantung pada nilai FSR. *Bandwidth* dari sinyal yang akan dimultiplekskan harus lebih sempit dari FSR yang disediakan, untuk mencegah terjadinya *overlapping* di daerah *spectral*. Sehingga maksimum kanal *input* dan *output wavelength* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [Abd.El-Naser A.Mohammed, 2009]:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} \quad (2\text{-}31)$$

dengan :

N = maksimum jumlah kanal *input* dan *output wavelength*

λ_c = pusat panjang gelombang (nm)

n_c = indeks bias *array*

n_g = indeks bias group

m = orde kisi difraksi

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

6. *Crosstalk* Sebagai Konsekuensi penerapan AWG.

Jarak antar kanal yang sempit pada jalur DWDM mengakibatkan *crosstalk*, yang merupakan perpindahan sinyal sebuah kanal ke kanal lain. *Crosstalk* yang terjadi pada jaringan DWDM jika kanal-kanal dengan frekuensi *carier* yang sama digabungkan.

Crosstalk yang terjadi pada jaringan DWDM dibedakan atas :

a. *Interchannel Crosstalk*

Interchannel crosstalk terjadi ketika interferensi sinyal dihasilkan oleh kanal yang bersebelahan yang beroperasi pada panjang gelombang yang berbeda. Ini terjadi karena ketidaksempurnaan perangkat pemilih panjang gelombang dalam menolak atau menahan sinyal dari kanal panjang gelombang lain yang berdekatan.

b. *Intrachannel Crosstalk*

Pada *intrachannel crosstalk*, sinyal interferensi mempunyai panjang gelombang yang sama dengan sinyal yang diinginkan. Besarnya *crosstalk* yang terjadi dalam suatu sistem AWG ditentukan dengan menghitung perbedaan daya *output* antara perhitungan suatu kanal *input* tanpa *crosstalk* dengan perhitungan yang melibatkan *crosstalk* (semua kanal pada *input* atau diasumsikan beban trafik penuh sehingga menghasilkan *crosstalk* maksimal).

Crosstalk dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{out} = P_{in} + P_{in}\{X_{gate}[(M-1).P_{in} + P_{in}]\} + P_{in}\{(N-1).R_{gate}[1 + X_{gate}.M.P_{in}] + (N-1).(M-1)^2.T_f R_{gate}\} - 2\cdot\sqrt{P_{in}}.\sqrt{P_{in}}\{(N-1).\sqrt{R_{gate}} + (M-1).\sqrt{T_f} + (N-1).(M-1).\sqrt{R_{gate}}.\sqrt{T_f}\} - 2.P_{in}\{(N-1).(M-1).\sqrt{R_{gate}}.\sqrt{T_f} + (N-1)^2(M-1).R_{gate}.\sqrt{T_f} + (N-1)(M-1)^2.\sqrt{R_{gate}}.T_f\} - 2.P_{in}\{R_{gate}\sum_{t=1}^{n-2} t + T_f\sum_{t=1}^{M-2} t + R_{gate}T_f\sum_{t=1}^{(M-1)(N-1)} t\} \quad (2\text{-}32)$$

dengan :

P_{in} = Daya masukan (Daya Laser yang digunakan (W)

P_{out} = Daya Keluaran dari sistem (W)

N = Jumlah kanal

M = Jumlah panjang gelombang

T_f = Faktor Transmisi filter (dB)

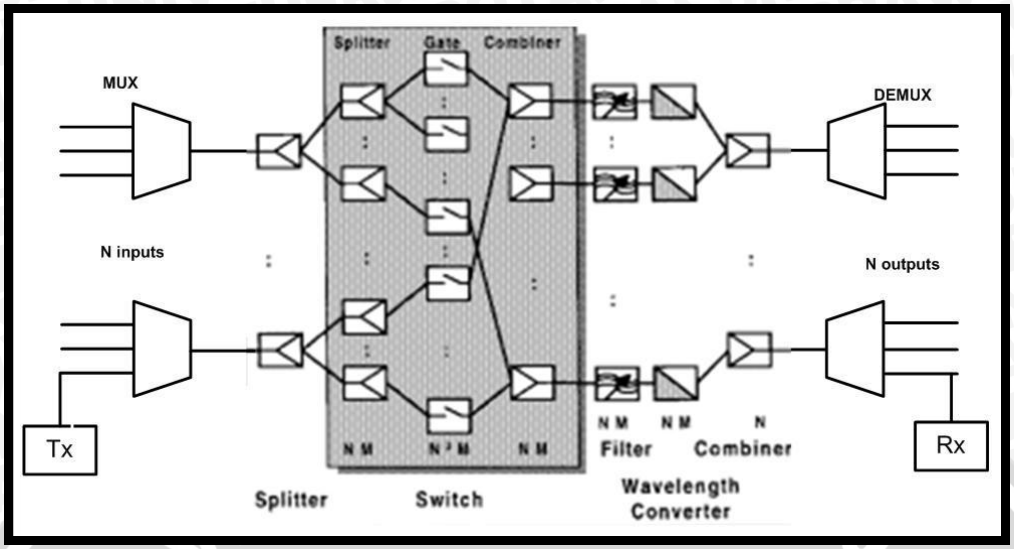
R_{gate} = Rasio peredaman (dB)

X_{gate} = *Gate Crosstalk.*

Untuk *crosstalk* dapat diperoleh dari persamaan :

$$Crosstalk(dB) = 10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad (2\text{-}33)$$

Diagram blok yang diamati dalam sistem transmisi DWDM adalah :



Gambar 2.27 Diagram Blok Transmisi DWDM Menggunakan AWG

Model sistem yang dianalisis adalah seperti pada Gambar 2.27 Sistem yang diamati adalah blok transmisi DWDM menggunakan *optical cross connect* dengan AWG sebagai pirantinya. OXC memberikan fleksibilitas perutean dan kapasitas transport bagi jaringan DWDM. Ketika menghubung silangkan panjang gelombang dari serat *input* ke *output*, OXC akan menghasilkan *crosstalk. Crosstalk* adalah salah satu kriteria dasar yang menentukan kinerja jaringan WDM, dan sebagai konsekuensi penerapan dari AWG.

Pada model sistem yang diamati *crosstalk* dihasilkan dalam kombinasi jumlah kanal, jumlah panjang gelombang, dan variasi dari daya input. Kanal panjang gelombang yang akan ditransmisikan adalah hasil *multiplexing* dari DWDM multiplexer.

Prinsip kerja model sistem yang diamati adalah pada masukan OXC, sinyal masukan dibagi oleh AWG sebagai *passive splitter*. *Splitter* pertama akan memecah kembali sinyal termultipleks kemudian seluruh panjang gelombang dengan kanal yang berbeda akan masuk ke *splitter* kedua pada switch. Keluaran dari *splitter* kedua akan diberikan kepada GC-SOA (*Gain Clamped Semiconductor Optical Amplifier*) yang berfungsi memilih panjang gelombang pada kanal yang diinginkan. Kemudian digabungkan pada *combiner* yang pertama. Keluaran dari *switch* akan melewati filter dan hasilnya akan masuk ke

wavelength converter yang berfungsi untuk transfer sinyal dari sebuah kanal ke kanal lain yang berbeda sehingga akan terbentuk *lightpath.* Kemudian akan masuk ke *combiner,* yang berfungsi untuk menggabunggkan seluruh kanal hasil *cross connect* ke *multiplexer*.

Sebuah OXC dapat menswitch sinyal optik pada kanal DWDM dari *port input* ke *port output* tanpa membutuhkan konversi sinyal optik. Jika OXC dilengkapi dengan *wavelength converter*, maka *wavelength converter* tersebut dapat mengubah sinyal optik yang datang ketika melewati *switch.*

2.7.4 Keunggulan dan Kelemahan AWG

- **Keunggulan AWG**

Array Waveguide Grating (AWG) memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan sistem yang lain, diantaranya adalah [Rifqi Firdaus. 2009]:

1. AWG adalah salah satu dari sekian banyak perangkat yang diakui dan telah terbukti sebagai perangkat multipleksing dan demultipleksing pada komunikasi serat optik.
2. AWG telah terbukti secara tepat untuk melakukan demultipleksing sinyal optik dalam jumlah yang sangat besar dengan *insertion loss* yang rendah.
3. AWG memiliki stabilitas yang tinggi dengan biaya perancangan yang murah.
4. AWG juga merupakan salah satu perangkat yang digunakan sebagai demultipleksing panjang gelombang optik pada sistem OCDMA (*Optical Code Division Multiple Access*), sebab AWG dapat digabungkan dengan komponen lain untuk membuat *add/drop multiplekser* agar dapat disalurkan menjadi panjang gelombang tunggal pada jaringan biasa dan hubungan silang (*cross connect*) pada *router.*
5. AWG bersifat fleksibel untuk memilih jumlah kanal dan spasi kanal yang dibutuhkan.

6. Biaya pemakaian sistem AWG tidak tergantung besaran harga panjang gelombang yang dihitung oleh filter dielektrik, sehingga sistem ini sangat tepat untuk aplikasi wilayah metropolitan.

- **Kelemahan AWG**

Selain memiliki kelebihan, AWG juga memiliki kelemahan jika dibandingkan dengan sistem yang lain diantaranya adalah AWG dapat menimbulkan *crosstalk*, karena *crosstalk* terjadi akibat dari *array* yang berdekatan pada AWG.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat teoritis dan analisis yaitu analisis terhadap kinerja sistem komunikasi serat optik pada teknik *Dense Wavelength Division Multipleksing* (DWDM) melalui penerapan *Arrayed Waveguide Grating* (AWG), yang mengacu pada studi literatur. Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini, yaitu mengetahui pengaruh penerapan AWG pada DWDM dalam kinerja sistem komunikasi serat optik. Parameter performansi yang dikaji meliputi orde kisi difraksi, spasi kanal, jumlah kanal terhadap orde kisi difraksi, selisih panjang *array*, dan konsekuensi dari penerapan AWG yaitu *crosstalk.* Tahapan Kajian yang disajikan dalam skripsi ini meliputi :

3.1 Jenis dan Cara Pengambilan Data

Kajian yang dilakukan adalah untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan penerapan AWG pada teknik DWDM dalam sistem komunikasi serat optik. Data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini adalah data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi mengenai *Array Wavelength Grating* (AWG) dan *Dense Wavelength Division Multipleksing* (DWDM). Data-data sekunder tersebut dilakukan untuk mengenal karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini. Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

1. Standarisasi untuk sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) oleh ITU-T *(International Telecommunication Union)* yaitu :
    a. Kanal DWDM berada pada range panjang gelombang 1530,3 nm – 1567,1 nm dalam daerah kerja (*region*) C-*Band*.
    b. Jarak antar kanal adalah 50, 100, 120, 200 dan 250 GHz dan spasi panjang gelombang 0,4 ; 0,8 ; 1 ; 1,6 dan 2 [Gerald Farrel, 2002].

c. Rekomendasi ITU G.692 ("*Optical Interfaces for Multichannel Systems with Optical Amplifier*") menunjukkan bahwa semua kanal pada sistem DWDM pada referensi frekuensi tengah 193,1 THz untuk panjang gelombang pusat 1,550918 μm.

d. Jaringan DWDM memiliki 40 panjang gelombang dengan spasi kanal sesuai dengan ITU-T Grid G.692 yaitu 50, 100, 120, 200 dan 250 GHz.

2. Diasumsikan daya dan bit rate pada tiap kanal adalah sama.

3. Parameter dalam kinerja *Array Waveguide Grating* (AWG) yang tetap adalah sebagai berikut :

   a. Panjang gelombang untuk bahan *silika* adalah λ = 1,276 μm [Kuznetsov et al, 2000].

   b. Cepat rambat gelombang di ruang bebas adalah c = $3x10^{-8}$ m/s.

   c. Sesuai dengan standar ITU-T, digunakan 40 kanal untuk aplikasi DWDM yang memiliki panjang gelombang pusat λc =1,550918 μm[Kuznetsov et al, 2000].

   d. Indeks bias pada core [Kuznetsov et al, 2000], n_1=1,46

   e. Indeks bias pada cladding [Kuznetsov et al, 2000], n_2=1,442

   f. Indeks bias group [Kuznetsov et al, 2000], $n_g = 4{,}5$

   g. Indeks bias efektif [Kuznetsov et al, 2000], $n_c = 2{,}692$

   h. Indek bias pada *slab* [Kuznetsov et al, 2000], $n_s = 3{,}06$

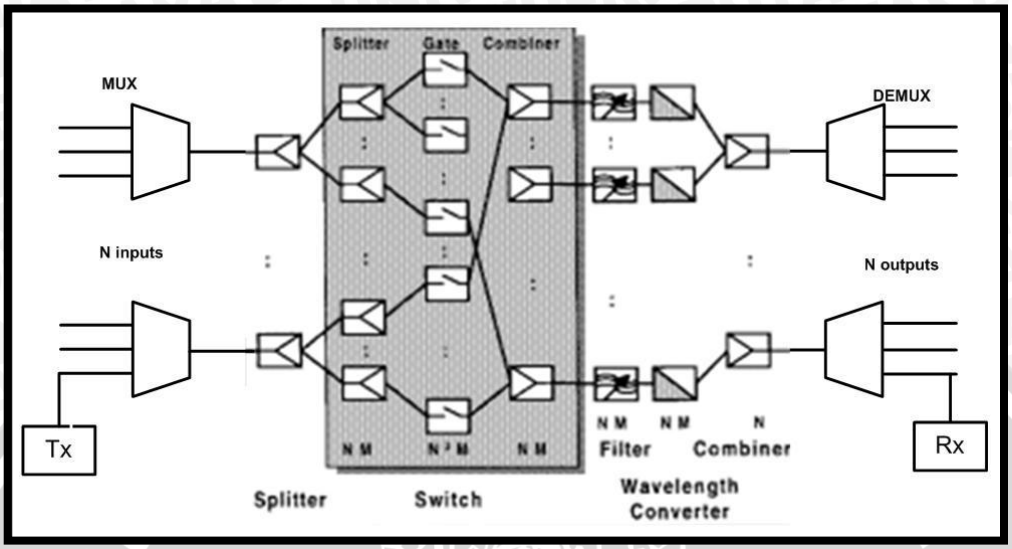
4. Laser yang digunakan sebagai daya input adalah ML9XX11 dengan nilai10 mW.

5. Rasio peredaman *gate* GC-SOA pada *optical cross* yang digunakan adalah sebesar -46,6 dB dengan *crosstalk gate* sebesar –0,1 mW.

6. Teori performansi AWG yang meliputi orde kisi difraksi, spasi kanal, selisih panjang *array*, *free spectral range* (FSR), nilai maksimum kanal *input/output wavelength* merujuk pada jurnal *Estimated Optimization Parameters of Arrayed Waveguide Grating (AWG) for C-band Applications* yang ditulis oleh Abd El–Naser A. Mohammed, Ahmed Nabih Zaki Rashed dan Abd El–Fattah A. Saad pada tahun 2009 dan *Fiber Optic*

Handbook Fiber Devices and System for Optical Communications yang ditulis oleh McGraw Hill TELECOM Engineering pada tahun 2002.

7. Diagram blok yang diamati dalam sistem transmisi DWDM adalah :



Gambar 3.1 Diagram Blok Transmisi DWDM Menggunakan AWG

3.2 Variabel dan Cara Analisis Data

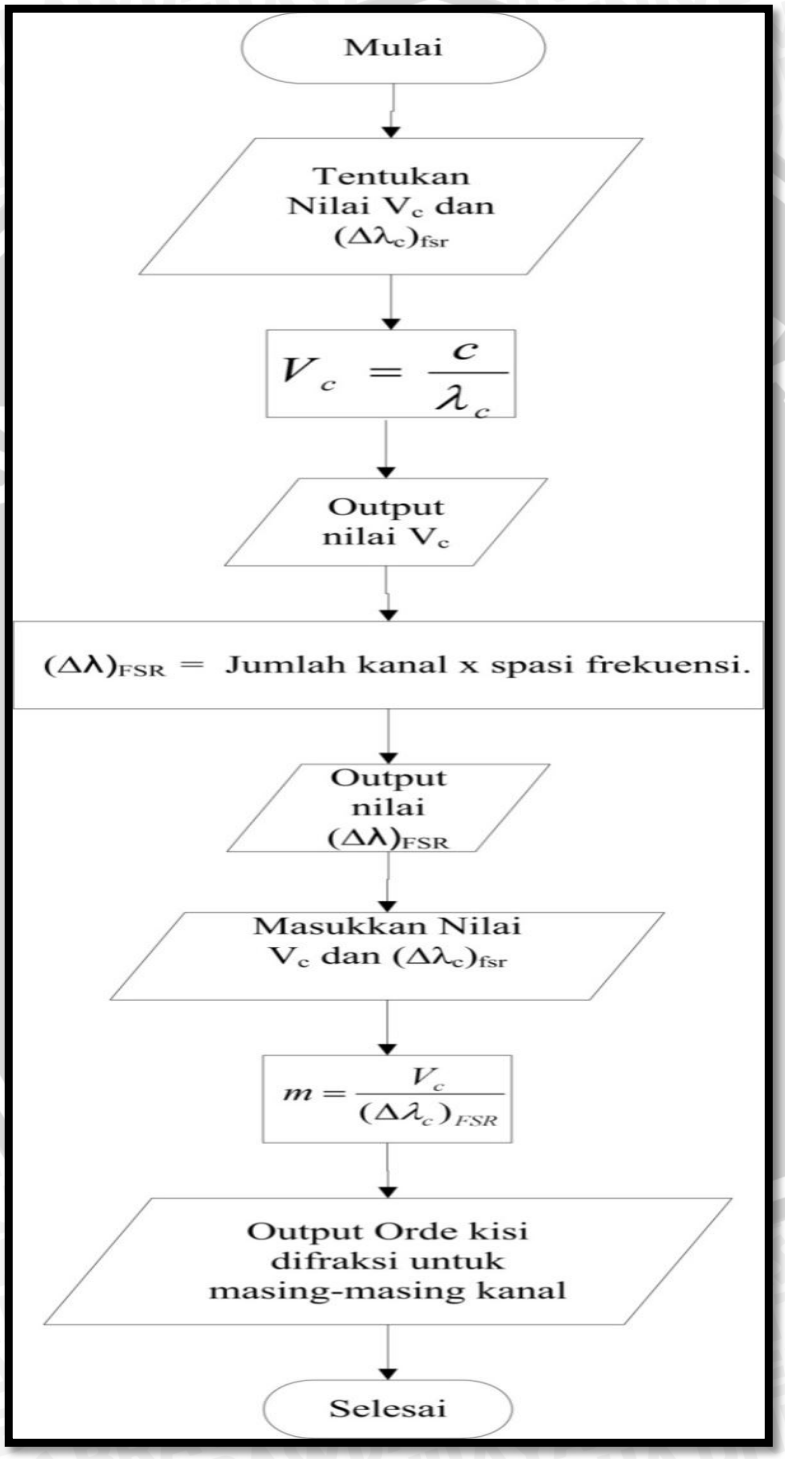
Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder sesuai dengan standar ITU-T. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Pendekatan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

1. Orde kisi difraksi *(m)* pada spasi kanal ($\Delta\lambda$) yang berbeda
2. Jumlah kanal (*N*) dari orde kisi difraksi (*m*)
3. Panjang dari *array waveguide* (ΔL) yang bersesuaian dengan sistem.
4. *Crosstalk* dengan variasi jumlah panjang gelombang, jumlah kanal, dan daya *input* yang digunakan sebagai konsekuensi penerapan AWG dalam komunikasi serat optik

3.3 Kerangka Solusi Masalah kan Dalam Bentuk *Flowchart*

Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan performansi-performansi dari kinerja AWG yang diinginkan :

1. Perhitungan orde kisi difraksi sistem, dengan cara :



Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan orde kisi difraksi sistem.

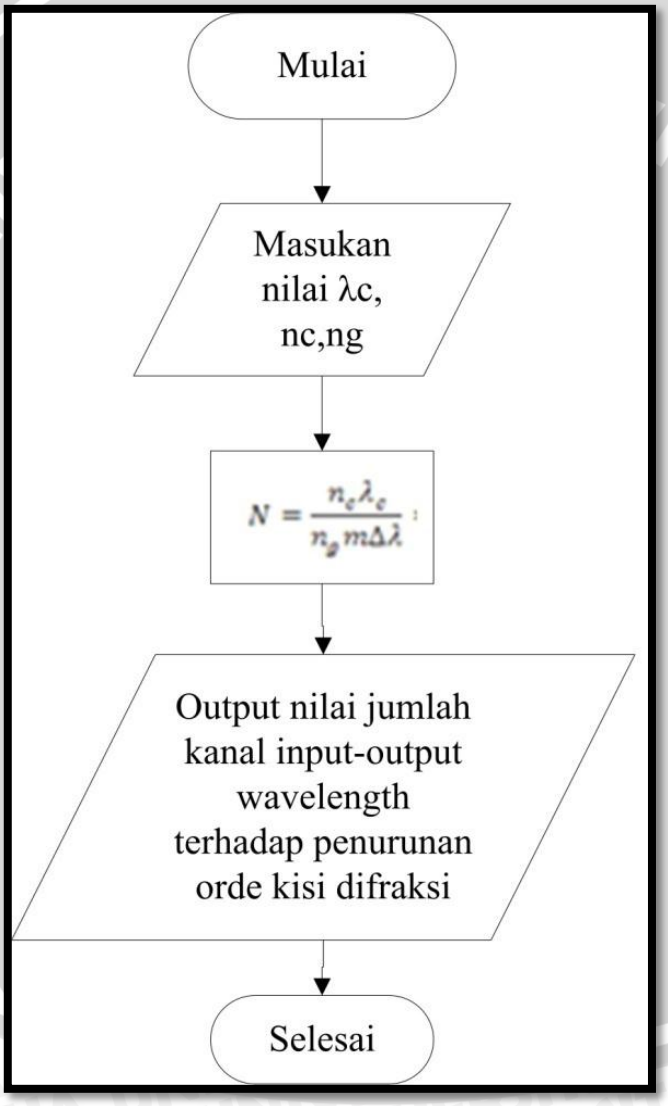
dengan :

m = orde kisi difraksi

V_c = frekuensi koresponden (Hz)

$\Delta\lambda_{FSR}$ = frekuensi pada *Free Spectral Range*(Hz)

2. Perhitungan jumlah kanal *input* dan *output wavelength* terhadap orde kisi difraksi



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan Jumlah Kanal *Input* Dan *Output Wavelength* Terhadap Orde Kisi Difraksi

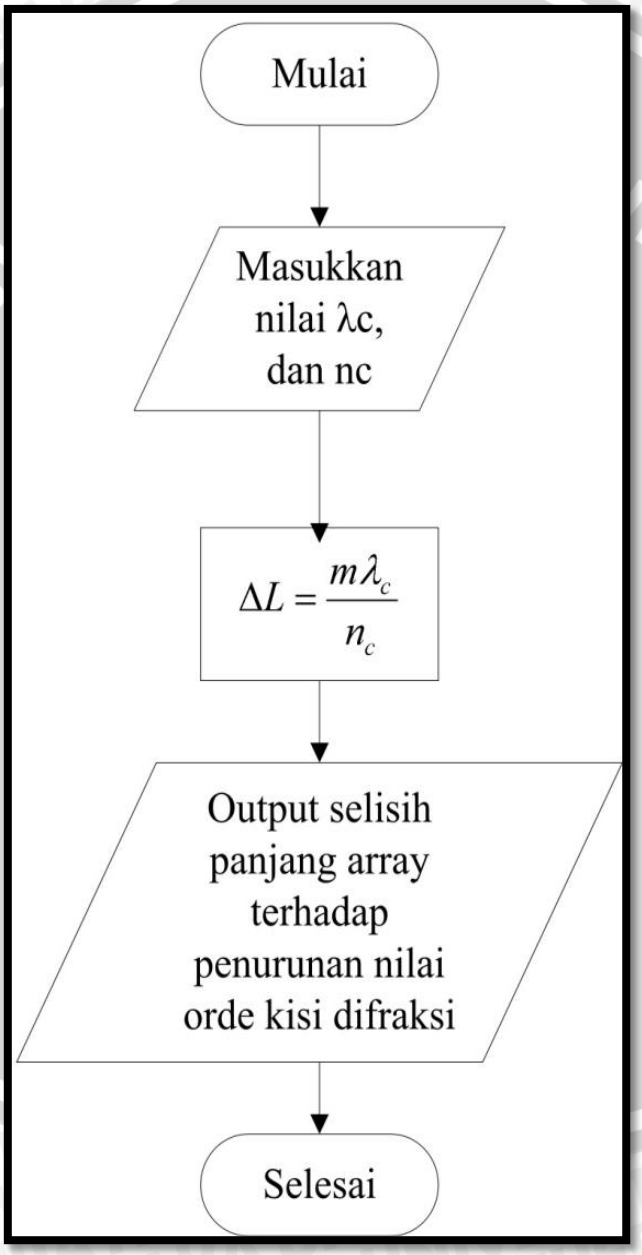
dengan :

N = jumlah kanal

λ_c = panjang gelombang pusat (μm)

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

3. Perhitungan selisih panjang dari *array waveguide* yang berdekatan.



Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Selisih Panjang Dari *Array Waveguide* Yang Berdekatan.

dengan :

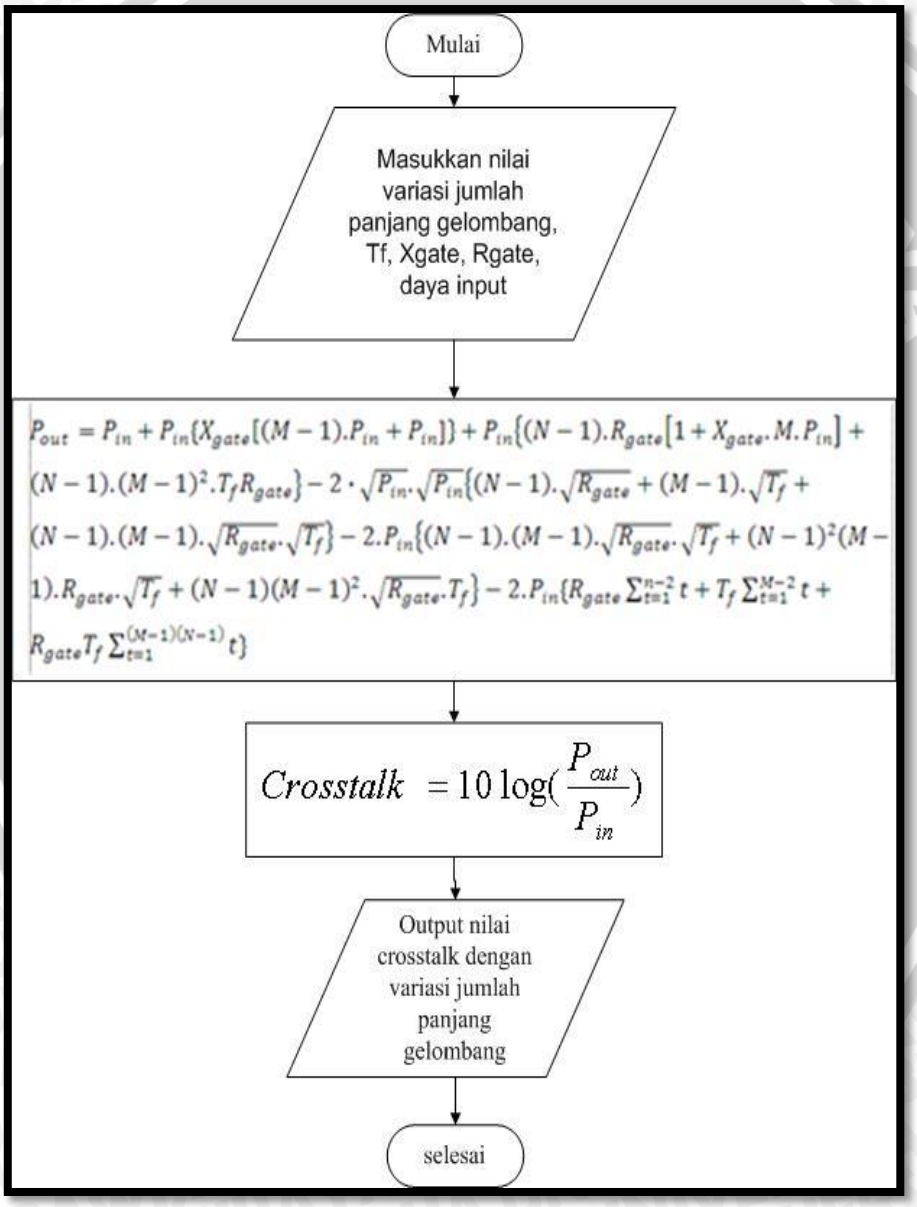
ΔL = selisih panjang array (μm)

m = orde kisi difraksi

λ_c = panjang gelombang pusat (μm)

n_c = indeks bias efektif pada *array*

4. Perhitungan *crosstalk* dengan variasi jumlah panjang gelombang.



Gambar 3.5 Diagram Alir Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Variasi Jumlah Panjang Gelombang

dengan :

Pout = Daya Keluaran dari sistem (W)

N = Jumlah kanal

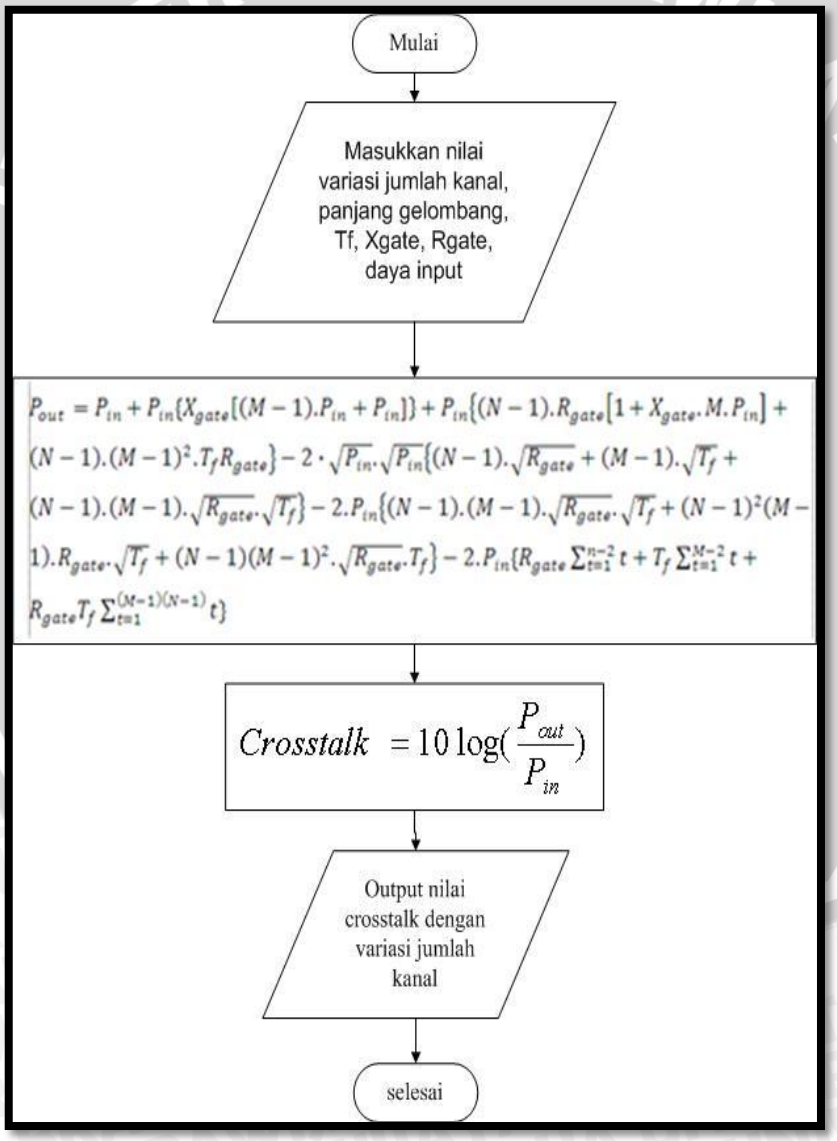
M = Jumlah panjang gelombang

T_f = Faktor Transmisi filter (dB)

R_{gate} = Rasio peredaman (dB)

X_{gate} = *Gate Crosstalk* (mW)

5. Perhitungan *crosstalk* dengan variasi jumlah kanal.



Gambar 3.6 Diagram Alir Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Variasi Jumlah Kanal

dengan :

Pout = Daya Keluaran dari sistem (W)

N = Jumlah kanal

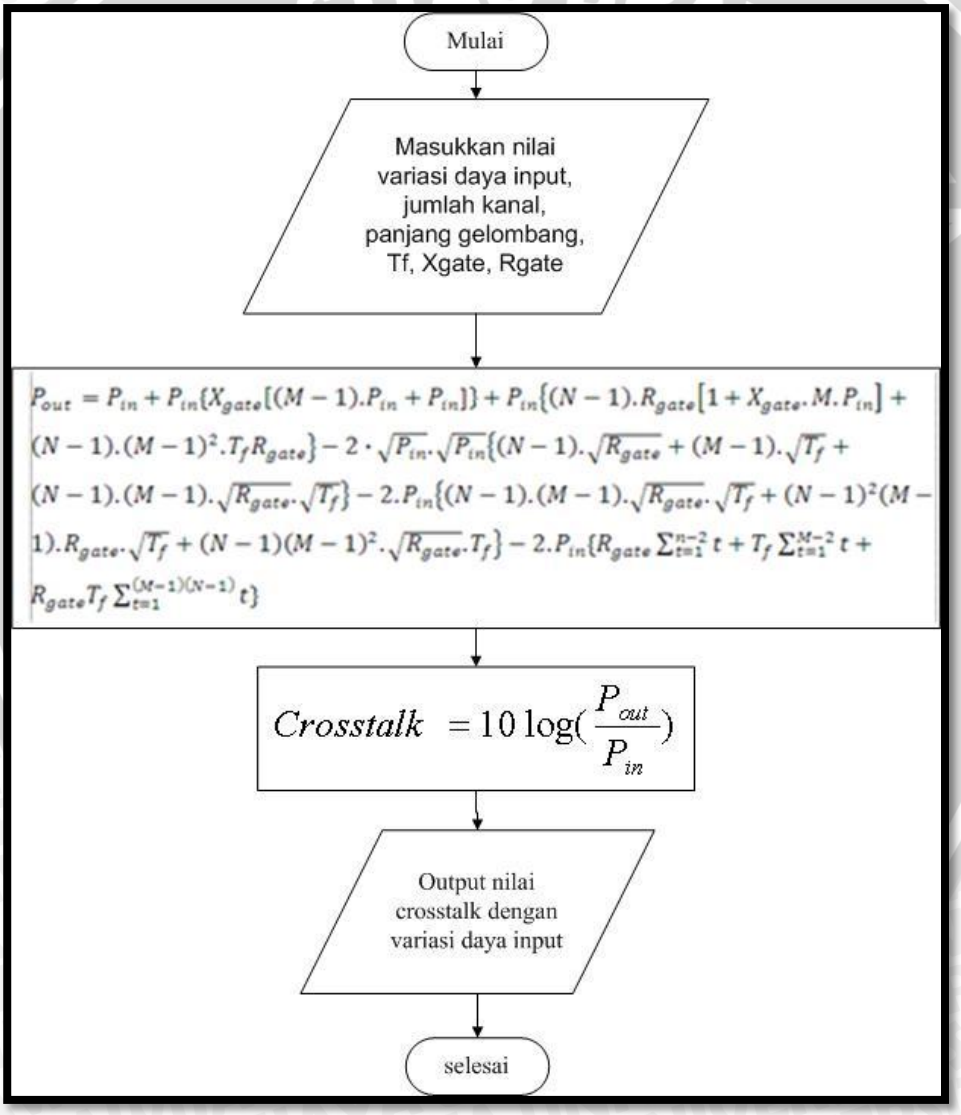
M = Jumlah panjang gelombang

T_f = Faktor Transmisi filter (dB)

R_{gate} = Rasio peredaman (dB)

X_{gate} = *Gate Crosstalk.*(mW)

6. Perhitungan *crosstalk* dengan variasi daya *input*.



Gambar 3.7 Diagram alir perhitungan *crosstalk* terhadap variasi daya input

dengan :

Pout = Daya Keluaran dari sistem (W)

N = Jumlah kanal

M = Jumlah panjang gelombang

T_f = Faktor Transmisi filter (dB)

R_{gate} = Rasio peredaman (dB)

X_{gate} = *Gate Crosstalk* (mW)

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kinerja *Array Waveguide Grating* (AWG) yang dilakukan pada bab ini berdasarkan pada teori dan persamaan yang terdapat pada Bab II. Performansi AWG pada teknik DWDM dalam sistem komunikasi serat optik meliputi panjang dari *array waveguide* (ΔL) yang bersesuaian dengan sistem, jumlah kanal (N) terhadap orde difraksi (m) dari *array*, orde kisi difraksi (m) terhadap spasi kanal ($\Delta\lambda$) dari *array* dan mengamati *crosstalk* sebagai konsekuensi dari penerapan AWG dalam kinerja komunikasi serat optik. Hasil analisis akan disimulasikan dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b). Hasil perhitungan dan pengaruh dari performansi AWG pada teknik DWDM dalam sistem komunikasi serat optik merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini.

4.1 Analisis Kinerja *Array Waveguide Grating* (AWG) Pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

Dalan sub bab ini akan dibahas performansi AWG pada teknik DWDM dalam sistem komunikasi serat optik yang terdiri dari orde kisi difraksi (m) terhadap spasi kanal ($\Delta\lambda$), jumlah kanal (N) terhadap orde kisi difraksi (m), panjang dari *array waveguide* (ΔL) yang bersesuaian dengan sistem, dan mengamati konsekuensi penerapan AWG dalam kinerja komunikasi serat optik.

Kelebihan dari AWG adalah dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* sinyal optik dalam jumlah yang sangat besar dengan *loss* yang rendah. Selain itu AWG juga dapat digunakan sebagai *multiplexing* dan *demultiplexing* panjang gelombang optik pada sistem OCDMA (*Optical Code Division Multiple Access*), sebab AWG dapat digabungkan dengan komponen lain untuk membuat *add/drop multiplexer* agar dapat disalurkan menjadi panjang gelombang tunggal pada jaringan biasa dan hubungan silang (*cross connect*) pada *router*.

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi sistem komunikasi serat optik pada teknik DWDM dengan penerapan AWG adalah menggunakan standar ITU-T Grid 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 1,550918 μm dan memiliki 40 kanal panjang gelombang dengan spasi frekuensi 50, 100, 120, 200 dan 250 GHz dan spasi panjang gelombang 0,4 ; 0,8 ; 1 ; 1,6 dan 2 nm.

Tabel 4.1 Parameter *Array Waveguide Grating* untuk *Dense Wavelength Division Multiplexing*

Parameter	Nilai
Panjang gelombang pusat ($\boldsymbol{\lambda_c}$)	1,550918 μm
Indeks bias efektif (n_c)	2,692
Indeks bias group (n_g)	4,5
Jumlah kanal DWDM (ITU-T G.692)	40 kanal

(Sumber : Abd.El-Naser. *Estimated optimization parameters of arrayed waveguide grating for C-band applications*)

4.2 Analisis Orde Kisi Difraksi Pada Kinerja *Array Waveguide Grating* (AWG)

Orde kisi difraksi (m) adalah salah satu parameter dalam performansi kinerja *Array Waveguide Grating*, dimana orde kisi difraksi merupakan parameter yang penting karena parameter ini digunakan untuk menentukan beberapa parameter yang lain pada AWG. Orde kisi difraksi ini diharapkan dapat bernilai kecil, sehingga dapat meningkatkan jumlah kanal transmisi.

4.2.1 Perhitungan Orde Kisi Difraksi (m) Terhadap Spasi Kanal

Dengan mengacu pada spasi kanal dari 50 GHz sampai dengan 250 GHz dengan *increment* 25 GHz, sehingga akan didapatkan 9 orde kisi difraksi untuk masing-masing spasi kanal. Mengacu pada persamaan di Bab II, maka akan didapatkan orde kisi difraksi dengan cara :

$$m = \frac{V_c}{(\Delta\lambda_c)_{FSR}} \qquad (4.1)$$

dengan :

V_c = frekuensi koresponden (Hz)

$(\Delta\lambda_c)_{FSR}$ = frekuensi pada *Free Spectral Range*(Hz)

dengan :

$(\Delta\lambda)_{FSR}$ = Jumlah kanal x spasi frekuensi.

$$V_c = \frac{c}{\lambda_c} = \frac{3\ x\ 10^8}{1{,}550918\ x\ 10^{-6}} = 193{,}433\ x\ 10^{12}\ Hz$$

Sehingga untuk m pada spasi kanal 50 GHz akan diperoleh orde difraksi sebesar:

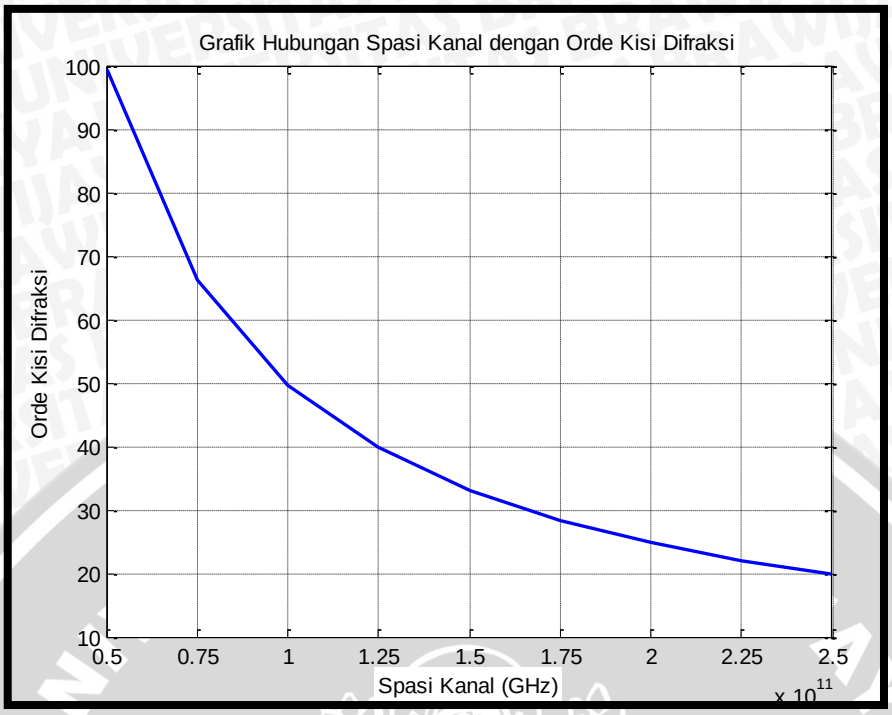
$$m = \frac{V_c}{40\ x\ f_1} = \frac{193,433\ x\ 10^{12}}{40\ x\ 50\ x\ 10^9} = 96{,}7169$$

Sesuai dengan standar ITU-T G.692 bahwa standar kanal yang digunakan pada teknik DWDM direkomendasikan sebesar 40 kanal dengan panjang gelombang pusat sebesar 1.550918 μm.[Abd.El-Naser. *Estimated optimization parameters of arrayed waveguide grating for C-band applications*]

Perhitungan untuk nilai orde kisi difraksi pada rentang spasi kanal 50 GHz sampai 250 GHz dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Orde Kisi Difraksi Pada Masing-Masing Spasi Kanal

No.	Spasi kanal (GHz)	Orde Kisi Difraksi
1.	50	96
2.	75	64
3.	100	48
4.	125	39
5.	150	32
6.	175	28
7.	200	24
8.	225	21
9.	250	19



Gambar 4.1 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Perubahan Spasi Kanal

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari Tabel 4.2 dapat ditarik kesimpulan bahwa diperoleh penurunan nilai orde kisi difraksi (m) terhadap kenaikan spasi kanalnya. Hubungan antara orde kisi difraksi terhadap spasi kanal tersebut ditampilkan pada Gambar 4.1. Seiring dengan kenaikan spasi kanal, maka akan terjadi penurunan orde kisi difraksi, sehingga semakin besar nilai spasi kanal maka semakin kecil nilai dari orde kisi difraksi. Berdasarkan persamaan untuk mendapatkan nilai orde kisi difraksi terhadap spasi kanal, yaitu $m = \frac{V_c}{(\Delta\lambda_c)_{FSR}}$ dimana V_c adalah frekuensi korespondensi, yang didapatkan dari pembagian antara kecepatan cahaya dengan panjang gelombang pusat. Panjang gelombang pusat ini adalah panjang gelombang standarisasi pada teknik transmisi DWDM oleh ITU-T. Sedangkan $(\Delta\lambda_c)_{FSR}$ adalah frekuensi pada *Free Spectral Range* (FSR) dimana FSR adalah panjang gelombang dan jarak frekuensi maksimum pada pola interferensi yang merupakan karakteristik periodik dari fungsi transfer AWG. *Free Spectral Range* adalah rentang spektral yang disediakan oleh AWG dalam proses *multiplexing* dan *demultiplexing.* Dalam hal ini frekuensi *Free Spectral Range* diperoleh dari jumlah kanal yang disediakan oleh teknik transmisi DWDM dikalikan dengan

spasi frekuensi kanal yang dianalisis. Sehingga nilai orde kisi difraksi akan semakin menurun seiring dengan peningkatan spasi frekuensinya.

Orde kisi difraksi terjadi ketika cahaya melewati suatu celah sempit dalam hal ini adalah spasi kanal, sehingga cahaya akan mengalami pembelokan di sekitar celah tersebut. Tiap celah akan menghasilkan difraksi dan berkas difraksi ini berinterferensi dengan yang lain untuk menghasilkan pola akhir yang disebut dengan pola gelap terang, Dari pola gelap terang inilah akan terbentuk suatu orde kisi difraksi. Semakin besar celah (spasi kanal) yang dilewati oleh suatu cahaya, maka orde kisi difraksi yang terbentuk semakin sedikit.

4.2.2 Perhitungan Orde Kisi Difraksi (m) Terhadap Maksimum Jumlah *Input* dan *Output Wavelength*

Untuk mengamati pengaruh dari orde kisi difraksi terhadap jumlah kanal input dan output wavelength, maka dilakukan perhitungan maksimum jumlah kanal input dan output wavelength untuk masing-masing orde kisi difraksi (m) dan spasi panjang gelombang. Nilai maksimum kanal input/output wavelength bergantung pada nilai Free Spectral Range (FSR). Bandwidth dari sinyal yang akan dimultiplekskan harus lebih sempit dari FSR yang disediakan, hal ini dikarenakan untuk mencegah terjadinya overlapping di daerah spectral. Free Spectral Range (FSR) merupakan panjang gelombang dan jarak frekuensi diantara maksimum pada pola interferensi yang merupakan karakteristik periodik dari fungsi transfer Array Waveguide Grating, sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan[APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} \tag{4.2}$$

dengan :

N = maksimum jumlah kanal input dan output wavelength

λ_c = pusat panjang gelombang (nm)

n_c = indeks bias array

n_g = indeks bias group

m = orde kisi difraksi

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

Seperti dinyatakan dalam Bab III, bahwa data sekunder yang dijadikan acuan adalah sebagai berikut [Abd.El-Naser. Estimated optimization parameters of arrayed waveguide grating for C-band applications] adalah :

λ_c = 1,550918 μm

n_c = 2,692

n_g = 4,5

Untuk mengamati pengaruh dari orde kisi difraksi terhadap jumlah kanal input dan output wavelength, maka dilakukan perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk masing-masing orde kisi difraksi (m) pada spasi panjang gelombang 0,4 nm sampai dengan 2 nm dengan increment 0,2 nm.

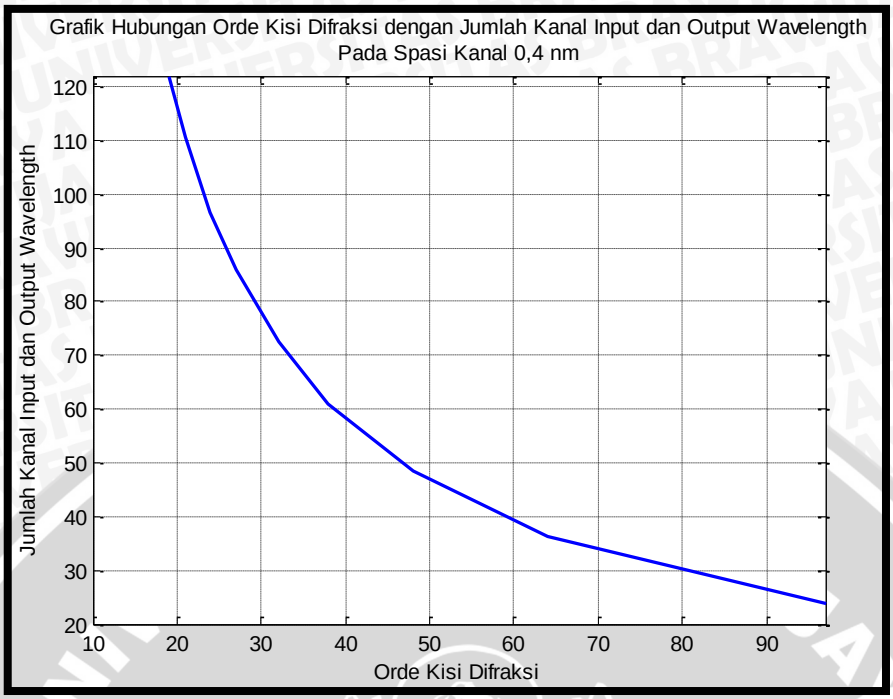
a. Untuk spasi panjang gelombang 0,4 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 0{,}4 \cdot 10^{-9}} = 23{,}91$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 0,4 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 0,4 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	23
2.	64	36
3.	48	48
4.	38	59
5.	32	72
6.	27	83
7.	24	97
8.	21	110
9.	19	122



Gambar 4.2 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 0,4 nm

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 0,4 nm. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim, dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{\mathrm{FSR}} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indek/s bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang

m = orde kisi difraksi (nm)

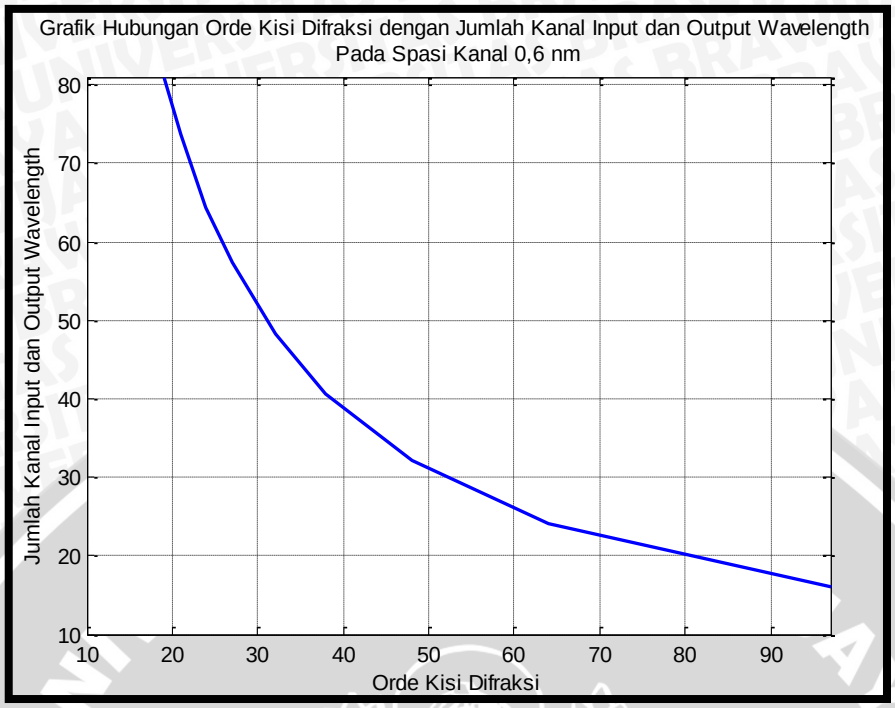
b. Untuk spasi panjang gelombang 0,6 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 0{,}6 \cdot 10^{-9}} = 15{,}9415$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 0,6 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 0,6 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	15
2.	64	24
3.	48	32
4.	38	40
5.	32	48
6.	27	55
7.	24	64
8.	21	77
9.	19	81



Gambar 4.3 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 0,6 nm

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 0,6 nm. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim, dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{FSR} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

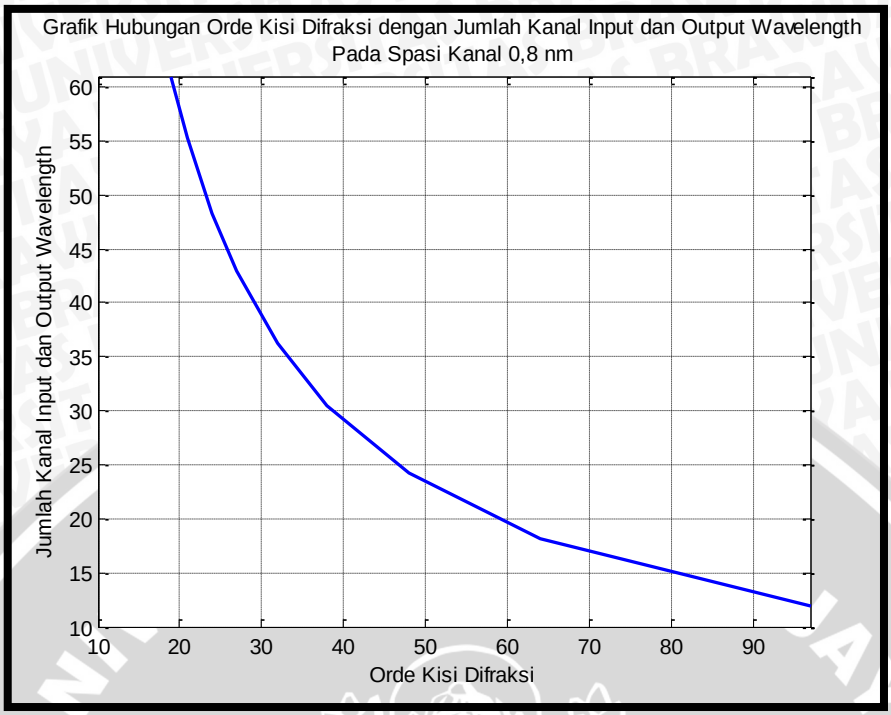
c. Untuk spasi panjang gelombang 0,8 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 0{,}8 \cdot 10^{-9}} = 11{,}9561$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 0,8 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 0,8 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	11
2.	64	18
3.	48	24
4.	38	30
5.	32	36
6.	27	41
7.	24	48
8.	21	55
9.	19	61



Gambar 4.4 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 0,8 nm

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 0,8 nm. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim, dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{FSR} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

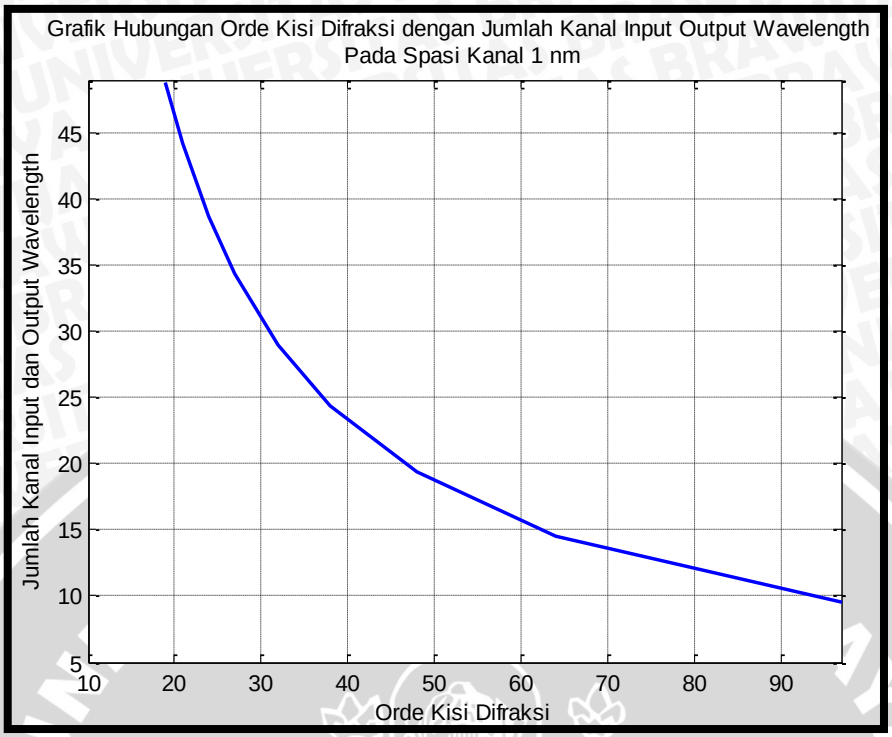
d. Untuk spasi panjang gelombang 1 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692\ x\ 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5\ x\ 97\ x\ 1 \cdot 10^{-9}} = 9{,}5649$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 1 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	9
2.	64	14
3.	48	19
4.	38	24
5.	32	29
6.	27	33
7.	24	39
8.	21	44
9.	19	49



Gambar 4.5 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 1 nm

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 1 nm. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{FSR} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

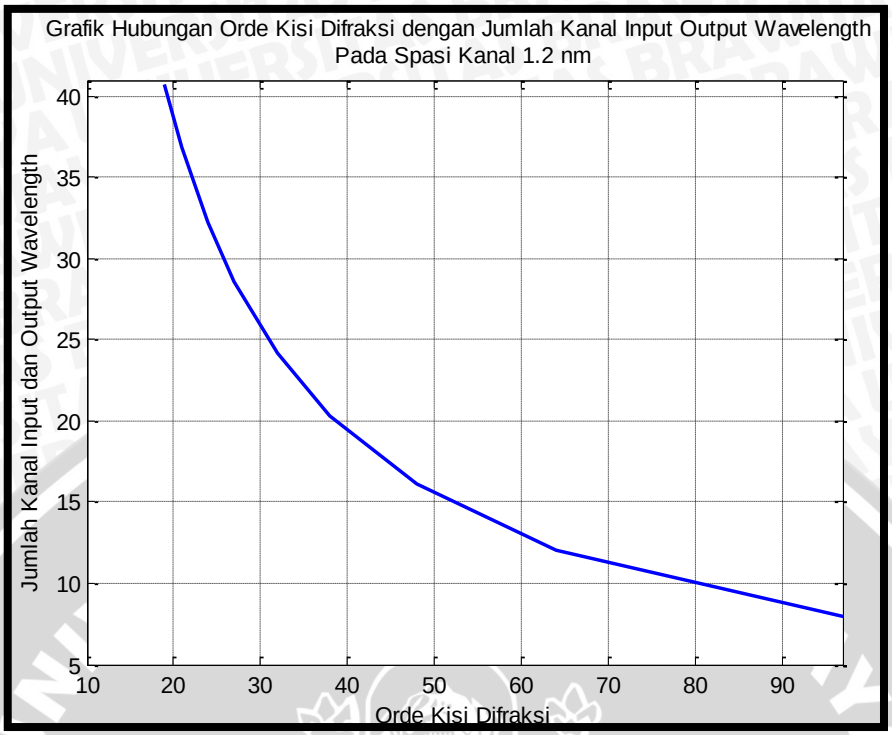
e. Untuk spasi panjang gelombang 1,2 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 1{,}2 \cdot 10^{-9}} = 7{,}9707$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 1,2 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,2 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	7
2.	64	12
3.	48	16
4.	38	20
5.	32	24
6.	27	28
7.	24	32
8.	21	37
9.	19	41



Gambar 4.6 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 1,2 nm

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 1,2 nm. Gambar 4.6 bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{FSR} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

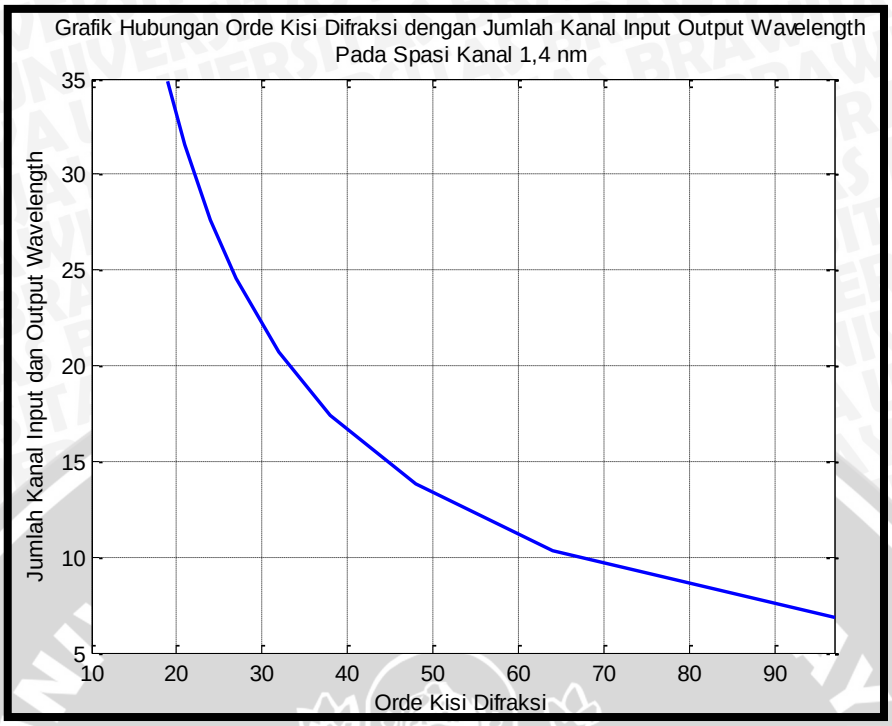
f. Untuk spasi panjang gelombang 1,4 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 1{,}4 \cdot 10^{-9}} = 6.8321$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 1,4 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,4 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	6
2.	64	10
3.	48	14
4.	38	17
5.	32	20
6.	27	24
7.	24	28
8.	21	32
9.	19	35



Gambar 4.7 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 1,4 nm
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 1,4 nm bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{FSR} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

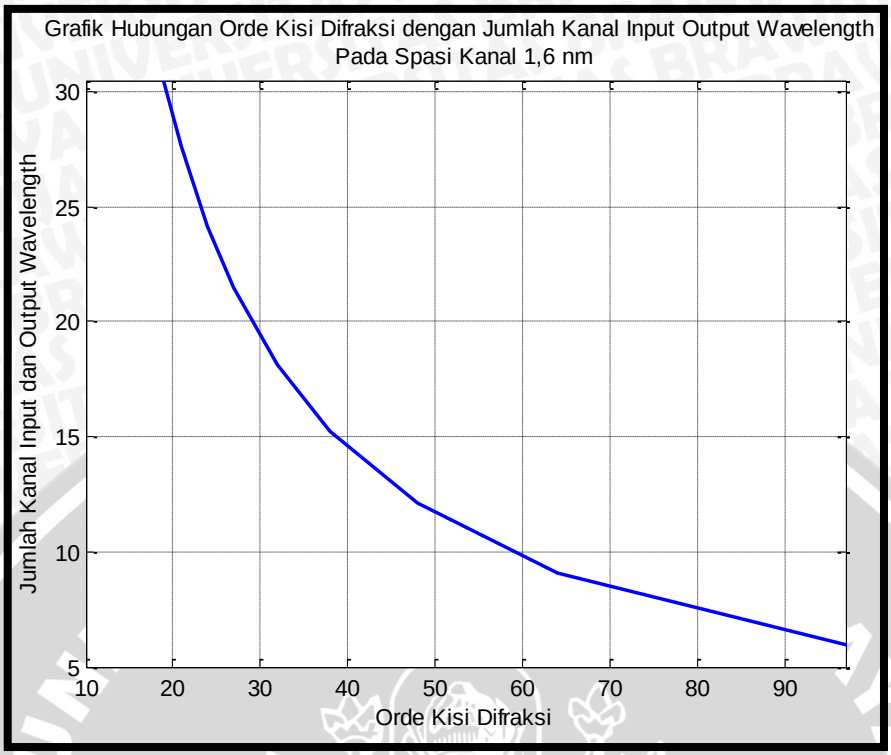
g. Untuk spasi panjang gelombang 1,6 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 1{,}6 \cdot 10^{-9}} = 5{,}9781$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 1,6 nm. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,6 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	5
2.	64	9
3.	48	12
4.	38	15
5.	32	18
6.	27	21
7.	24	24
8.	21	28
9.	19	31



Gambar 4.8 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 1,6 nm

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 1,6 nm. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{\mathrm{FSR}} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal.

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group.

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

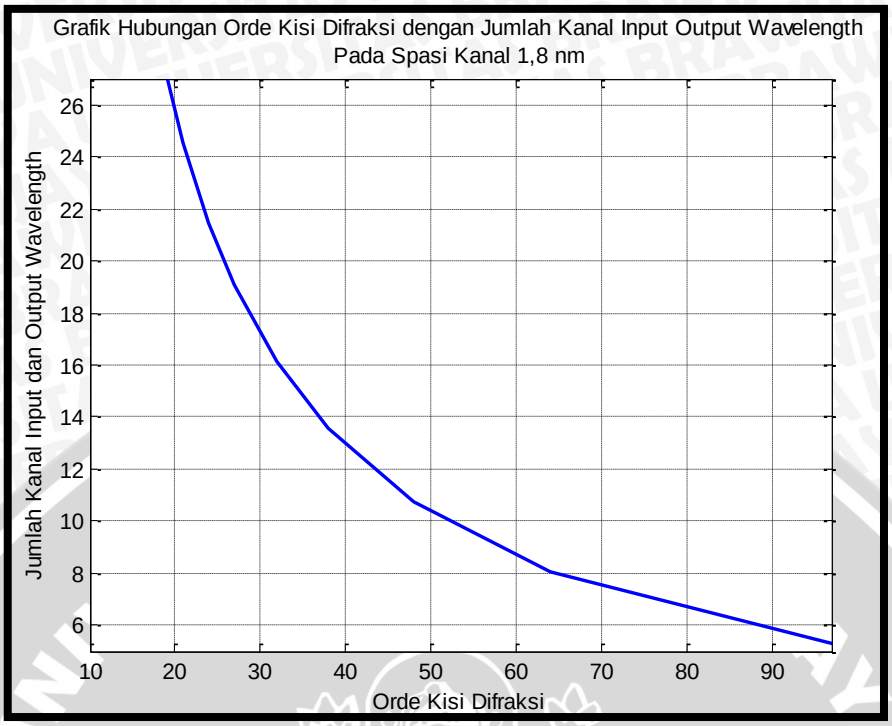
h. Untuk spasi panjang gelombang 1,8 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 1{,}8 \cdot 10^{-9}} = 5{,}3138$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 1,8 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 1,8 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	5
2.	64	8
3.	48	11
4.	38	13
5.	32	16
6.	27	18
7.	24	21
8.	21	24
9.	19	27



Gambar 4.9 Hubungan Orde Kisi Difraksi Terhadap Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Pada Spasi Panjang Gelombang 1,8 nm
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.9 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 1,8 nm. Gambar 4.9 menunjukkan bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{\mathrm{FSR}} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array.

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

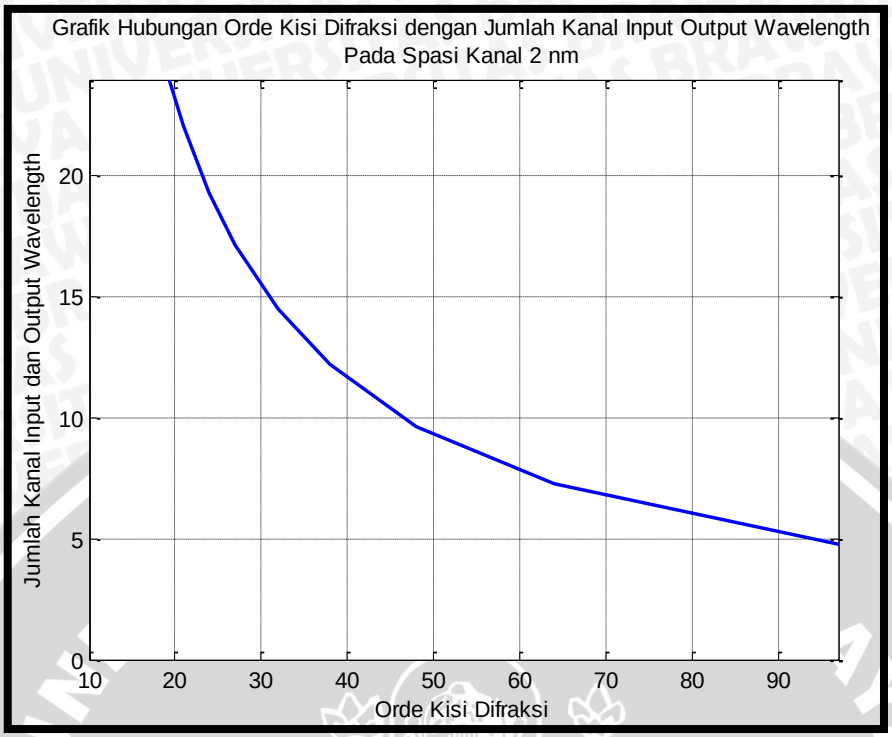
i. Untuk spasi panjang gelombang 2 nm untuk masing-masing orde kisi difraksi.

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda} = \frac{2{,}692 \; x \; 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{4{,}5 \; x \; 97 \; x \; 2 \cdot 10^{-9}} = 4{,}7821 \cong 5$$

Perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength untuk spasi panjang gelombang 2 nm dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Spasi Panjang Gelombang 2 nm

No.	Orde Kisi Difraksi	Jumlah Kanal
1.	97	5
2.	64	7
3.	48	10
4.	38	12
5.	32	14
6.	27	17
7.	24	19
8.	21	22
9.	19	24



Gambar 4.10 Hubungan Orde Kisi Difraksi terhadap Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength pada spasi panjang gelombang 2 nm

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Gambar 4.10 menunjukkan hubungan antara orde kisi difraksi dengan jumlah kanal input dan output wavelength pada spasi panjang gelombang 2 nm. Gambar 4.10 menunjukkan bahwa semakin besar nilai orde kisi difraksi yang terjadi akan menyebabkan jumlah kanal input dan output wavelength akan semakin kecil. Hal ini membuktikan bahwa orde kisi difraksi yang bernilai kecil akan meningkatkan jumlah kanal transmisi, sehingga semakin banyak sinyal yang akan dikirim dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin kecilnya nilai orde kisi difraksi bertujuan untuk mencegah terjadinya overlapping pada daerah spektral. Berdasarkan $\Delta\lambda_{\mathrm{FSR}} > N\Delta\lambda$ nilai m harus kecil dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah kanal transmisi sehingga akan semakin meningkat pula sinyal yang dapat dikirim [APSS Apollo. Application Note on Array Waveguide Grating]. Seperti ditunjukkan pada persamaan:

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

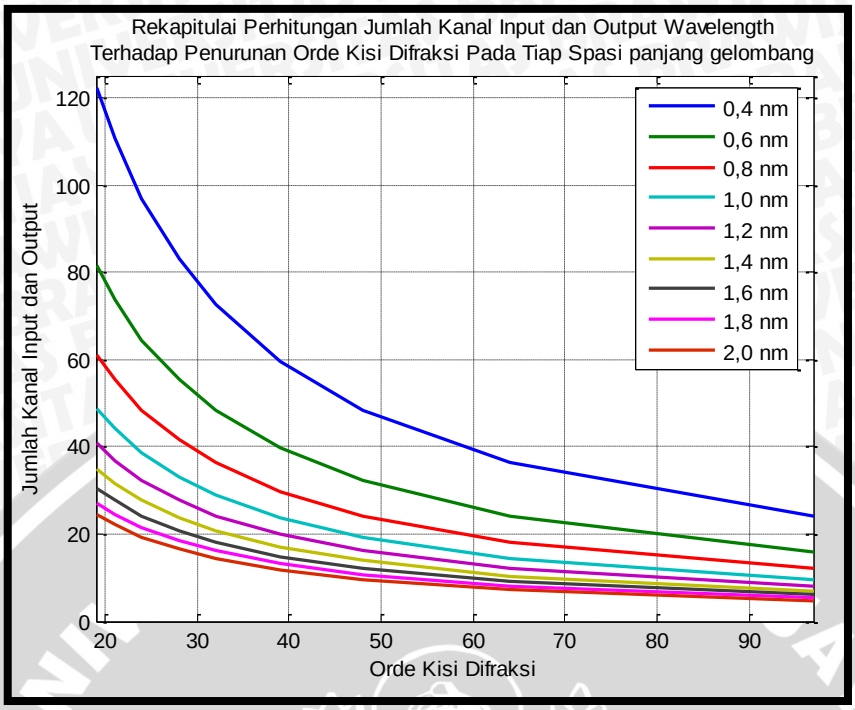
n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang(nm)

m = orde kisi difraksi

Tabel 4.12 Rekapitulasi Perhitungan Jumlah Kanal Input dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Masing-masing Spasi panjang gelombang

No.	Orde Kisi Difraksi (m)	Jumlah Kanal Pada Spasi Panjang Gelombang (nm)								
		0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
1.	97	24	16	12	10	8	7	6	5	5
2.	64	36	24	18	14	12	10	9	8	7
3.	48	48	32	24	19	16	14	12	11	10
4.	38	59	40	30	24	20	17	15	13	12
5.	32	72	48	36	29	24	20	18	16	14
6.	27	83	55	41	33	28	24	21	18	17
7.	24	97	64	48	39	32	28	24	21	19
8.	21	110	77	55	44	37	32	28	24	22
9.	19	122	81	61	49	41	35	31	27	24



Gambar 4.11 Grafik Rekapitulasi Perhitungan Jumlah Kanal Input Dan Output Wavelength Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi Pada Tiap Spasi Panjang Gelombang

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari perhitungan jumlah kanal input dan output wavelength pada masing-masing spasi panjang gelombang terhadap orde kisi difraksinya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi penurunan jumlah kanal seiring dengan kenaikan spasi panjang gelombang dimana spasi panjang gelombang berbanding terbalik dengan orde kisi difraksi sehingga semakin besar spasi panjang gelombang maka semakin sedikit jumlah kanal yang tersedia pada sistem transmisi tersebut. Hubungan antara jumlah kanal dengan spasi panjang gelombang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.11

Dari Gambar 4.11 dapat disimpulkan bahwa semakin besar spasi panjang gelombang maka jumlah kanal input dan output wavelength semakin kecil, hal ini dikarenakan spasi panjang gelombang adalah sebagai guard band atau pemisah antara kanal yang satu dengan yang lainnya, sehingga semakin besar spasi panjang gelombang, maka dalam satu spektral semakin sedikit jumlah kanal yang tersedia sehingga berakibat semakin sedikit pula sinyal yang dapat ditransmisikan. Sesuai dengan persamaan pada bab II , yaitu

$$N = \frac{n_c \lambda_c}{n_g m \Delta\lambda}$$

dengan :

N = maksimum nilai kanal

n_c = indeks bias pada array

λ_c = pusat panjang gelombang (μm)

n_g = indeks bias group

$\Delta\lambda$ = spasi panjang gelombang (nm)

m = orde kisi difraksi

Maka dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai orde kisi difraksi pada array semakin banyak jumlah kanal yang tersedia sehingga semakin banyak pula sinyal yang bisa dikirim dan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan. Semakin besar nilai spasi panjang gelombang maka akan semakin sedikit jumlah kanal yang disediakan.

4.3 Analisis Selisih Panjang dari *Array Waveguide* (Δ*L*) yang bersesuaian dengan sistem *Array Waveguide Grating* (AWG)

Array Waveguide Grating terdiri dari *arrayed waveguide* yang dikopling dengan 2 *slab*. Perbedaan panjang *waveguide* yang berdekatan dinotasikan dengan ΔL. Panjang *waveguide* yang berdekatan akan mempengaruhi performansi dari kinerja *Array Waveguide Grating* dalam penerapannya dalam komunikasi serat optik.

Dengan mengacu pada perhitungan orde kisi difraksi terhadap spasi kanal pada rumusan masalah yang pertama, maka dapat dilakukan perhitungan terhadap selisih panjang *waveguide*. Sesuai dengan persamaan pada Bab II untuk mendapatkan nilai dari ΔL adalah :

$$\Delta L = \frac{m\lambda_c}{n_c} \qquad (4\text{-}3)$$

dengan :

ΔL = selisih panjang array (μm)

m = orde kisi difraksi

n_c = indeks bias efektif pada *array*

λ_c = panjang gelombang pusat (μm)

Data sekunder yang dijadikan acuan adalah sebagai berikut [Abd.El-Naser. *Estimated optimization parameters of arrayed waveguide grating for C-band applications*] adalah :

λ_c = 1.550918 μm

n_c = 2.692

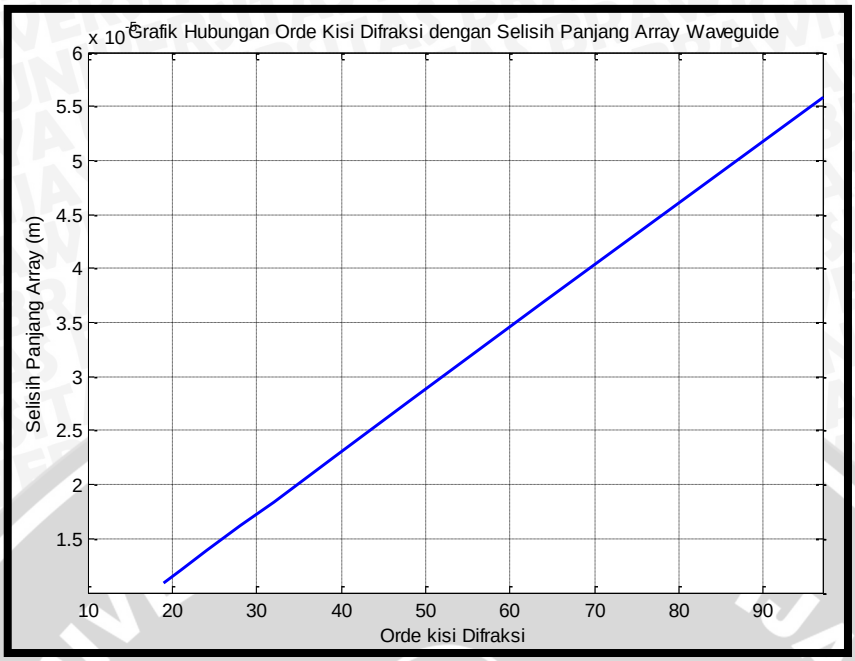
Untuk mengamati pengaruh dari selisih panjang *array waveguide* terhadap orde kisi difraksi maka dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (4-3). Sehingga untuk ΔL pada orde kisi difraksi untuk spasi kanal 50 GHz adalah :

$$\Delta L = \frac{m \times \lambda_c}{n_c} = \frac{97 \times 1{,}550918 \cdot 10^{-6}}{2.692} = 55.88 \mu m$$

Perhitungan panjang dari *array waveguide* terhadap orde kisi difraksi pada rentang spasi kanal 50 GHz sampai 250 GHz dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Perhitungan Selisih Panjang *Array Waveguide* Terhadap Penurunan Orde Kisi Difraksi

No	Orde Kisi Difraksi	Panjang *Array Waveguide* (μm)
1.	97	55,88
2.	64	36,87
3.	48	27,65
4.	38	22,47
5.	32	18,44
6.	27	16,13
7.	24	13,83
8.	21	12,10
9.	19	10,95



Gambar 4.12 Hubungan Selisih Panjang *Array Waveguide* dengan Orde Kisi Difraksi dan Kenaikan Spasi Kanalnya

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari Gambar 4.12 dapat disimpulkan bahwa seiring dengan meningkatnya nilai orde kisi difraksi maka meningkat pula nilai panjang *array waveveguide* dengan perbedaan nilai yang sangat kecil. Berdasarkan pada persamaan pada bab II, yaitu :

$$\Delta L = \frac{m\lambda_c}{n_c}$$

dengan :

ΔL = selisih panjang array (μm)

m = orde kisi difraksi

n_c = indeks bias efektif pada *array*

λ_c = panjang gelombang pusat (μm)

Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai dari orde kisi difraksi maka semakin besar pulai nilai dari selisih panjang *array waveguide*, kenaikan dari selisih panjang *array waveguide* ini meningkat secara linier dengan jarak yang relatif kecil. Dengan meningkatnya selisih dari panjang *array waveguide* maka dapat menurunkan *crosstalk*, dimana *crosstalk* adalah salah satu

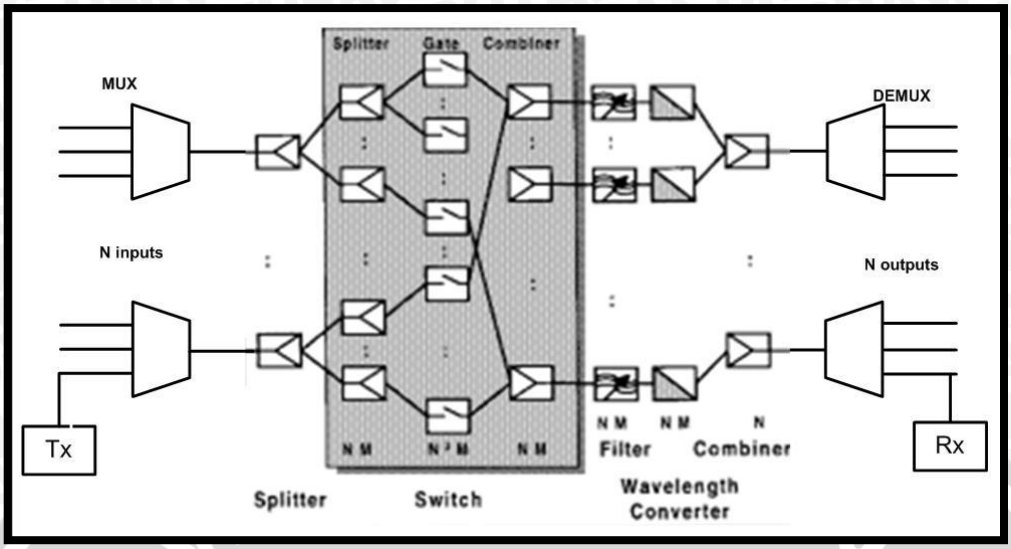
konsekuensi dalam penerapan AWG pada komunikasi serat optik. *Crosstalk* yang disebabkan oleh kopling dari *array waveguide* dan dapat dihindari dengan meningkatkan jarak antar *array waveguide* yang tersusun. [*APSS Apollo Application Note on Array Waveguide Grating (AWG)*]. *Crosstalk* disebabkan oleh distorsi akibat kopling *input* dan *output* dari *array waveguide*. Untuk menjaga *crosstalk* antar saluran yang dihasilkan, maka jarak antar *array waveguide* harus semakin besar.

4.4 Analisis *Crosstalk* Sebagai Konsekuensi Penerapan *Array Waveguide Grating* (AWG)

Array Waveguide Grating (AWG) adalah salah satu *passive optical device* yang berperan penting dalam proses transmisi dalam komunikasi serat optik. AWG memiliki banyak fungsi yang mendukung proses transmisi komunikasi serat optik, khususnya pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) diantaranya adalah sebagai *multiplexer, demultiplexer,* filter dan router. Penerapan AWG memiliki banyak keuntungan bagi sistem transmisi komunikasi serat optik, AWG ini dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* dengan jumlah kanal yang besar dan rugi yang relatif kecil. Pengaplikasian sistem AWG ini sangat penting dalam sistem transmisi sinyal melalui serat optik karena dapat meningkatkan performansi komunikasi serat optik.

Selain memiliki banyak keuntungan dalam penerapannya, AWG juga memiliki beberapa konsekuensi yang juga berpengaruh dalam kinerja komunikasi serat optik, yaitu *crosstalk.* Salah satu karakteristik paling penting dari suatu perangkat sebagai konsekuensi penggunaanya adalah *crosstalk*. *Crosstalk* merupakan kontribusi dari sinyal yang tidak diinginkan dalam sistem tersebut. Besarnya *crosstalk* ditentukan dengan menghitung perbedaan daya *output* antara perhitungan tanpa *crosstalk* (satu kanal pada *input*) dengan perhitungan yang melibatkan *crosstalk* (semua kanal yang mungkin pada *input* atau diasumsikan beban trafik penuh sehingga menghasilkan *crosstalk* maksimal).

Diagram blok yang diamati dalam sistem transmisi DWDM adalah :



Gambar 4.13 Diagram Blok Transmisi DWDM Menggunakan AWG

Model sistem yang dianalisis adalah seperti pada Gambar 4.13. Sistem yang diamati adalah blok transmisi DWDM menggunakan *optical cross connect* dengan AWG sebagai pirantinya. OXC memberikan fleksibilitas perutean dan kapasitas transport bagi jaringan DWDM. Ketika menghubung silangkan panjang gelombang dari serat *input* ke *output*, OXC akan menghasilkan *crosstalk. Crosstalk* adalah salah satu kriteria dasar yang menentukan kinerja jaringan WDM, dan sebagai konsekuensi penerapan dari AWG.

Pada model sistem yang diamati *crosstalk* dihasilkan dalam kombinasi jumlah kanal, jumlah panjang gelombang, dan variasi dari daya input. Kanal panjang gelombang yang akan ditransmisikan adalah hasil *multiplexing* dari DWDM multiplexer.

Prinsip kerja model sistem yang diamati adalah pada masukan OXC, sinyal masukan dibagi oleh AWG sebagai *passive splitter*. *Splitter* pertama akan memecah kembali sinyal termultipleks kemudian seluruh panjang gelombang dengan kanal yang berbeda akan masuk ke *splitter* kedua pada switch. Keluaran dari *splitter* kedua akan diberikan kepada GC-SOA (*Gain Clamped Semiconductor Optical Amplifier*) yang berfungsi memilih panjang gelombang pada kanal yang diinginkan. Kemudian digabungkan pada *combiner* yang pertama. Keluaran dari *switch* akan melewati filter dan hasilnya akan masuk ke

wavelength converter yang berfungsi untuk transfer sinyal dari sebuah kanal ke kanal lain yang berbeda sehingga akan terbentuk *lightpath.* Kemudian akan masuk ke *combiner,* yang berfungsi untuk menggabunggkan seluruh kanal hasil *cross connect* ke *multiplexer*.

Sebuah OXC dapat menswitch sinyal optik pada kanal DWDM dari *port input* ke *port output* tanpa membutuhkan konversi sinyal optik. Jika OXC dilengkapi dengan *wavelength converter*, maka *wavelength converter* tersebut dapat mengubah sinyal optik yang datang ketika melewati *switch.*

4.4.1 Analisis *Crosstalk* Pada AWG Terhadap Jumlah Panjang Gelombang

Pada análisis *crosstalk* dalam sistem AWG akan digunakan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.14 Spesifikasi Sistem AWG Untuk Perhitungan *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Panjang Gelombang

Parameter	Nilai
Laser Diode (ML9XX11) (mW)	10
Jumlah panjang gelombang (M)	2,4,6,8,10,12
Jumlah kanal (N)	12 (spasi kanal 100 GHz)
Rasio peredaman (R_{gate})	-46,6 dB
Faktor transmisi filter (T_f)	-90 dB
Crosstalk gate (X_{gate})	-0,1 mW

Perhitungan *crosstalk* terhadap jumlah panjang gelombang dilakukan dengan jumlah panjang gelombang yang bervariasi dan pada jumlah kanal yang tetap yaitu 12 kanal dengan spasi kanal 100 GHz sesuai dengan rekomendasi ITU-T untuk transmisi pada teknik DWDM.

Daya *output* dapat diperoleh berdasarkan persamaan pada Bab II, yaitu :

$$P_{out} = P_{in} + P_{in}\{X_{gate}[(M-1).P_{in} + P_{in}]\} + P_{in}\{(N-1).R_{gate}[1 + X_{gate}.M.P_{in}] + (N-1).(M-1)^2.T_f R_{gate}\} - 2\cdot\sqrt{P_{in}}.\sqrt{P_{in}}\{(N-1).\sqrt{R_{gate}} + (M-1).\sqrt{T_f} + (N-1).(M-1).\sqrt{R_{gate}}.\sqrt{T_f}\} - 2.P_{in}\{(N-1).(M-1).\sqrt{R_{gate}}.\sqrt{T_f} + (N-1)^2(M-1).R_{gate}.\sqrt{T_f} + (N-1)(M-1)^2.\sqrt{R_{gate}}.T_f\} - 2.P_{in}\{R_{gate}\sum_{t=1}^{n-2} t + T_f\sum_{t=1}^{M-2} t + R_{gate}T_f\sum_{t=1}^{(M-1)(N-1)} t\} \quad (4\text{-}4)$$

Untuk *crosstalk* dapat diperoleh dari persamaan :

$$Crosstalk(dB) = 10\log(\frac{P_{out}}{P_{in}}) \quad (4\text{-}5)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, maka P_{out} pada jumlah panjang gelombang 2 adalah sebesar :

$$P_{out} = 0{,}01 + 0{,}01\{-10^{-4}[(2-1).0{,}01 + 0{,}01]\} + 0{,}01\{(2-1).10^{-4{,}66}[1 + (-10^{-4}).2.0{,}01] + (12-1).10^{-9}[1 + (-10^{-4}).2.0{,}01] + (12-1).(12-1)^2.10^{-9}.10^{-4{,}66}\} - 2.0{,}01.\sqrt{0{,}01}\{(12-1).\sqrt{10^{-4{,}66}} + (2-1).\sqrt{10^{-9}} + (12-1).(2-1).\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}}\} - 2.0{,}01\{(12-1).(2-1).\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}} + (12-1)^2(2-1).10^{-4{,}66}\sqrt{10^{-9}} + (12-1)(2-1)^2.\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}}\} - 2.0{,}01.\{10^{-4{,}66}(1) + 10^{-9}(1) + 10^{-4{,}66}10^{-9}(1)$$ = 0,00905 Watt

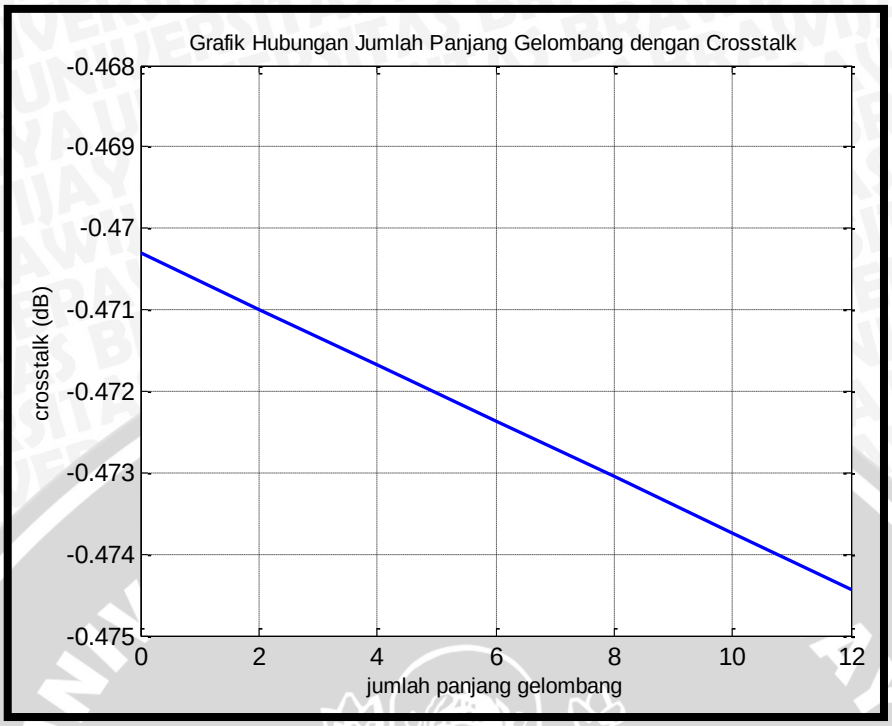
Crosstalk yang dihasilkan adalah sebesar :

$$Crosstalk(dB) = 10\log(\frac{0{,}0090}{0{,}01}) = -0{,}4710dB$$

Perhitungan *crosstalk* pada variasi jumlah panjang gelombang dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Jumlah Panjang Gelombang

No.	Jumlah panjang gelombang	Daya Keluaran (Watt)	*Crosstalk* (dB)
1.	2	0,00906	-0,4710
2.	4	0,00905	-0,4717
3.	6	0,00903	-0,4724
4.	8	0,0090	-0,4731
5.	10	0,0089	-0,4737
6.	12	0,0087	-0,4744



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Antara *Crosstalk* Dengan Jumlah Panjang Gelombang

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Berdasarkan Gambar 4.14 tersebut, dapat dilihat bahwa kenaikan jumlah panjang gelombang mengakibatkan kenaikan *crosstalk*. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa besarnya *crosstalk* dipengaruhi oleh banyaknya jumlah panjang gelombang. Semakin banyak jumlah panjang gelombang yang ditransmisikan dalam sistem komunikasi serat optik, maka akan semakin besar nilai *crosstalk* yang terjadi. *Crosstalk* disebabkan oleh adanya kontribusi dari sinyal yang tidak diinginkan dalam suatu sistem yang berdekatan, sehingga apabila semakin banyak jumlah panjang gelombang yang ditransmisikan, maka akan terjadi kenaikan nilai *crosstalk* dalam sistem tersebut.

4.4.2 Analisis *Crosstalk* Pada AWG Terhadap Jumlah Kanal

Perhitungan *crosstalk* terhadap jumlah panjang gelombang dilakukan dengan jumlah kanal yang bervariasi pada spasi kanal 100 GHz sesuai dengan rekomendasi ITU-T untuk transmisi pada teknik DWDM dan dengan jumlah panjang gelombang yang tetap yaitu 12 panjang gelombang.

Tabel 4.16 Spesifikasi Sistem AWG Untuk Perhitungan *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Kanal

Parameter	Nilai
Laser Diode (ML9XX11) (mW)	10
Jumlah panjang gelombang (M)	12
Jumlah kanal (N)	12, 18, 24, 30, 36, 41
Rasio peredaman (R_{gate})	-46,6 dB
Faktor transmisi filter (T_f)	-90 dB
Crosstalk gate (X_{gate})	-0,1 mW

Berdasarkan persamaan tersebut, maka *crosstalk* pada jumlah kanal 12 adalah sebesar :

$$P_{out} = 0{,}01 + 0{,}01\{-10^{-4}[(12-1).0{,}01 + 0{,}01]\} + 0{,}01\{(12-1).10^{-4{,}66}[1 + (-10^{-4}).2.0{,}01] + (12-1).10^{-9}[1 + (-10^{-4}).2.0{,}01] + (12-1).(12-1)^2.10^{-9}.10^{-4{,}66}\} - 2.\sqrt{0{,}01}.\sqrt{0{,}01}\{(12-1).\sqrt{10^{-4{,}66}} + (12-1).\sqrt{10^{-9}} + (12-1).(12-1).\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}}\} - 2.0{,}01\{(12-1).(12-1).\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}} + (12-1)^2(12-1).10^{-4{,}66}\sqrt{10^{-9}} + (12-1)(12-1)^2.\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}}\} - 2.0{,}16.\{10^{-4{,}66}(1) + 10^{-9}(1) + 10^{-4{,}66}10^{-9}(1) = 0{,}0090 \text{ Watt}$$

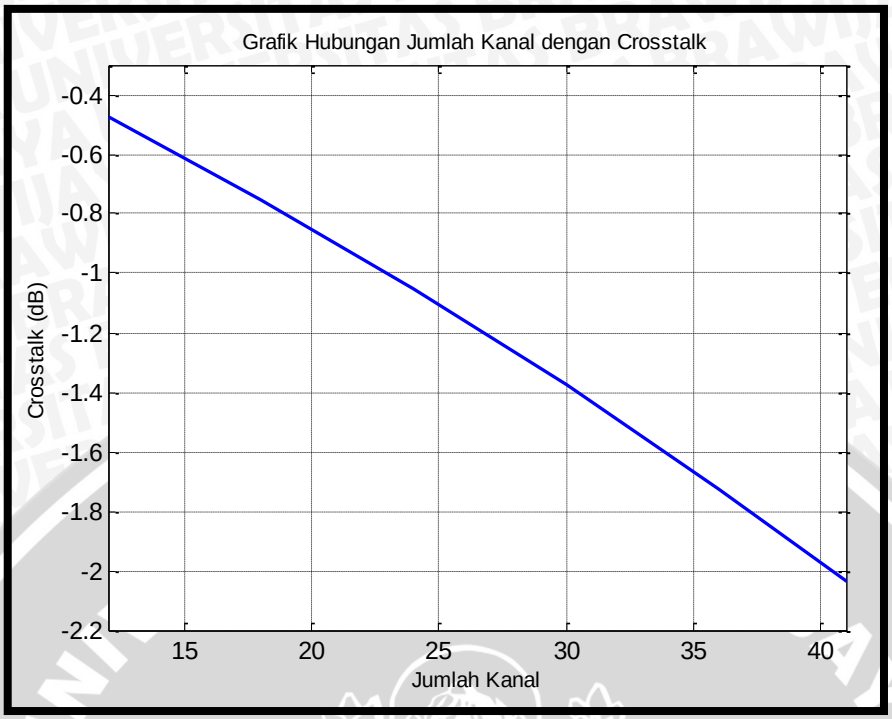
Crosstalk yang dihasilkan adalah sebesar :

$$Crosstalk(dB) = 10\log(\frac{0{,}0090}{0{,}01}) = -0{,}4744\ dB$$

Perhitungan *crosstalk* pada variasi jumlah kanal dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.17

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Jumlah Kanal

No.	Jumlah Kanal	Daya Keluaran (Watt)	*Crosstalk* (dB)
1.	12	0,0090	-0,4744
2.	18	0,0084	-0,7547
3.	24	0,0078	-1,0544
4.	30	0,0073	-1,3763
5.	36	0,0067	-1,7240
6.	41	0,0063	-2,0367



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Antara *Crosstalk* Dengan Jumlah Kanal
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Berdasarkan Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa kenaikan jumlah kanal mengakibatkan kenaikan nilai *crosstalk.* Maka dapat disimpulkan bahwa besarnya *crosstalk* dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kanal dalam sistem *Array Waveguide Grating.* Semakin banyak jumlah kanal dalam suatu sistem, akan mengakibatkan semakin besar nilai *crosstalk* yang terjadi. Hal ini dikarenakan dengan jumlah kanal yang semakin banyak, maka jarak antar kanal juga akan semakin kecil, sehingga akan mengakibatkan perpindahan sinyal dari satu kanal ke kanal yang lain, hal inilah yang disebut dengan *crosstalk.* Pada sistem yang dianalisis ini akan terjadi *interchannel crosstalk,* yaitu interferensi sinyal dihasilkan oleh kanal yang bersebelahan yang beroperassi pada panjang gelombang yang berbeda. Ini terjadi karena ketidaksempurnaan perangkat pemilih panjang gelombang dalam menolak atau menahan sinyal dari kanal panjang gelombang lain yang berdekatan.

4.4.3 Analisis *Crosstalk* Pada AWG Terhadap Daya *Input*

Perhitungan *crosstalk* terhadap daya input dilakukan dengan besarnya daya yang bervariasi untuk *pump laser* sesuai dengan rekomendasi ITU-T untuk transmisi pada teknik DWDM dan dengan jumlah panjang gelombang yang tetap yaitu 12 panjang gelombang serta jumlah kanal yang tetap yaitu 12 kanal pada spasi kanal 100 GHz.

Sesuai dengan spesifikasi yang digunakan untuk menghitung *crosstalk* terhadap daya input yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.18 Spesifikasi Sistem AWG Untuk Perhitungan *Crosstalk* Dengan Variasi Daya *Input*

Parameter	Nilai
Laser Diode (mW)	5, 7, 9, 10, 11, 13
Jumlah panjang gelombang (M)	12
Jumlah kanal (N)	12
Rasio peredaman (R_{gate})	-46,6 dB
Faktor transmisi filter (T_f)	-90 dB
Crosstalk gate (X_{gate})	-0,1 mW

Berdasarkan persamaan tersebut, maka *crosstalk* pada daya input 100mW adalah sebesar :

$$P_{out} = 0{,}005 + 0{,}005\{-10^{-4}[(12-1).0{,}1+0{,}1]\} + 0{,}005\{(12-1).10^{-4{,}66}[1+(-10^{-4}).2.0{,}005] + (12-1).10^{-9}[1+(-10^{-4}).2.0{,}005] + (12-1).(12-1)^2.10^{-9}.10^{-4{,}66}\} - 2.\sqrt{0{,}005}.\sqrt{0{,}005}\{(12-1).\sqrt{10^{-4{,}66}} + (12-1).\sqrt{10^{-9}} + (12-1).(12-1).\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}}\} - 2.0{,}005\{(12-1).(12-1).\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}} + (12-1)^2(12-1).10^{-4{,}66}\sqrt{10^{-9}} + (12-1)(12-1)^2.\sqrt{10^{-4{,}66}}.\sqrt{10^{-9}}\} - 2.0{,}1.\{10^{-4{,}66}(1) + 10^{-9}(1) + 10^{-4{,}66}10^{-9}(1)$$ =0,00045 Watt

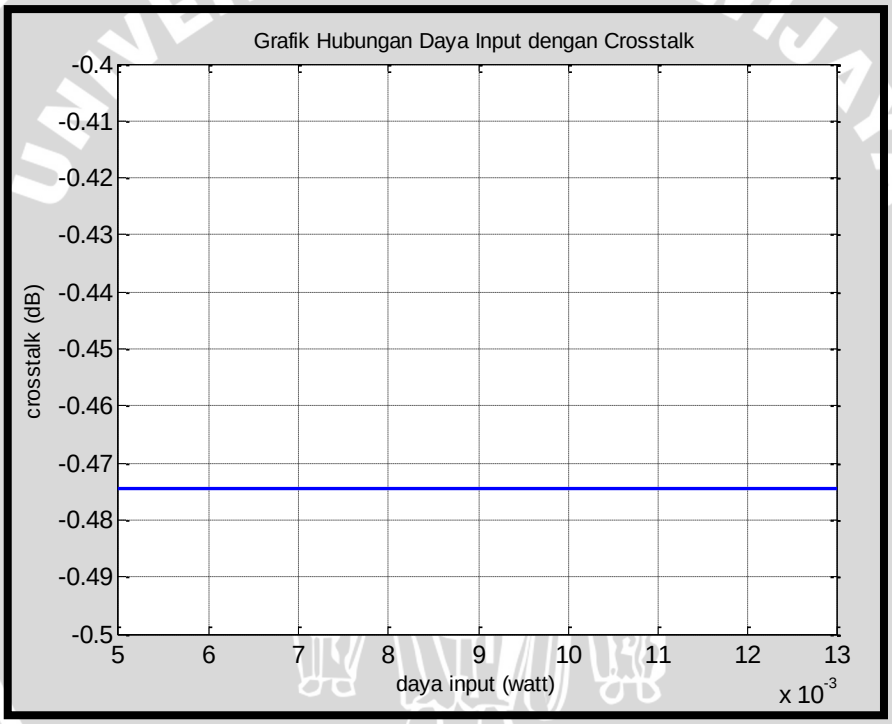
Crosstalk yang dihasilkan adalah sebesar :

$$Crosstalk(dB) = 10\log(\frac{0{,}0045}{0{,}005}) = -0{,}4744dB$$

Perhitungan *crosstalk* pada variasi daya *input* dengan menggunakan cara yang sama ditunjukkan pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan *Crosstalk* Terhadap Daya *Input*

No.	Daya Input (Watt)	Daya Keluaran (Watt)	*Crosstalk* (dB)
1.	0,005	0,0045	-0,4744
2.	0,007	0,0063	-0,4744
3.	0,009	0,0081	-0,4744
4.	0,01	0,009	-0,4744
5.	0,011	0,0099	-0,4744
6.	0,013	0,0117	-0,4744



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Antara *Crosstalk* Dengan Daya *Input*

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Berdasarkan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa kenaikan daya *input* tidak mengakibatkan kenaikan *crosstalk.* Sehingga dapat disimpulkan bahwa daya *input* suatu sistem tidak mempengaruhi besarnya *crosstalk.* Semakin besar nilai daya *input* yang digunakan tidak akan mempengaruhi besarnya *crosstalk,* karena *crosstalk* dipengaruhi oleh jumlah kanal dan jumlah panjang gelombang. Daya *input* tidak mempengaruhi besarnya *crosstalk* karena berdasarkan persamaan

matematis, daya *input* yang digunakan memiliki nilai yang kecil, sehingga tidak mempengaruhi parameter lain yang diamati.

Gambar 4.14 sampai dengan gambar 4.16 menunjukan pengaruh beberapa parameter terhadap konsekuensi penerapan AWG dalam sistem komunikasi serat optik. Besarnya *crosstalk* yang terjadi pada AWG didasarkan pada kombinasi jumlah kanal, dan kombinasi jumlah panjang gelombang, sedangkan besarnya daya *input* yang diberikan kepada suatu sistem tidak mempengaruhi besarnya *crosstalk. Crosstalk* merupakan salah satu parameter kinerja dari AWG sebagai konsekuensi penerapannya dalam sistem transmisi. Dari perhitungan dan análisis tersebut AWG memiliki nilai *crosstalk* yang kecil, sehingga AWG adalah *passive optical device* yang mendukung sistem transmisi komunikasi serat optik, sehingga akan meningkatkan performa komunikasi serat optik pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM).

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin besar spasi kanal pada teknik DWDM yang digunakan, maka semakin besar pula nilai orde kisi difraksinya. Nilai orde kisi difraksi antara nilai 97 sampai dengan 19 dengan rentang frekuensi dari 50 GHz sampai dengan 250 GHz.
2. Seiring dengan penurunan orde kisi difraksi, maka jumlah kanal *input* dan *output wavelength* akan semakin meningkat. Meningkatnya jumlah kanal *input* dan *output wavelength*, maka akan semakin besar laju data yang dapat dilewatkan pada sistem transmisi serat optik.
3. Seiring dengan meningkatnya nilai orde kisi difraksi maka meningkat pula nilai selisih panjang *array waveguide*, dimana semakin besar nilai selisih panjang *array waveguide*, maka semakin kecil nilai *crosstalk* yang terjadi.
4. Hasil perbedaan panjang *array waveguide* pada sistem yang bersesuaian dalam AWG mengalami perubahan yang signifikan terhadap peningkatan nilai orde kisi difraksi dengan nilai yang kecil yaitu dari 55,88 μm sampai dengan 10,95 μm.
5. Kenaikan jumlah panjang gelombang yang masuk dalam suatu sistem, mengakibatkan kenaikan pada nilai *crosstalk* dari AWG, tetapi masih dengan nilai *crosstalk* yang kecil. Meningkatnya jumlah panjang gelombang dari 2 panjang gelombang sampai dengan 12 panjang gelombang, menghasilkan nilai *crosstalk* dengan rentang nilai -0,4710 dB sampai dengan -0,4744 dB
6. Kenaikan jumlah kanal pada sistem AWG mengakibatkan kenaikan pada nilai *crosstalk* dari AWG tersebut, sehingga jumlah kanal pada suatu sistem mempengaruhi besarnya nilai *crosstalk.* Meningkatnya jumlah

kanal 12 sampai dengan 41 pada spasi kanal 100 GHz, menghasilkan nilai *crosstalk* dengan rentang nilai -0,4744 dB sampai dengan -2,0367dB.

7. Dengan kombinasi daya *input* yang diberikan pada suatu sistem, tidak mempengaruhi besarnya nilai dari *crosstalk* yang terjadi. Hal ini dikarenakan *crosstalk* hanya dipengaruhi oleh jumlah kanal dan jumlah panjang gelombang yang masuk dalam sistem. Perubahan daya *input* laser yang digunakan dengan nilai 5, 7, 9, 10, 11, 13 mW tidak menghasilkan perubahan nilai *crosstalk* yaitu -0,4744 dB.
8. *Array Waveguide Grating* adalah suatu *passive optical device* yang memiliki banyak fungsi, dengan ukuran yang kecil, dan memiliki nilai *crosstalk* yang rendah, sehingga penerapan *Array Waveguide Grating* dalam suatu sistem komunikasi serat optik mampu meningkatkan performansi dari kinerja serat optik.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Merancang sebuah sistem AWG yang baik melalui analisis perhitungan maupun simulasi berdasarkan parameter-parameter yang ada.
2. Menganalisis penerapan AWG pada teknik lain yaitu CWDM untuk membandingkan keunggulan dari kinerja sistem DWDM.
3. Menganalisis penerapan AWG untuk aplikasi sistem yang lain yaitu OCDMA (*Optical Code Division Multiple Access).*

DAFTAR PUSTAKA

A, Abd El–Naser., Mohammed, Ahmed Nabih Zaki Rashed and Abd El–Fattah A. Saad. 2009. *Estimated optimization parameters of arrayed waveguide grating (AWG) for C-band applications*. Egypt : Menoufia University.

Adam, Ismahati Binti. 2008. *An Optical Wavelength Multi/Demultiplexing (DWDM/CWDM) Based on Array Waveguide Grating (AWG) Technique*. Malaysia : Faculty of Electrical Engineering University Teknologi Malaysia

Adam, Ismahati., Moh. Haniff Ibrahim, Norazan Mohd Kazzim, Abu Bakar Muhammad, and Abu Sahmah. *Design of Arrayed Waveguide Grating (AWG) for DWDM/CWDM Applications Based on BCB Polymer*. Johor : School of Computer and Communication Engineering, Universiti Malaysia Perlis.

Adi Putra, Surawan. *Transmisi Data Menggunakan Teknologi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*. Jakarta : Departemen Teknik Elektro, Universitas Al Azhar Indonesia

Andika, Gilang., dkk. 2006. *Teknologi WDM pada serat optik.* Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Apollo Photonics. *APPS Apollo Application Note Array Waveguide Grating (AWG) Design, Simulation, and Layout.* Canada : Hamilton. Ontario

Bin Guo, Wen. 2001. *Parameter Optimization and Structural Design of Polymer Arrayed Waveguide Grating Multiplexer.* China : College of Chemistry

Dutta, Achyut K. 2002. WDM *Technologies : Active Optical Components.* California : Academic Press

Febrianto, Andreas Ardian. *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Salatiga : Program Studi Teknik Elektro.

Haroon, Hazura Binti. 2004. *Investigation of An Arrayed Waveguide Grating (AWG) as a device in Wavelength Division Multipleksing (WDM).* Malaysia : University Techonologi Malaysia.

Hu, Sai. 2002. *Design and Simulation of Novel Arrayed Waveguide Grating by Using the Method of Irregulary Sampled Zero Crossings.* Master of Science in Electrical and Computer Engineering.

He, Jun Wel Li. *Analysis of Non-adjacent Channel Crosstalk Level of AWG Based DWDM Components Induced by Random Phase Errors.* China

Kamei, Shin. 2005. *Crosstalk Reduction in Arrayed Waveguide Grating Multiplexer / Demultiplexer.* Jurnal of Lightwave Technology.

Ma, Andre Y. 2003. *Research Project : AWG Technology in DWDM System.*

Optical Society of America. 2002. *Fiber Optics Handbook.* USA : McGRAW HILL.

Pahl, Bishnu. 2006. *Guided Wave Optical Components and Devices.* USA : Elsevier. Inc.

Palmer, Christopher. *Diffraction Grating Handbook fifth edition.* New York : Richardson Grating Laboratory

Rahman, Anis Ph.D. 2001. *A Review of DWDM The Heart of Optical Networks.*

Sheng Ma, Chun. 2005. *Arrayed Waveguide Grating Multiplexer With Boxlike Spectral Response.* College of Electronic Science and Engineering State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics University. China

Sudarmilah, Endah. 2002. *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) sebagai Solusi Krisis Kapasitas Bandwidth pada Transmisi Data.* Jurnal Teknik Elektro Emitor

Toda, Hiroyuki., 2001. Tsukasa Yamashita, Kenichi Kitayama. 2001. *A Demultiplexing Scheme Using An Arrayed Waveguide Grating for A DWDM MM-Wave Fiber Radio System by Optical Frequency Interleaving.* Japan : Osaka University.Anonymous. 2010.

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Listing* Program Matlab Menghitung Orde Kisi Difraksi

```
%Calculate Data
format short
F=[50*10^9:25*10^9:250*10^9]      %spasi kanal
c=3*10^8                          %kecepatan cahaya
lamda=1.50918*10^-6               %panjang gelombang pusat
Vc=c/lamda                        %frekuensi koresponden
DeltaVc=40.*F(1:9)                %frekuensi FSR
m=Vc./DeltaVc(1:9)                %orde kisi difraksi
plot(F,m)
ylabel('orde kisi difraksi')
xlabel('spasi kanal (GHz)')
grid on
```

Lampiran 2 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 0,4 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=0.4*10^-9              %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 3 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 0,6 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=0.6*10^-9              %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 4 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 0,8 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=0.8*10^-9              %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 5 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=1*10^-9                %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 6 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1,2 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=1.2*10^-9              %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 7 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1,4 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=1.4*10^-9              %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 8 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1,6 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=1.6*10^-9              %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 9 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 1.8 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=1.8*10^-9              %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 10 *Listing* Program Matlab Menghitung Jumlah Kanal *Input* dan *Output wavelength* pada spasi kanal 2 nm

```
%Calculate Data
nc=2.692                          %indeks bias array
ng=4.5                            %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6             %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]    %orde kisi difraksi
deltalamda=2*10^-9                %spasi panjang gelombang
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal.*m(1:9)
N=a./b                            %jumlah kanal
plot(m,N)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 11 *Listing* Program Matlab Menghitung Rekapitulasi Jumlah Kanal *Input* dan *Output Wavelength*

```
%Calculate Data
nc=2.692                                %indeks bias array
ng=4.5                                  %indeks bias group
lamdac=1.550918*10^-6                   %panjang gelombang pusat
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19]          %orde kisi difraksi
deltalamda1=0.4*10^-9                   %spasi panjang gelombang
deltalamda2=0.6*10^-9
deltalamda3=0.8*10^-9
deltalamda4=1*10^-9
deltalamda5=1.2*10^-9
deltalamda6=1.4*10^-9
deltalamda7=1.6*10^-9
deltalamda8=1.8*10^-9
deltalamda9=2*10^-9
a=nc*lamdac
b=ng*spasikanal1.*m(1:9)
b1=ng*spasikanal1.*m(1:9)
b2=ng*spasikanal2.*m(1:9)
b3=ng*spasikanal3.*m(1:9)
b4=ng*spasikanal4.*m(1:9)
b5=ng*spasikanal5.*m(1:9)
b6=ng*spasikanal6.*m(1:9)
b7=ng*spasikanal7.*m(1:9)
b8=ng*spasikanal8.*m(1:9)
b9=ng*spasikanal9.*m(1:9)
N=a./b1                                 %jumlah kanal
N1=a./b1
N2=a./b2
N3=a./b3
N4=a./b4
N5=a./b5
N6=a./b6
N7=a./b7
N8=a./b8
```

```
N9=a./b9
plot(m,N1,m,N2,m,N3, m,N4,m,N5,m,N6,m,N7,m,N8,m,N9)
xlabel('maksimum jumlah kanal
ylabel('orde kisi difraksi')
grid on
```

Lampiran 12 *Listing* Program Matlab Menghitung Selisih Panjang *Array*

```
%Calculate Data
lamdac=1.550918*10^-6          %panjang gelombang pusat
nc=2.692                       %indeks bias array
m=[97 64 48 39 32 28 24 21 19] %orde kisi difraksi
a=lamdac.*m(1:9)
L=a./nc                        %selisih panjang array
plot(m,L)
xlabel('orde kisi difraksi')
ylabel('selisih panjang array waveguide')
grid on
```

Lampiran 13 *Listing* Program Matlab Menghitung *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Panjang Gelombang

```
%Calculate Data
pin=0.01                       %daya input laser
m=[0,2,4,6,8,10,12]            %jumlah panjang gelombang
rg=10^-4.66                    %rasio peredaman
xg=-10^-4                      %crosstalk gate
n=12                           %jumlah kanal
tf=10^-9                       %faktor transmisi filter
m1=(m-1)
m2=(m-2).^2
a1=m1*pin
a2=a1+pin
a3=xg*a2
a4=pin*a3
A=pin+a4
b1=xg*pin.*m
b2=1+b1
```

```
b3=(n-1)*rg
b4=b3*b2
b5=(n-1)*tf*rg
b6=m2*b5
b7=b5+b6
B=pin*b7
c1=(2*sqrt(pin)*sqrt(pin))
c2=(n-1)*sqrt(rg)
c3=m1*sqrt(tf)
c4=(n-1)*m1*sqrt(rg)*sqrt(tf)
c5=c2+c3+c4
C=c1*c5
d1=2*pin
d2=(n-1)*m1*sqrt(rg)*sqrt(tf)
d3=((n-1)^2*m1*rg*sqrt(tf))
d4=(n-1)*m2*sqrt(rg)*tf
d5=d2+d3+d4
D=d1*d5
e1=2*pin
e2=(rg+tf+(rg*tf))
E=e1*e2
pout=A+B-C-D-E                    %daya keluaran sistem
crosstalk=10*log10(pout/pin)      %crosstalk
plot(m,crosstalk)
xlabel('jumlah panjang gelombang')
ylabel('crosstalk (dB)')
grid on
```

Lampiran 14 *Listing* Program Matlab Menghitung *Crosstalk* Dengan Variasi Jumlah Kanal

```
%Calculate Data
pin=0.01                          %daya input laser
m=12                              %jumlah panjang gelombang
n=[12 18 24 30 36 41]             %jumlah kanal
rg=10^-4.66                       %rasio peredaman
tf=10^-9                          %faktor transmisi filter
```

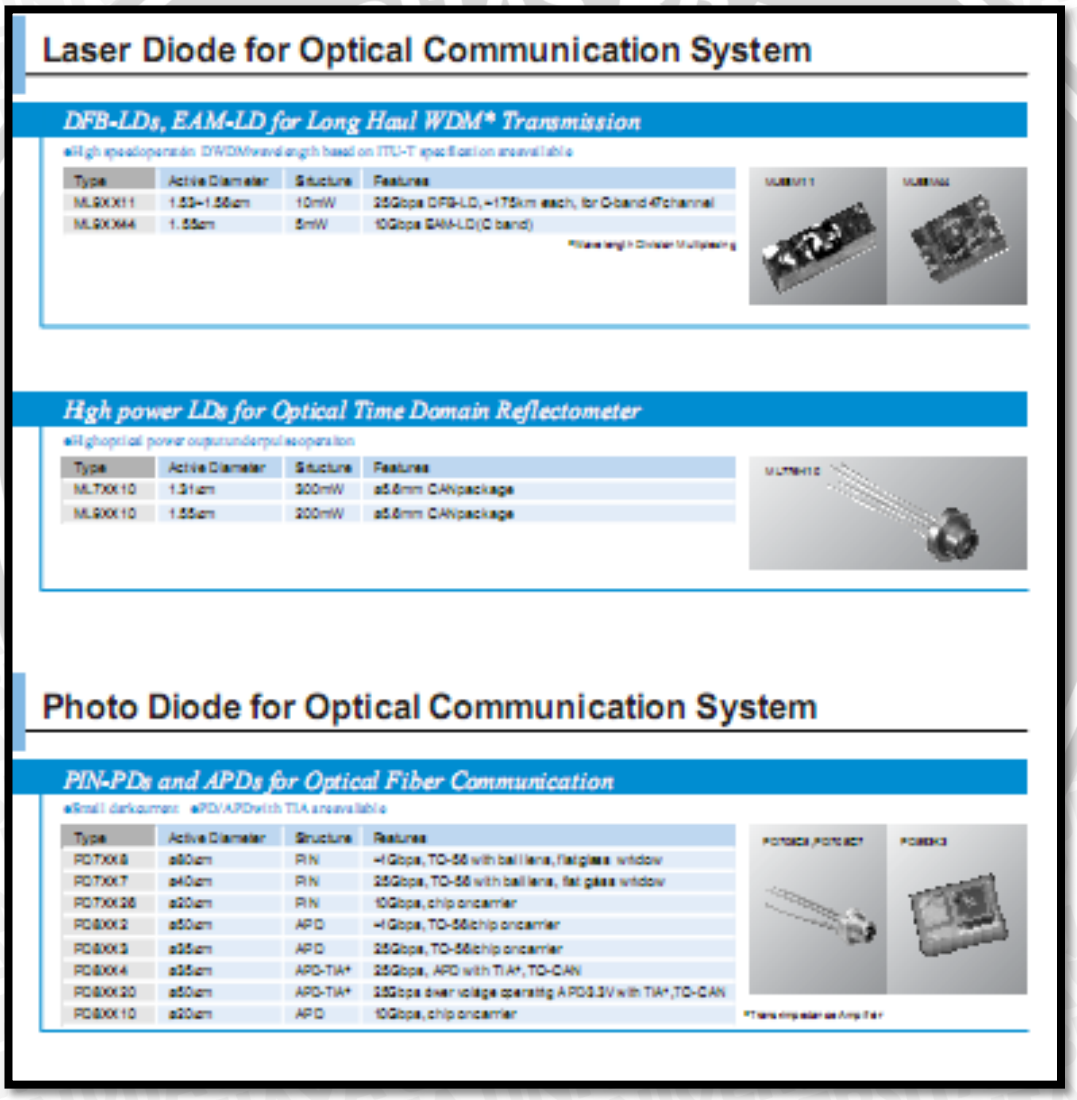
```
xg=-10^-4                          %crosstalk gate
n1=n-1
n2=(n-1).^2
a1=pin*(xg*(((m-1)*pin)+pin));
A=pin+a1
b1=n1*rg
b2=1+(xg*m*pin)
b3=b1*b2
b4=n1*((m-1)^2)*tf*rg
b5=b3+b4
B=pin*b5
c1=(2*sqrt(pin)*sqrt(pin))
c2=(n1).*sqrt(rg)
c3=(m-1)*sqrt(tf)
c4=(n1).*(m-1)*sqrt(rg)*sqrt(tf)
c5=c2+c3+c4
C=c1*c5
d1=2*pin
d2=(n1)*(m-1)*sqrt(rg)*sqrt(tf)
d3=((n2).*(m-1)*rg*sqrt(tf))
d4=(n1).*((m-1)^2)*sqrt(rg)*tf
d5=d2+d3+d4
D=d1*d5
e1=2*pin
e2=(rg+tf+(rg*tf))
E=e1*e2
pout=A+B-C-D-E                     %daya keluaran sistem
crosstalkdb=10*log10(pout/pin)     %crosstalk
plot(n,crosstalkdb)
xlabel('jumlah kanal')
ylabel('crosstalk (dB)')
grid on
```

Lampiran 15 *Listing* Program Matlab Menghitung *Crosstalk* Dengan Variasi Daya *Input*

```
%Calculate Data
pin=[0.005,0.007,0.01,0.11,0.13] %daya input laser
m=12                             %jumlah panjang gelombang
n=12                             %jumlah kanal
rg=10^-4.66                      %rasio peredaman
tf=10^-9                         %faktor transmisi filter
xg=-10^-4                        %crosstalk gate
a1=(m-1).*pin
a2=a1+pin
a3=xg*a2
a4=pin.*a3
A=pin+a4
b1=xg*m.*pin
b2=1+b1
b3=(n-1)*rg
b4=b3*b2
b5=(n-1)*((m-1)^2)*tf*rg
b6=b5+b4
b7=b4+b6
B=pin.*b6
c1=(2.*sqrt(pin).*sqrt(pin))
c2=(n-1)*sqrt(rg)
c3=(m-1)*sqrt(tf)
c4=(n-1)*(m-1)*sqrt(rg)*sqrt(tf)
c5=c2+c3+c4
C=c1*c5
d1=2.*pin
d2=(n-1)*(m-1)*sqrt(rg)*sqrt(tf)
d3=(((n-1)^2)*(m-1)*rg*sqrt(tf))
d4=(n-1)*((m-1)^2)*sqrt(rg)*tf
d5=d2+d3+d4
D=d1*d5
e1=2.*pin
e2=(rg+tf+(rg*tf))
```

```
E=e1.*e2
pout=A+B-C-D-E                    %daya keluaran sistem
crosstalkdb=10*log10(pout./pin)   %crosstalk
plot(pin,crosstalkdb)
xlabel('daya input (watt)')
ylabel('crosstalk (dB)')
grid on
```

Lampiran 16 Spesifikasi Laser DWDM



Laser Diode for Optical Communication System

DFB-LDs, EAM-LD for Long Haul WDM* Transmission

Type	Active Diameter	Structure	Features
MLXXX11	1.53~1.56um	10mW	2.5Gbps DFB-LD, ~175km each, for C-band 4Tchannel
MLXXX44	1.55um	5mW	10Gbps EAM-LD(C band)

High power LDs for Optical Time Domain Reflectometer

Type	Active Diameter	Structure	Features
MLTXX10	1.31um	300mW	ø5.6mm CANpackage
MLWXX10	1.55um	200mW	ø5.6mm CANpackage

Photo Diode for Optical Communication System

PIN-PDs and APDs for Optical Fiber Communication

Type	Active Diameter	Structure	Features
PDTXX6	ø80um	PIN	~1Gbps, TO-56 with ball lens, flat glass window
PDTXX7	ø40um	PIN	2.5Gbps, TO-56 with ball lens, flat glass window
PDTXX26	ø20um	PIN	10Gbps, chip on carrier
PDWXX2	ø80um	APD	~1Gbps, TO-56 chip on carrier
PDWXX3	ø35um	APD	2.5Gbps, TO-56 chip on carrier
PDWXX4	ø35um	APD-TIA*	2.5Gbps, APD with TIA*, TO-CAN
PDWXX20	ø50um	APD-TIA*	2.5Gbps over voltage operating APD3.3V with TIA*,TO-CAN
PDWXX10	ø20um	APD	10Gbps, chip on carrier

Lampiran 17 Daftar Permintaan Revisi Penguji

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

JL. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp/Fax +62341551430

DAFTAR REVISI SKRIPSI

TANGGAL : 20 Maret 2012

NAMA : Olivia Elsa A.

NIM : 0810630082

No.	BAB / HALAMAN	REVISI / TAMBAHAN
1.		Tidak Ada Revisi

Mengetahui,
Dosen Pembimbing,

Dosen Penguji,

1. DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS

Erfan A. Dahlan, Ir., M.T

2. Ali Mustofa, ST., MT

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

JL. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp/Fax +62341551430

DAFTAR REVISI SKRIPSI

TANGGAL : 20 Maret 2012

NAMA : Olivia Elsa A.

NIM : 0810630082

No.	BAB / HALAMAN	REVISI / TAMBAHAN
1.		Tidak Ada Revisi

Mengetahui,
Dosen Pembimbing,

1. DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS

2. Ali Mustofa, ST., MT

Dosen Penguji,

Sigit Kusmaryanto, Ir., M.Eng

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

JL. Mayjen Haryono 167 Malang 65145 Telp/Fax +62341551430

DAFTAR REVISI SKRIPSI

TANGGAL : 20 Maret 2012

NAMA : Olivia Elsa A.

NIM : 0810630082

No.	BAB / HALAMAN	REVISI / TAMBAHAN
1.		Tidak Ada Revisi

Mengetahui,
Dosen Pembimbing,

1. DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS

2. Ali Mustofa, ST., MT

Dosen Penguji,

Gaguk Asmungi, S.T., M.T

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA