



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PERENCANAAN SERAT OPTIK DWDM  
JALUR SEMARANG SOLO JOGYAKARTA  
DI PT.INDOSAT,Tbk**

**TUGAS AKHIR**

**Maya Armys Roma Sitorus  
0706199602**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA EKSTENSI  
DEPOK  
JUNI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PERENCANAAN SERAT OPTIK DWDM  
JALUR SEMARANG SOLO JOGYAKARTA  
DI PT.INDOSAT,Tbk**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**Maya Armys Roma Sitorus**

**0706199602**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2009**

## **PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri  
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Maya Armys Roma Sitorus  
NPM : 0706199602**

**Tanda Tangan :  
Tanggal : 30 Juni 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :  
Nama : Maya Armys Roma Sitorus  
NPM : Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Analisis Perencanaan Serat Optik DWDM  
Jalur Semarang Solo Yogyakarta di  
PT.INDOSAT,Tbk

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir Rochmah N Sukardi Ny Msc  
NIP. 130 536625 (.....)

Penguji : Budi Sudiarto ST,MT  
NIP. 0407050181 (.....)

Penguji : Arief Udhiarto ST,MT  
NIP. 0400500032 (.....)

Ditetapkan di : Ruang Multimedia B DTE  
Universitas Indonesia Depok

Hari / Tanggal : Selasa, 30 Juni 2009

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, atas berkat dan kasih karunia yang diberikan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari sepenuhnya bahwa saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan bantuan dan bimbingan serta doa dari banyak pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ny. Rochmah Sukardi Msc.Eng, selaku pembimbing yang telah memberikan banyak waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tugas akhir ini.
- (2) Bapak Marsselinus sebagai rekan yang banyak membantu saya, manager dan rekan – rekan saya yang sudah mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan material dan moril

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Kuasa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang membantu saya. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu.

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maya Armys Roma Sitorus

NPM : 0706199602

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberika kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-Exclusive Royalti-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Analisis Perencanaan Serat Optik DWDM jalur Semarang – Solo –  
Jogyakarta di PT.INDOSAT,Tbk**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Juni 2009

Yang menyatakan

**(Maya Armys Roma Sitorus)**

## ABSTRAK

Nama : Maya Armys Roma Sitorus  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Analisis Perencanaan Serat Optik DWDM  
Jalur Semarang – Solo – Yogyakarta di PT. INDOSAT

Beragamnya layanan informasi semakin menuntut kehandalan jaringan yang memadai, dan persaingan antar pemberi layanan telekomunikasi yang semakin ketat berakibat pada meningkatnya tuntutan sistem transmisi yang memiliki kapasitas *bandwidth* besar dan kualitas yang tinggi. Oleh sebab itu, PT INDOSAT, Tbk sebagai salah satu penyedia jasa layanan telekomunikasi di Indonesia telah merumuskan beberapa kebijakan. Salah satunya dengan merencanakan pembangunan serat optik DWDM untuk jalur Semarang – Solo – Yogyakarta. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan perencanaan jaringan serat optik DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexer*) yang menghubungkan kota Semarang - Solo – Yogyakarta. Parameter yang digunakan pada perencanaan ini meliputi redaman sambungan *splice*, redaman konektor dan redaman serat optik. Perhitungan *power link budget* dan *rise time budget* digunakan untuk menentukan apakah perencanaan yang dilakukan sudah memenuhi kriteria dan layak diimplementasikan di lapangan. Hasil perhitungan BER menunjukkan kualitas sistem transmisi. Hasil pengukuran OTDR menunjukkan apakah redaman yang terjadi di sepanjang jalur perencanaan memenuhi redaman di perencanaan. Hasil yang didapat dalam proses perhitungan menunjukkan bahwa perencanaan ini tidak menggunakan penguat karena jarak jangkauan maksimum tanpa penguat 174.7 km, dimana jarak perencanaan terjauh 115 km. Nilai *rise time* jalur perencanaan lebih kecil dari nilai *rise time* sistem setelah ditambahkan DCM untuk setiap jalurnya.

Kata kunci: *power link budget*, *rise time budget*, *splice*, *dense wavelength division multiplexer*, DCM, BER.

## ABSTRACT

Name : Maya Armys Roma Sitorus  
Major : Electrical Engineering  
Title : Analysis Planning fiber optic DWDM for link Semarang Solo  
Jogyakarta at PT INDOSAT,Tbk

Multiple information service that need nowadays, demand the reliability of network more than enough, and competition of operator business is very tight, as the result, the demand of the transmission system to increase capacity, to enlarge bandwidth, and good quality is increasing. So, PT. Bakrie Telecom, Tbk on behalf of telecommunication operator in Indonesia have policy, one of it policy are build plan optical fiber network for link Semarang – Solo – Jogyakarta. This paper describes planning of DWDM network fiber optic link Semarang – Solo - Jogyakarta. For this planning, we use parameters that consist of splice loss, connector loss, fiber loss and amount of optical amplifier. Calculation power link budget and rise time budget used to determine whether the planning are appropriate and suitable to implementation it. Calculation BER udes to determine quality of transmission system. The result of Measurement OTDR determine whether the attenuation on link appropriate to attenuation of calculation. The result of calculation showed that this planning is not using amplifier because of power link budget can reach 174.7 kilometers of transmission distance without amplifier, whereas the longest distance of link planning is 115 kilometers. The value of rise time budget after added DCM for each link smaller than rise time budget system.

Keyword: : *power link budget, rise time budget, splice, dense wavelength division multiplexer, DCM, BER*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	viv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Ruang Lingkup.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TEORI DASAR OPTIK DAN DWDM.....	5
2.1 Serat Optik.....	5
2.1.1 Pengertian Serat Optik.....	5
2.1.2 Struktur Serat Optik.....	5
2.1.3 Konsep Dasar Sistem Transmisi Serat Optik.....	6
2.1.4 Jenis Serat Optik.....	7
2.1.4.1 Berdasarkan Indeks Bias Bahan.....	7
2.1.4.2 Berdasarkan Jumlah Mode yang Merambat.....	8
2.1.5 Karakteristik Serat Optik.....	9
2.1.5.1 <i>Numerical Apertur</i> .....	9
2.1.5.2 Redaman.....	10
2.1.5.3 <i>Optical Time Domain Reflector (OTDR)</i> .....	11
2.1.5.4 <i>Dispersi</i> .....	12
2.1.5.5 Rugi Penyambungan.....	13
2.1.5.5.1 <i>Splice</i> .....	13
2.1.5.5.2 Konektor.....	14
2.1.6 Sumber Cahaya.....	14
2.1.7 Detektor Optik.....	15
2.1.8 Kelebihan dan Kekurangan Transmisi Serat Optik.....	16
2.2 Parameter Unjuk Kerja Untuk Menganalisis Transmisi Serat Optik).....	17
2.2.1 Perhitungan Daya Sinyal.....	18
2.2.2 Perhitungan Jumlah <i>Splice</i> .....	19
2.2.3 Perhitungan <i>Rise Time Budget</i> .....	19
2.2.4 Perhitungan BER.....	20
2.2.5 <i>Line Coding</i> .....	20
2.2.5.1 Kode NRZ.....	20
2.2.5.2 Kode RZ.....	21
2.3 DWDM ( <i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i> ).....	22

2.3.1 Elemen Jaringan DWDM .....	24
2.3.2 Serat Optik <i>Singlemode</i> yang Mendukung DWDM.....	25
2.3.3 <i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i> (EDFA).....	26
2.3.4 <i>Synchronous Digital Hierarchy</i> (SDH).....	26
2.3.5 Topologi DWDM.....	27
2.3.5.1 <i>Point to Point</i> .....	27
2.3.5.2 <i>Ring</i> (Cincin).....	28
2.3.5.3 <i>Mesh</i> .....	29
2.3.6 Spasi Kanal pada DWDM.....	30
2.3.7 Kelebihan Teknologi DWDM.....	30
<b>BAB 3 PERENCANAAN SERAT OPTIK DWDM .....</b>	<b>32</b>
3.1 Topologi Jaringan Serat Optik.....	32
3.2 Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	32
3.3 Perencanaan Rute Kabel Serat Optik.....	34
3.4 Penentuan Kapasitas Kanal.....	35
3.4.1 Menggunakan perangkat <i>STM-16</i> .....	35
3.4.2 Menggunakan perangkat <i>STM-64</i> .....	36
3.5 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	36
3.6 <i>Rise Time Budget</i> .....	37
3.7 <i>Power Link Budget</i> .....	40
3.7.1 Perhitungan Jumlah Sambungan <i>Splice</i> .....	40
3.7.2 Perhitungan Jarak Maksimum tanpa Penguat.....	41
3.8 Perhitungan BER.....	42
3.9 Perencanaan Multiplekser.....	42
<b>BAB 4 ANALISIS PERENCANAAN SERAT OPTIK DWDM JALUR SEMARANG SOLO JOGYAKARTA.....</b>	<b>45</b>
4.1 Peta Perencanaan.....	45
4.2 <i>Rise Time Budget</i> .....	45
4.3 <i>Power Link Budget</i> .....	47
4.4 Jumlah Sambungan <i>Splice</i> dan Konektor.....	48
4.5 Analisis BER.....	48
4.6 Multiplekser.....	51
4.7 Analisa Data OTDR Semarang – Solo.....	52
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>53</b>
<b>DAFTAR REFERENSI</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema Fungsional DWDM.....	2
Gambar 2.1 Konstruksi Serat Optik.....	5
Gambar 2.2 Konfigurasi Sistem Transmisi Serat Optik.....	6
Gambar 2.3 Serat Optik <i>Step-Index</i> .....	7
Gambar 2.4 Serat Optik <i>Graded-Index</i> .....	7
Gambar 2.5 Perbandingan tipe serat optik dengan singlemode dan multimode step indeks dan multimode graded indeks.....	9
Gambar 2.6 Lintasan Cahaya dalam Serat Optik.....	10
Gambar 2.7 Perbandingan redaman terhadap panjang gelombang.....	11
Gambar 2.8 Prinsip kerja dari <i>Optical time domain reflectometer (OTDR)</i> ....	11
Gambar 2.9 Contoh dari sebuah pola NRZ-L.....	21
Gambar 2.10 Contoh format data RZ.....	22
Gambar 2.11 Konfigurasi sistem DWDM secara umum.....	23
Gambar 2.12 Karakteristik Redaman dan Dispersi Serat Optik.....	25
Gambar 2.13 Struktur Fisik EDFA.....	26
Gambar 2.14 Topologi Point to Point.....	28
Gambar 2.15 Topologi cincin.....	28
Gambar 2.16 Proteksi UPSR pada topologi cincin DWDM.....	29
Gambar 2.17 Topologi <i>Mesh</i> .....	29
Gambar 3.1 Topologi Jaringan Serat Optik DWDM Semarang Solo Yogyakarta	32
Gambar 3.2 Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	33
Gambar 3.3 Konfigurasi perangkat STM-16 untuk sistem SDH dengan DWDM	36
Gambar 3.4 Konfigurasi perangkat STM-64 untuk sistem SDH dengan DWDM	36
Gambar 4.1 Peta Perencanaan Jaringan serat optik DWDM jalur Semarang Solo Yogyakarta.....	45
Gambar 4.2 Grafik <i>Rise Time Budget</i> jalur perencanaan serat optik DWDM Semarang – Solo – Yogyakarta.....	46
Gambar 4.3 Grafik <i>Rise Time Budget</i> jalur perencanaan serat optik DWDM Semarang – Solo – Yogyakarta dengan menggunakan DCM.....	47
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan BER terhadap laju Bit.....	49
Gambar 4.5 Perbandingan nilai SNR terhadap laju bit.....	50
Gambar 4.6 Perbandingan BER nilai terhadap SNR.....	50
Gambar 4.7 Pengaruh Laju bit dan spasi kanal terhadap besar kapasitas multiplekser.....	52
Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran jumlah redaman untuk jalur Semarang Solo	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jarak Serat Optik.....	35
Tabel 3.2 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	37
Tabel 3.3 Konversi Spasi Frekuensi terhadap spasi lamda.....	43
Tabel 3.4 Pengaruh laju data dan spasi kanal terhadap kapasitas.....	44
Tabel 4.1 Jumlah sambungan <i>splice</i> dan jumlah konektor.....	48
Tabel 4.2 Perbandingan antara nilai laju bit terhadap BER dan SNR.....	49
Tabel 4.3 Pengaruh laju data dan spasi kanal terhadap kapasitas.....	51
Tabel 4.4 Perhitungan total redaman pada serat optik jalur Semarang Solo	52
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran OTDR untuk jalur Semarang Solo.....	53

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data detektor optik

Lampiran 2 Nominal frequency central DWDM



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

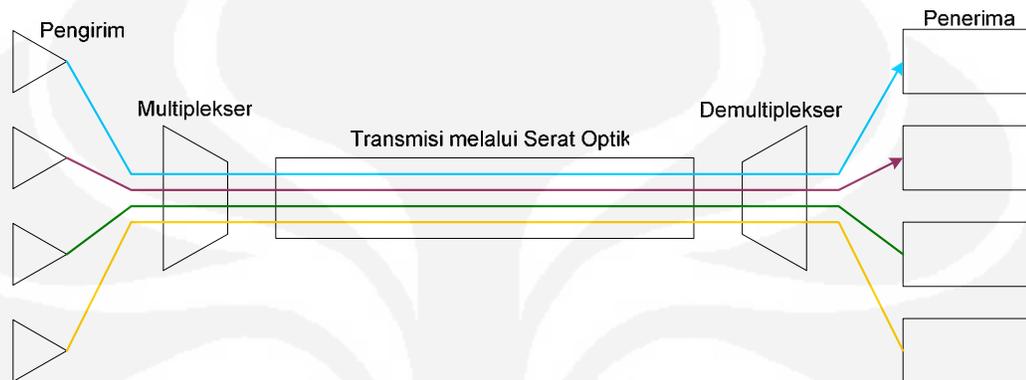
Maraknya transfer data dalam jumlah besar, seperti aplikasi multimedia, turut mendorong penggunaan teknologi serat optik sampai ke pengguna (*end user*). Aplikasi ini tentunya sangat membutuhkan media transmisi yang dapat diandalkan dari segi kualitas sinyal, waktu akses (*no delay*), keamanan data, daerah cakupan penerima yang luas, maupun harga jual yang kompetitif.

Kesemuanya itu sudah menjadi karakter suatu jaringan yang menggunakan serat optik sebagai media transmisinya. Teknologi transmisi melalui serat optik berkembang pesat. Kalau sebelumnya dengan mengadopsi teknologi *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH), data yang ditransmisikan melalui serat optik ini bisa dipacu mencapai 140 Mbs. Lalu, dengan teknologi *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH), kecepatan akses melalui serat optik bisa mencapai 155 Mbs hingga 10 Gbs. Teknologi transmisi yang terakhir adalah teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM), yang saat ini kecepatannya bisa dipacu hingga 1 Tbs atau 1.000 Gbs

Sebenarnya untuk menambah kecepatan transmisi, bisa dilakukan dengan menambah serat optik. Cara ini selain agak rumit juga relatif mahal. Cara lain yang jauh lebih ekonomis dan berorientasi ke masa depan adalah dengan menerapkan teknologi DWDM dengan memanfaatkan sistem SDH yang sudah ada (solusi terintegrasi) dengan memultiplekskan sumber-sumber sinyal yang ada.

Secara umum memang ada beberapa faktor yang menjadi landasan pemilihan teknologi DWDM ini, yaitu: menurunkan biaya instalasi awal, karena implementasi DWDM berarti kemungkinan besar tidak perlu menggelar serat optik baru. Menurut definisi teknologi DWDM merupakan suatu teknologi jaringan *transport* yang memiliki kemampuan untuk membawa sejumlah panjang gelombang (4, 8, 16, 32, dan seterusnya) dalam satu serat optik tunggal. Jumlah panjang gelombang yang saat ini sudah distandarkan secara lengkap oleh ITU-T adalah 16 panjang gelombang (rekomendasi ITU-T seri G.692). Teknologi DWDM beroperasi dalam sinyal dan domain optik dan memberikan fleksibilitas

yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan. Kemampuannya dalam hal ini diyakini banyak orang akan terus berkembang, yang ditandai dengan semakin banyaknya jumlah panjang gelombang yang mampu untuk ditransmisikan dalam satu serat (saat ini ada yang sudah mampu hingga sekitar 400 panjang gelombang).



**Gambar 1.1** Skema Fungsional DWDM

Dari gambar 1.1 diatas dapat dilihat sistem diatas memiliki beberapa fungsi utama yaitu:

1. Pembangkit sinyal : yang merupakan sumber, sebuah laser yang harus menghasilkan cahaya yang stabil dan spesifik, dengan bandwidth yang sempit untuk membawa data digital yang sudah dimodulasi menjadi sinyal analog.
2. Penggabung sinyal: DWDM menggunakan multiplexer untuk menggabungkan sinyal.
3. Saluran transmisi: Menggunakan 1 pasang serat optik
4. Pemisahan sinyal: pada penerima sinyal yang sudah di multipleks (digabung) harus dipisah dengan demultiplexer
5. Penerima Sinyal: sinyal yang sudah di demuks akan diterima oleh photodetector.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk menganalisis perencanaan DWDM untuk jaringan Backbone Semarang - Solo – Jogyakarta di PT INDOSAT.

### 1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup skripsi ini meliputi dari :

1. Mempelajari sekaligus menjelaskan tentang teknologi DWDM
2. Parameter-parameter pada DWDM yang dapat digunakan dalam perencanaan jaringan.
3. Perencanaan serat optik DWDM Semarang - Solo - Yogyakarta di PT INDOSAT

### 1.4 Pembatasan Masalah

Untuk memperjelas arah dan tujuan skripsi ini, maka permasalahan dibatasi pada pembahasan perencanaan serat optik DWDM Semarang - Solo - Yogyakarta saja dilihat dari parameter:

1. Jarak Transmisi, *Power Link Budget*, *Rise Time Budget*
2. Kualitas serat optik BER
3. Kapasitas Multiplexser
4. Hasil pengukuran OTDR

### 1.5 Sistematika Penulisan

Pembahasan tugas akhir ini disusun dalam lima bab sebagai berikut :

#### BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penulisan, tujuan penulisan, ruang lingkup dan batasan masalah, metoda penulisan dan sistematika penulisan.

#### BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini membahas dasar-dasar teori serat optik dan DWDM.

#### BAB III PERENCANAAN SERAT OPTIK DWDM

Pada bab ini membahas perencanaan DWDM pada jaringan serat optik PT INDOSAT untuk jalur Semarang – Solo - Yogyakarta dan parameter parameter yang digunakan.

#### BAB IV ANALISIS PERENCANAAN DWDM JALUR SEMARANG SOLO JOGYAKARTA

Pada bab ini membahas analisis perencanaan penggunaan DWDM pada jaringan serat optik PT INDOSAT untuk jalur Semarang – Solo - Yogyakarta.

## BAB V KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari penulisan tugas akhir ini.



## BAB 2

### TEORI DASAR OPTIK DAN DWDM

#### 2.1 Serat Optik

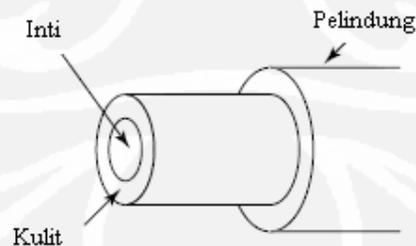
##### 2.1.1 Pengertian Serat Optik

Serat optik merupakan teknologi yang menggunakan serat kaca atau plastik untuk keperluan transmisi data. Kabel serat optik terdiri dari sekumpulan serat kaca, dimana masing-masing serat kaca tersebut dapat mentransmisikan sinyal yang telah dimodulasi ke dalam bentuk gelombang cahaya.

Prinsip komunikasi serat optik didasarkan bahwa cahaya dalam media kaca dapat membawa informasi lebih banyak dengan jarak yang lebih jauh dari pada menggunakan sinyal elektrik didalam kabel tembaga atau kabel koaksial. Kemurnian dari serat kaca, dikombinasikan dengan perkembangan sistem elektronik, menghasilkan serat optik yang dapat mentransmisikan sinyal cahaya *digital* lebih baik pada jarak lebih dari 100 km (60 mil) tanpa menggunakan penguat. Dengan sedikit *loss* transmisi, interferensi yang rendah, dan *bandwidth* yang lebar maka serat optik bisa disebut sebagai media transmisi yang hampir ideal.

##### 2.1.2 Struktur Serat Optik

Sebuah serat optik terdiri dari 3 bagian *core* (inti), *cladding* (kulit), dan *coating* (mantel) atau *buffer* (pelindung), terlihat pada gambar 2.1 berikut.

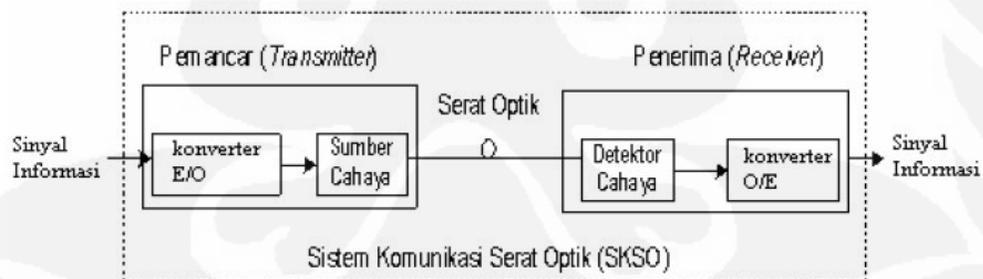


Gambar 2.1 Konstruksi Serat Optik [1]

*Core* (inti) adalah sebuah batang silinder terbuat dari bahan dielektrik (bahan Silika ( $\text{SiO}_2$ ), biasanya diberi doping dengan Germanium Oksida ( $\text{GeO}_2$ ) atau Fosfor Penta Oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Hal tersebut bertujuan menaikkan indeks bias dan tidak menghantarkan listrik. Inti memiliki jari-jari sekitar 8 – 200  $\mu\text{m}$  dan indeks bias ( $n_1$ ) besarnya sekitar 1,5. Inti diselubungi oleh lapisan material, disebut kulit, yang terbuat dari bahan dielektrik (Silika tanpa atau sedikit doping), kulit memiliki jari-jari sekitar 125 – 400  $\mu\text{m}$  indeks bias-nya  $n_2$  (*cladding*), besarnya sedikit lebih rendah dari  $n_1$  (*core*).

### 2.1.3 Konsep Dasar Sistem Transmisi Serat Optik

Prinsip dasar dari sistem komunikasi serat optik adalah pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya. Pemancar, kabel serat optik dan penerima merupakan komponen dasar yang digunakan dalam sistem komunikasi serat optik. Pemancar berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik, kabel serat optik berfungsi sebagai media transmisi dan penerima berfungsi mengubah sinyal optik yang diterima menjadi sinyal listrik kembali. Proses pengiriman informasi yang melalui serat optik menggunakan prinsip pemantulan sinyal optik yang berupa cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Secara umum, konfigurasi sistem transmisi serat optik ditunjukkan seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini.



**Gambar 2.2** Konfigurasi Sistem Transmisi Serat Optik [1]

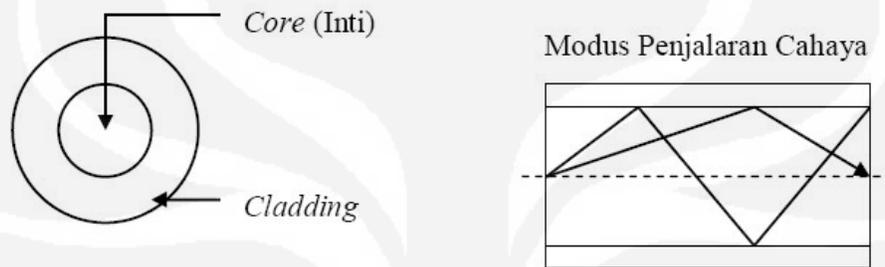
Selama perambatannya dalam serat optik, gelombang cahaya akan mengalami redaman di sepanjang serat dan pada titik persambungan serat optik. Oleh karena itu, untuk transmisi jarak jauh diperlukan adanya penguat yang berfungsi untuk memperkuat gelombang cahaya yang mengalami redaman.

## 2.1.4 Jenis Serat Optik

### 2.1.4.1 Berdasarkan Indeks Bias Bahan

#### a. Serat S.I (*Step-Index*)

Serat *step-index* memiliki karakteristik indeks bias inti yang tetap dan juga memiliki indeks bias yang konstan. Karakteristik serat optik *step-index* ditunjukkan seperti Gambar 2.3 dibawah ini.

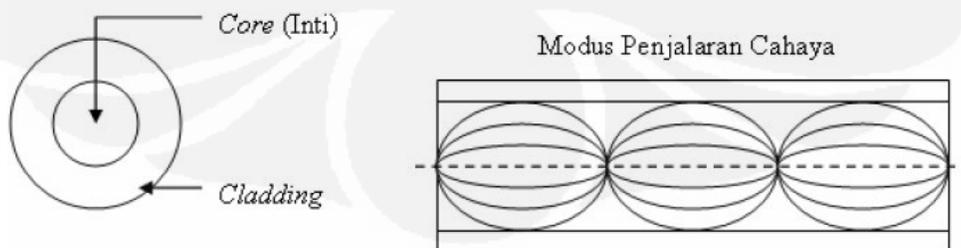


**Gambar 2.3** Serat Optik *Step-Index*[2]

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 sinyal datang yang mengalami pemantulan beberapa kali dibandingkan dengan sinyal yang merambat lurus tanpa mengalami pemantulan.

#### b. Serat G.I (*Graded-Index*)

Inti serat *graded-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 2.4 dibawah ini menunjukkan karakteristik serat optik *graded - index*.



**Gambar 2.4** Serat Optik *Graded-Index*[2]

#### 2.1.4.2 Berdasarkan Jumlah Mode yang Merambat

Jika dilihat dari jumlah mode yang merambat dalam serat, dikenal dua macam serat optik, yaitu :

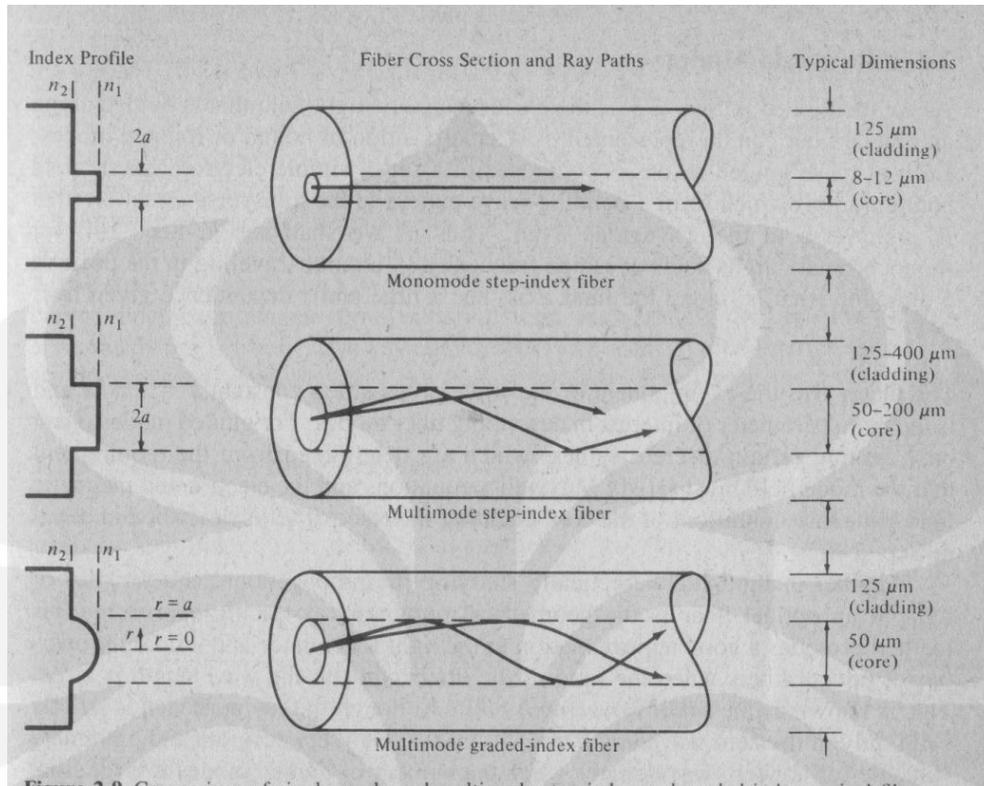
##### a. Serat Optik *Singlemode* (*Monomode*)

Serat *singlemode* merupakan jenis khusus serat *step-index* yang memiliki ukuran inti (*core*) antara 2 – 10  $\mu\text{m}$  dan perbedaan indeks bias reaktif antara inti dengan selubung kecil sehingga hanya sebuah energi cahaya *singlemode* 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 *singlemode* mengalami penyebaran dan penyerapan cahaya lebih sedikit. Oleh karena itu, serat jenis ini memiliki redaman yang sangat kecil dan lebar pita frekuensi besar dan kecepatan tinggi. Dengan kelebihan tersebut, serat optik *singlemode* banyak digunakan untuk aplikasi jarak jauh dan mampu menyalurkan data kapasitas besar dengan bit rate yang tinggi.

##### b. Serat Optik *Multimode*

Serat optik *multimode* merupakan jenis serat yang memiliki jumlah mode lebih dari satu yang merambat pada panjang gelombang pengoperasian sistem. Umumnya, serat *multimode* dengan jumlah mode mulai dari dua mode sampai dengan ratusan mode, digunakan untuk aplikasi komersial tertentu. Meskipun tidak memiliki kapasitas pengangkutan informasi yang besar, serat *multimode* 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 *multimode* bisa menggunakan sumber cahaya yang lebih murah seperti *LED*.

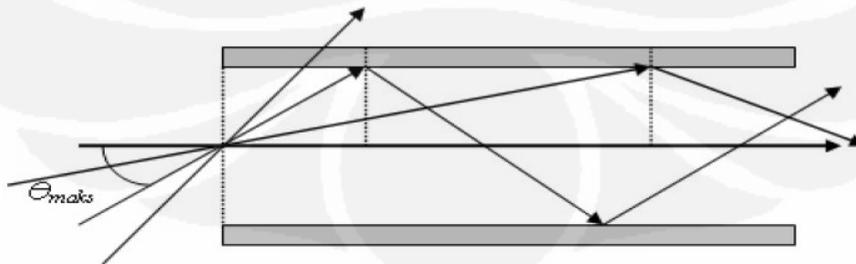


**Gambar 2.5** Perbandingan tipe serat optik dengan singlemode dan multimode step indeks dan multimode graded indeks.[1]

## 2.1.5 Karakteristik Serat Optik

### 2.1.5.1 Numerical Aperture (NA)

*Numerical Aperture* merupakan parameter yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimum dimana berkas cahaya masih bisa diterima dan merambat didalam inti serat. Sudut penerimaan ini dapat beraneka macam tergantung kepada karakteristik indeks bias inti dan selubung serat optik. Gambar 2.6 dibawah ini menunjukkan lintasan cahaya dalam serat optik.



**Gambar 2.6** Lintasan Cahaya dalam Serat Optik [1]

Jika sudut datang berkas cahaya lebih besar dari NA atau sudut kritis 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. Besarnya *Numerical Aperture (NA)* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$NA = \sin \theta_{maks} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = n_1 \sqrt{2\Delta} \dots\dots\dots(2.1)$$

$n_1$  = Indeks bias inti

$n_2$  = Indeks bias *cladding*

$\Delta$  = beda indeks bias relatif

### 2.1.5.2 Redaman

Redaman serat optik merupakan karakteristik penting yang harus diperhatikan mengingat kaitannya dalam menentukan jarak penguat, jenis pemancar dan jenis penerima optik yang harus digunakan.

Redaman sinyal didefinisikan sebagai perbandingan antara daya *output* optik ( $P_{out}$ ) dengan panjang  $L$  terhadap daya *input* optik ( $P_{in}$ ) seperti yang diberikan oleh persamaan 2.2. Simbol  $\alpha$  digunakan untuk menyatakan *attenuasi* dengan satuan *decibel* per kilometer

$$\alpha = 10 \log \frac{P_{in} / P_{out}}{L} \text{ dB/km} \dots\dots\dots(2.2)$$

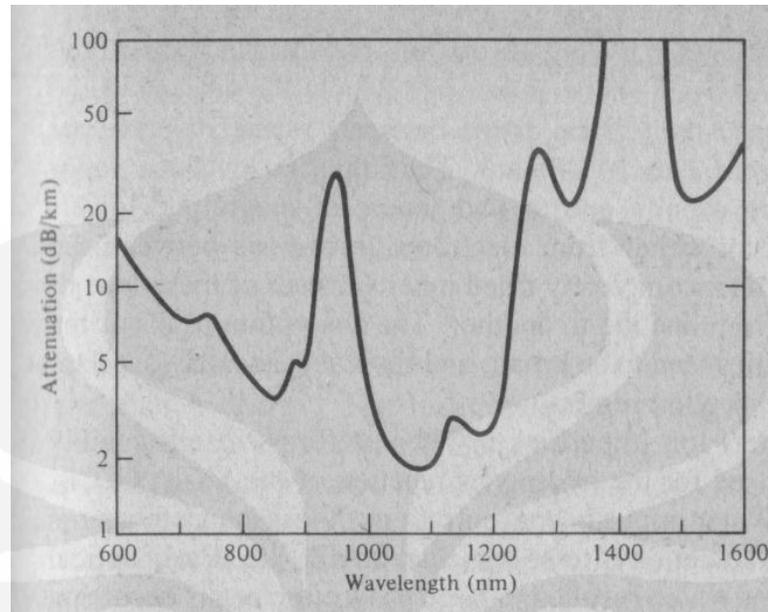
dimana :

$L$  = Panjang serat optik (km)

$P_{in}$  = Daya yang masuk ke dalam serat

$P_{out}$  = Daya yang keluar dari serat

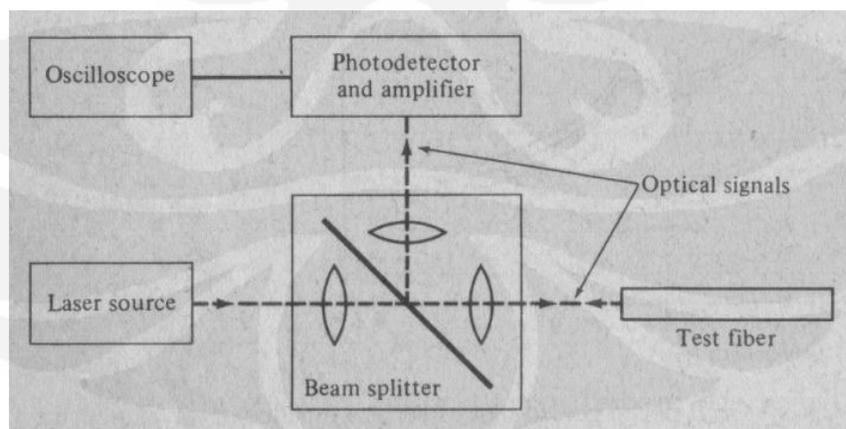
Redaman serat biasanya disebabkan oleh adanya penyerapan (*absorpsi*) energi sinyal oleh bahan, efek penghamburan (*scattering*) dan pengaruh pembengkokan (*bending*) kabel serat optik. Semakin besar jumlah redaman maka akan semakin sedikit cahaya yang dapat mencapai detektor, sehingga akan semakin dekat jarak antara penguat sinyal optik.



**Gambar 2.7** Perbandingan redaman terhadap panjang gelombang [1]

### 2.1.5.3 *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)*

Salah satu cara untuk mengukur redaman dalam serat *multimode* adalah dengan menggunakan *optical domain reflectometer* (OTDR). Pengukuran *optical time domain reflectometer* (OTDR) tidak merusak kabel serat dan hanya membutuhkan akses terhadap salah satu ujung dari serat. Sebagai tambahan metode OTDR memberikan informasi mengenai variasi *attenuasi* berdasarkan panjang, yang mana tidak dapat diberikan oleh metode pengukuran lainnya. Metode dasar dari OTDR digambarkan pada gambar 2.8



**Gambar 2.8** Prinsip kerja dari *Optical time domain reflectometer* (OTDR) [1]

OTDR merupakan suatu radar optik. Radar tersebut beroperasi dengan cara mengirimkan pulsa-pulsa laser secara periodik ke ujung dari serat yang akan dites dengan menggunakan *coupler* atau *splitter*. Parameter dari serat optik dinyatakan dengan menganalisa besaran dan karakteristik temporal dari bentuk gelombang *back-scattered*.

#### 2.1.5.4 Dispersi

Peristiwa dispersi serat optik disebabkan oleh melebarnya pulsa yang dipancarkan dan merambat sepanjang serat optik. Pulsa yang melebar akan saling menumpuk, sehingga menjadi tidak bisa dibedakan pada input penerima. Efek ini dikenal dengan *Inter Symbol Interference (ISI)*. Dispersi sinyal akan membatasi lebar pita (*bandwidth*) maksimum yang dapat dicapai agar masing-masing simbol masih dapat dibedakan. Dalam serat optik terdapat dua macam dispersi yaitu :

##### a. Dispersi *intermodal*

Dispersi *intermodal* adalah pelebaran pulsa sebagai akibat dari perbedaan *delay propagasi* antara satu *mode* dengan *mode* penjalaran lainnya. Setiap *mode* menempuh jalur yang berbeda-beda, ada yang merambat sejajar sumbu inti, ada pula yang memantul sepanjang inti, sehingga jarak yang ditempuh oleh tiap *mode* akan berbeda-beda. Karena kecepatan tiap *mode* sama, maka tiap *mode* akan mempunyai waktu tempuh yang berbeda.

##### b. Dispersi *intramodal*

Dispersi *intramodal* sering juga disebut dispersi kromatik (*chromatic*). Dispersi kromatik adalah dispersi cahaya yang disebabkan beragamnya panjang gelombang cahaya dalam spektrum sumber, yang berjalan didalam serat optik sehingga menyebabkan cahaya-cahaya tersebut akan tiba pada waktu yang berbeda dikarenakan oleh setiap cahaya memiliki kecepatan rambat yang berbeda-beda tergantung panjang gelombangnya.

Bila didalam serat optik *singlemode* terdapat sebuah cahaya dengan panjang gelombang operasi lebih besar daripada panjang gelombang *cutoff*-nya ( $\lambda_c$ ), berarti hanya satu mode saja yang dapat melakukan propagasi, dalam keadaan seperti itu hanya *chromatic dispersion* yang menjadi masalah besar dalam membatasi besarnya informasi yang dapat dikirimkan di dalam serat optik

*singlemode*. Dispersi kromatik tergantung pada lebar spektrum panjang gelombang dari sumber cahaya dan rentang jarak yang ditempuh, oleh karena itu dispersi dinyatakan dalam picoseconds per nanometer-kilometer (ps/nm.km). Bila serat optik beroperasi pada titik 'dispersi nol', yang mana hal ini terjadi pada panjang gelombang sekitar 1300nm, maka lebar pita (*bandwidth*) yang dimiliki serat tersebut akan besar sekali yang berarti lebih banyak informasi yang dapat dikirimkan melalui serat tersebut. Serat optik *singlemode* mempunyai keuntungan, dimana dispersi yang terjadi hanya dispersi *intramodal* karena yang merambat hanya terdapat satu *mode*.

#### **2.1.5.5 Rugi Penyambungan**

Serat yang dihasilkan pabrik mempunyai panjang sekitar 2 km, sehingga pemasangannya memerlukan teknik penyambungan diantara serat tersebut. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan persyaratan redaman yang rendah. Sambungan ini dapat secara permanen (*splice*) dan ada yang dapat dilepas dan dipasang kembali dengan mudah.

##### **2.1.5.5.1 Splice**

Bentuk yang umum dilakukan adalah *fusion splice* dan *V-groove butt splice*. *Fusion splice* adalah teknik penyambungan dengan cara mempertemukan kedua bagian yang akan disambung kemudian dipanaskan. Kedua ujung serat dipertemukan dan diluruskan dengan mempergunakan penahan serat yang beralur atau menggunakan mikroskop dengan mikromanipulator. Selanjutnya dipanaskan dengan mempergunakan sinar laser atau elektroda yang memancarkan listrik. Teknik ini menghasilkan rugi – rugi *splice* sekitar 0.1 sampai 0.2 dB (untuk serat sejenis). Pada metode *V-groove splice* kedua ujung dipertemukan dalam suatu lekukan berbentuk V. Serat ini kemudian disambung dengan sejenis bahan perekat. Rugi – rugi ini sangat bergantung pada dimensi serat dan letak inti relatif terhadap sumbu serat. Kekurangan teknik *fusion splice* adalah panas yang dipergunakan untuk melebur serat tersebut dapat melemahkan serat di sekitar sambungan. Serat patah umumnya terjadi di sekitar daerah ini. Sedangkan metode *V-groove splice* memerlukan kerangka tempat sambungan untuk menghindari rugi – rugi bengkokan lokal serat. Dalam aplikasinya teknik ini membutuhkan tempat yang

banyak. karena itu teknik *fusion splice* lebih umum dipakai selain lebih teliti juga tidak memakan tempat.

#### **2.1.5.5.2 Konektor**

Teknik ini mempunyai tingkat kesulitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *splice*, karena konektor harus menghasilkan persyaratan yang sama dengan teknik *splice* sehingga didapat efisiensi yang tinggi, sedangkan konektor harus bisa dilepas dan dipasang kembali. Redaman yang dihasilkan oleh konektor dalam aplikasinya antara 0.2 sampai 3 dB

#### **2.1.6 Sumber Cahaya**

Sumber cahaya disebut sebagai komponen aktif dalam sistem komunikasi serat optik. Fungsinya mengubah arus listrik menjadi energi cahaya sehingga dapat dikopling ke serat optik, selanjutnya sinyal optik yang dihasilkan sumber ini akan membawa informasi sampai ke penerima.

Sumber-sumber cahaya untuk serat optik bekerja sebagai pemancar-pemancar cahaya, dan karena itu harus memenuhi beberapa persyaratan yang diperlukan yaitu:

1. Cahaya haruslah sedekat mungkin bersifat monokromatis (berfrekuensi tunggal), mampu beroperasi pada gelombang 800 nm – 1650 nm.
2. Pemancar-pemancar tersebut harus mempunyai suatu keluaran cahaya berintensitas tinggi, sehingga dapat dipancarkan energi yang cukup untuk mengatasi rugi-rugi yang dijumpai dalam transmisi disepanjang serat.
3. Sumber-sumber cahaya juga harus mampu untuk dimodulasi dengan mudah.
4. Pemancar-pemancar cahaya tersebut haruslah kecil, ringkas (*compact*), dan dapat dengan mudah digandengkan ke serat optik, sehingga tidak terjadi rugi-rugi pengandengan yang berlebihan.

Jenis sumber optik yang paling umum dan sesuai untuk dipergunakan dalam sistem komunikasi optik adalah sumber cahaya dari bahan semikonduktor yaitu *Laser Diode (LD)* dan *Light emitting Diode (LED)*. Baik *LED* maupun *LD* umumnya terbuat dari bahan-bahan *aluminium-gallium-arsenid (GaAlAs)*, *aluminium-gallium-arsenid-phosphide (GaAlAs)*, atau *gallium-indium-arsenid-phosphide (GaInAsP)*. Dalam aplikasinya *LED* banyak dipakai untuk komunikasi

dengan jarak sedang (kurang dari 10 km) dan LD untuk komunikasi jarak jauh (sampai 100 km).

Pada sumber LED, radiasi terjadi secara spontan. Cahaya dihasilkan pada saat rekombinasi dari elektron dan hole pada pita valensi untuk memancarkan foton. Karena tidak mempergunakan injeksi elektron dari luar. LED dapat dioperasikan dengan arus kecil. Pada sumber cahaya dapat dilakukan modulasi digital dan analog. Modulasi digital dilakukan dengan cara memodulasi dioda oleh sumber arus yang mana membuat LED hidup dan mati. Modulasi analog membutuhkan sumber arus total tetap ada. Tanpa arus dc, arus bias balik dari sinyal sumber akan menghentikan kerja dioda.

Pada LED ideal, karakteristik yang linear menghasilkan gelombang daya keluaran optik membentuk suatu arus masukan. Tapi pada umumnya LED tidak bersifat linear disebabkan efek pemanasan *junction* sehingga menimbulkan distorsi harmonis. Oleh sebab itu penggunaan LED untuk modulasi analog kurang baik. Penggunaan daya keluaran mempengaruhi kehandalan sumber cahaya. Hal ini berhubungan pada penggunaan arus penggerak. Arus penggerak sumber LED berkisar 50-150 mA dan LD sekitar 10-130 mA. Daya keluaran LD jauh lebih besar dari LED sehingga LD lebih handal. Karena penggunaan daya keluaran yang lebih besar dalam waktu yang cepat umur LD lebih pendek dari LED

### **2.1.7 Detektor Optik**

Setelah tiba di sisi penerima, cahaya yang dipancarkan dari ujung link serat optik harus dideteksi dan dikonversikan ke dalam pulsa-pulsa elektronik untuk pemrosesan lebih jauh, sehingga informasi yang ditransmisikan dapat diterima.

Detektor harus memenuhi persyaratan seperti:

1. Kepekaan yang tinggi pada panjang gelombang dan temperatur kerja normal adalah 3000 K
2. Waktu tanggap yang pendek untuk mendapatkan lebar pita yang lebar.
3. Gangguan detektor yang kecil
4. Ukuran yang kecil sehingga memudahkan kopling ke serat
5. Kehandalan tinggi

## 6. Harga yang tidak mahal

Ada dua tipe detektor yaitu *Avalanche Photo Diode (APD)* dan *Positive-Intrinsic- Negative Photo Diode (PIN)*. *APD* merupakan sebuah struktur dioda semikonduktor mempunyai sebuah daerah *dope p+*, diikuti sebuah daerah *dope n*. Dioda secara negatif di bias dengan sebuah tegangan sekitar 100 volt, ketika cahaya dari sebuah fiber datang pada dioda ini, pasangan *hole* elektron dibangkitkan. Jika daerah elektrik diterapkan cukup kuat, elektron bebas diakselerasi membangkitkan pasangan *hole* elektron baru dan proses berkelipatan berlanjut, menghasilkan efek *avalanche*. *APD* mempunyai kelebihan dibandingkan dengan *PIN* fotodioda yaitu dapat mendeteksi cahaya yang sangat kecil.

### 2.1.8 Kelebihan dan Kekurangan Transmisi Serat Optik

Serat optik banyak digunakan dalam sistem komunikasi karena selain dapat mengirimkan data dengan *bandwidth* yang sangat besar, serat optik juga mempunyai beberapa kelebihan, yaitu :

- a. Ukurannya kecil dan ringan
- b. Tidak ada pengaruh elektrik
- c. Tidak terjadi cross talk antar serat optik dalam satu kabel
- d. Kebal terhadap induksi dan interferensi
- e. Kualitas transmisi yang tinggi

Selain itu serat optik juga memiliki kekurangan, diantaranya adalah :

- a. Bersifat *non*-konduktor, karena serat optik tidak bisa dialiri arus listrik, maka tidak dapat memberikan catuan perangkat atau *repeater*.
- b. Konstruksi serat optik cukup lemah, sehingga perlu penanganan yang cermat pada saat instalasi.
- c. Karakteristik transmisi dapat berubah bila terjadi tekanan dari luar yang berlebihan.
- d. Mahal bila digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan *bandwidth* sempit dan jarak yang dekat.

## 2.2 Parameter Unjuk Kerja Untuk Menganalisis Transmisi Serat Optik

Dalam perancangan suatu perencanaan sistem transmisi serat optik diperlukan suatu pengujian terhadap hasil perencanaan tersebut, hal ini diperlukan agar sistem yang direncanakan tersebut layak untuk diterapkan di lapangan. Adapun syarat-syarat yang diperlukan untuk menganalisis link transmisi serat optik, yaitu :

1. Jarak transmisi yang diharapkan
2. Data rate dan channel *bandwidth*
3. Bit error rate (BER)

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut perancang memiliki suatu pilihan dari komponen berikut dan karakteristik yang bersangkutan:

1. *Single-mode* atau *Multimode* serat optik
  - a) Ukuran inti
  - b) Profil indeks bias inti
  - c) *Bandwidth*
  - d) Redaman/*Attenuation*
  - e) *Numerical aperture*
2. Sumber optik LED atau laser
  - a) Panjang gelombang emisi
  - b) Daya keluaran
  - c) Pola emisi
3. *Pin* atau *avalanche photodiode*
  - a) Responsivitas
  - b) Panjang gelombang
  - c) Kecepatan
  - d) Sensitivitas

Ada dua analisis digunakan untuk menentukan bahwa sistem komunikasi serat optik yang dibutuhkan telah memenuhi syarat yaitu perhitungan *power link budget* dan *rise time budget* sistem. Perhitungan *power link budget* menentukan rentang daya antara keluaran sumber optik dan sensitivitas daya minimum dari detektor optik sehingga sesuai dengan spesifikasi. dari nilai BER yang disyaratkan Batasan ini kemudian diperhitungkan terhadap redaman konektor, redaman

sambungan *splice*, dan redaman serat optik serta *margin* yang ditambahkan untuk memberikan toleransi terhadap penurunan kemampuan komponen atau efek temperatur kerja. Jika pilihan komponen tidak dapat memenuhi jarak transmisi yang diinginkan, maka komponen harus diganti atau dengan menambahkan pengulang (*repeater*).

Apabila *power link budget* telah didapat, maka selanjutnya dapat melakukan analisa *rise time budget* sistem. Perhitungan *rise time budget* merupakan metode untuk menentukan keterbatasan akibat pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah untuk menganalisis apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi bit rate transmisi yang diinginkan.

### 2.2.1 Perhitungan Daya Sinyal (*Power Link Budget*)

*Power Budget* adalah perhitungan daya yang dilakukan pada suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran (rugi-rugi), sumber optik dan sensitivitas detektor. Perhitungan daya secara sederhana dihitung dengan cara mengukur besar total redaman yang diizinkan antara antara sumber dan detektor cahaya kemudian menentukan redaman serat, konektor, sambungan *splice* dan margin sistem.

$$L = \frac{P_s - P_d - (n_c \cdot L_c) - (n_s \cdot L_s) - PM}{L_f} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- Ps = Daya dari sumber optik (dBm/dBw)
- Pd = Sensitivitas detektor cahaya (dBm/dBw)
- L = Jarak Transmisi
- Lc = Redaman konektor (dB)
- nc = Jumlah sambungan konektor
- Ls = Redaman sambungan splice (dB)
- ns = Jumlah sambungan splice
- Lf = Redaman serat (dB/km)
- PM = margin sistem

### 2.2.2 Perhitungan Jumlah Splice

Jumlah sambungan *splice* yang diperlukan sepanjang *link* transmisi dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$n_s = \frac{L}{Ld} - 1 \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:       $n_s$       = Jumlah sambungan *splice*  
                   $L$         = Jarak transmisi  
                   $Ld$       = Panjang serat optik per gulungnya (*drumlength*).

Untuk tiap penguat membutuhkan dua buah sambungan atau *splice* dan dua buah konektor untuk terhubung dengan terminal utama. *Splice* juga digunakan untuk penyambungan antar kabel serat optik.

### 2.2.3 Perhitungan Rise Time Budget

Perhitungan *rise time budget* merupakan metode untuk menentukan keterbatasan akibat pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah untuk menganalisis apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi bit rate transmisi yang diinginkan. *Rise time budget* dinyatakan dengan persamaan :

$$t_r = \sqrt{t_{sumber}^2 + t_{det}^2 + t_f^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

$t_r$             = rise time total sistem  
 $t_{sumber}$     = rise time sumber optik  
 $t_{det}$         = rise time detektor optik  
 $t_f$             = dispersi total serat

Dimana nilai  $t_f$  dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6)

$$t_f = D \cdot \delta\lambda \cdot L \dots\dots\dots(2.6)$$

$D$  = dispersi kromatik  
 $L$  = Jarak transmisi  
 $\delta\lambda$  = Lebar Spektral

Dalam kaitannya dengan laju bit sistem, *rise time budget* sistem dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$t_{sis} \leq 0,7/BR, \text{ untuk format pengkodean NRZ} \dots\dots\dots(2.7)$$

$tsis \leq 0,35/BR$ , untuk format pengkodean RZ.....(2.8)

Untuk menjamin sistem dapat dilalui bit rate yang ditransmisikan maka  $tsis \leq tr$ .

### 2.2.4 Perhitungan BER

Didalam serat optik, redaman total komponen harus kecil agar daya yang mencapai detektor cahaya dapat dideteksi. Untuk sistem digital, kualitas sistem dinyatakan dengan *Bit Error Rate* (BER). Maka sensitivitas daya sistem harus memenuhi persyaratan sistem BER.

Untuk detektor optic APD nilai SNR dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.9 berikut:

$$\left[ \frac{S}{N} \right] = \frac{RP}{2eBF(M)} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana R = Karakteristik Responsivity

B = *Bandwidth*

P = Sensitivitas detektor cahaya

e = Konstanta elektron ( $1.6 \times 10^{-19}$ )

Nilai F(M) dapat diperoleh dengan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$F(M) = M \left\{ 1 - (1-k) \left( \frac{M-1}{M} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana M = Faktor penguatan

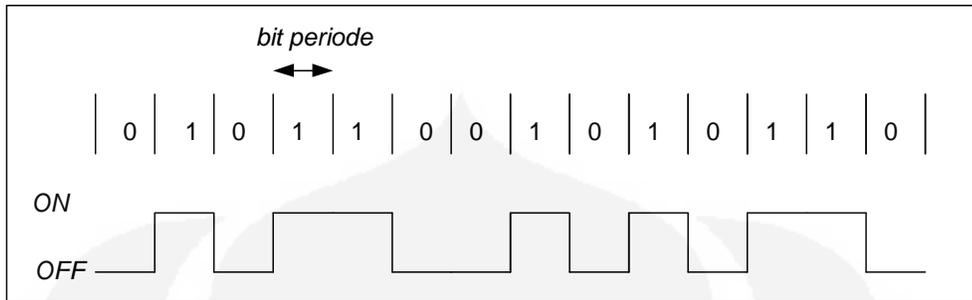
k = *ratio carrier ionization*

### 2.2.5 Line Coding

Dalam merancang jaringan serat optik, pertimbangan penting adalah format sinyal optik yang ditransmisikan.

#### 2.2.5.1 Kode NRZ

Kode NRZ yang paling sederhana adalah NRZ level (NRZ-L) yang ditunjukkan dalam Gambar. 2.9. Untuk data *stream serial on-off* (*unipolar*) sinyal menyatakan "1" sebagai pulsa dari arus atau cahaya yang mengisi perioda bit keseluruhan, sementara "0" menyatakan bahwa tidak ada pulsa yang ditransmisikan.

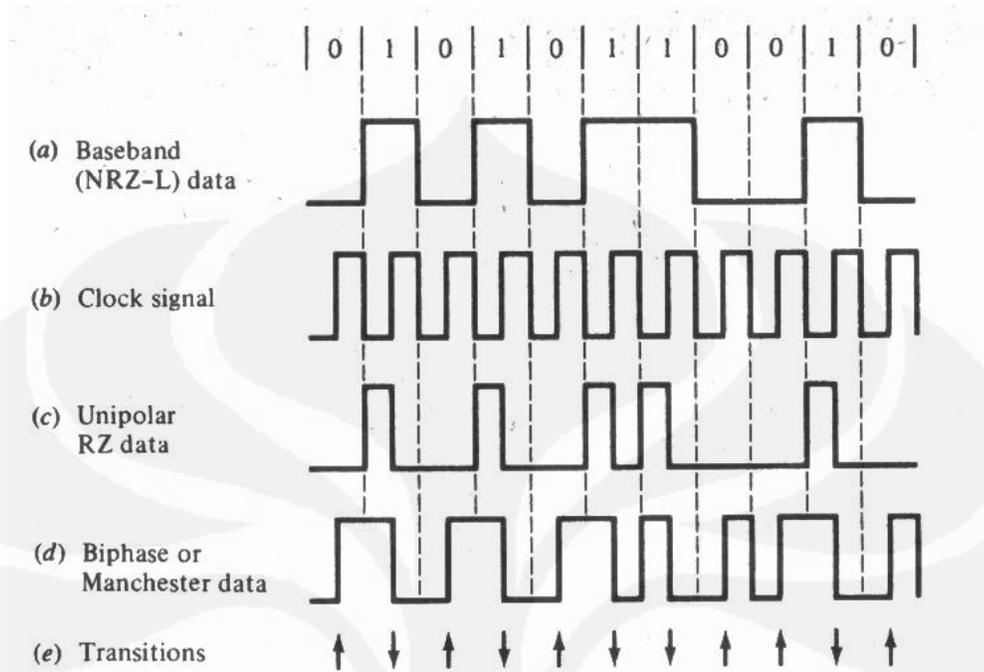


**Gambar 2.9** Contoh dari sebuah pola NRZ-L

*Bandwidth* minimum diperlukan dalam NRZ coding, tapi daya input rata-rata pada penerima tergantung pada pola data. Contoh, level tinggi dari daya yang diterima terjadi dalam rentetan panjang bit 1 dapat menyebabkan efek *baseline wander*. Efek ini berasal dari penjumlahan pulsa yang timbul dari karakteristik frekuensi rendah dari suatu *acoupling filter* dalam penerima.

### 2.2.5.2 Kode RZ

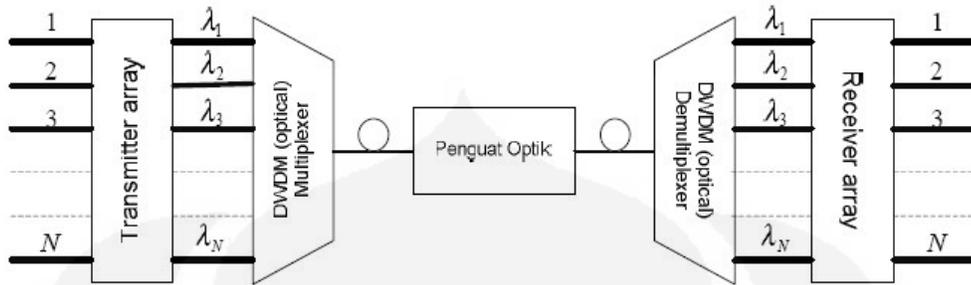
Variasi kode RZ dapat dilihat dalam gambar 2.10. Data *baseband* (NRZ-L) ditunjukkan dalam gambar 2.10(a). dalam data RZ unipolar, "1" bit diwakili oleh setengah periode pulsa optik yang dapat terjadi baik dalam setengah perioda bit pertama atau kedua. "0" diwakili oleh ketiadaan sinyal selama perioda bit. Kekurangan dari format unipolar RZ adalah bahwa rentetan dari bit 0 dapat menyebabkan hilangnya sinkronisasi waktu.



**Gambar 2.10** Contoh format data RZ, a) NRZ-L data baseband, b) sinyal *clock* c) *unipolar* data RZ, d) optikal manchester e) transisi yang terjadi selama bit perioda untuk *manchester* data [1]

### 2.3 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

*Dense Multiplexing Division Multiple* (DWDM) merupakan teknik multiplexing dimana sejumlah sinyal optik dengan panjang gelombang yang berbeda-beda ditransmisikan secara bersamaan melalui sebuah serat optik tunggal. Tiap panjang gelombang merepresentasikan sebuah kanal informasi. Pada dasarnya, konfigurasi sistem DWDM terdiri dari sekumpulan pemancar sebagai sumber optik yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinyal cahaya tersebut kemudian mengalami proses multiplexing, dan ditransmisikan secara bersamaan melalui media serat optik yang sama. Di sisi penerima, sinyal tersebut kemudian didemultiplikasi kembali dan dipisahkan berdasarkan panjang gelombangnya masing-masing. Konfigurasi sistem DWDM secara umum dapat digambarkan seperti pada gambar 2.11 berikut :



**Gambar 2.11** Konfigurasi sistem DWDM secara umum

DWDM merupakan pengembangan dari teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) yang memiliki prinsip kerja serupa. Sistem WDM konvensional bekerja pada dua daerah panjang gelombang yaitu 1310 dan 1550 nm, dan pada perkembangannya WDM hanya menggunakan satu daerah panjang gelombang saja (1550 nm), tetapi dilakukan pembagian dengan lebar spektrum yang sangat kecil sehingga menghasilkan beberapa panjang gelombang. Jadi yang membedakan DWDM dengan pendahulunya adalah spasi kanal yang lebih sempit sehingga dapat menampung puluhan panjang gelombang. Spasi kanal yang biasa digunakan dalam DWDM adalah 50 GHz (0,4 nm), 100 GHz (0,8 nm) dan 200 GHz (1,6 nm).

Teknologi DWDM berkembang dari keterbatasan pada sistem transmisi serat optik yang ada, dimana pertumbuhan trafik pada sejumlah jaringan *backbone* meningkat sangat pesat sehingga kapasitas *bandwidth* yang tersedia tidak mampu lagi mengakomodasi lonjakan trafik tersebut. Hal ini menjadi dasar pemikiran untuk memanfaatkan jaringan yang ada dibandingkan membangun jaringan baru yang tentunya akan menghabiskan biaya sangat besar. Dengan memperhatikan faktor ekonomis tersebut, implementasi DWDM pada jaringan yang sudah ada merupakan solusi terbaik. Di samping itu, DWDM dapat diintegrasikan pada jaringan transport yang ada, termasuk *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH). Oleh karena itu, teknologi DWDM yang beroperasi dalam sinyal dan domain optik memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam suatu jaringan.

Elemen jaringan SDH terdiri perangkat terminal, sejumlah *regenerator*, dan sepasang inti serat optik (TX dan RX). Jika kapasitas jaringan meningkat, perangkat SDH yang diperlukan juga akan bertambah, sehingga tidak ekonomis.

Dengan diimplementasikannya DWDM pada jaringan transport SDH, penambahan perangkat SDH dapat dikurangi, dan efisiensi pemakaian optik juga dapat ditingkatkan.

### 2.3.1 Elemen Jaringan DWDM

Dalam aplikasi DWDM terdapat beberapa elemen yang memiliki spesifikasi khusus disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Elemen tersebut adalah :

#### 1. *Wavelength Multiplexer/Demultiplexer*

Wavelength multiplekser berfungsi untuk memmultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang akan ditransmisikan dalam serat optik. Sedangkan *Wavelength demultiplekser* berfungsi untuk mendemultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang ditransmisikan menjadi kanal-kanal panjang gelombang menjadi seperti semula.

#### 2. *Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)*

OADM digunakan untuk melewatkan sinyal dan melakukan fungsi *drop and insert* panjang gelombang ke atau dari serat optik tanpa memerlukan terminal SDH lagi, dan proses tersebut terjadi di level optik. OADM diaplikasikan pada sistem yang *long haul* atau pada jaringan topologi ring.

#### 3. *Optical Amplifier (OA)*

OA merupakan penguat optik yang berfungsi untuk memperbesar kemampuan jarak tempuh sinyal dan mempertahankan kualitasnya dengan melakukan proses penguatan sinyal optik tanpa proses konversi ke bentuk elektrik terlebih dahulu. Banyaknya panjang gelombang yang mampu dibawa oleh jaringan optik DWDM, terutama untuk *long haul*, akan dipengaruhi oleh kemampuan OA dalam melewatkan seluruh panjang gelombang yang melewatinya dan melakukan proses penguatan yang setara untuk seluruh panjang gelombang tersebut. Oleh karena itu, perangkat ini harus memiliki kemampuan mendeteksi sinyal secara presisi dan memiliki tingkat keakuratan dan spacing yang sempit.

### 2.3.2 Serat Optik Single Mode yang Mendukung DWDM

Untuk mendukung sistem yang mentransmisikan informasi dengan kapasitas tinggi, pemilihan serat optik yang tepat sebagai media transmisi juga perlu diperhatikan. Ada dua tipe serat optik yang umum digunakan pada sistem DWDM, yaitu :

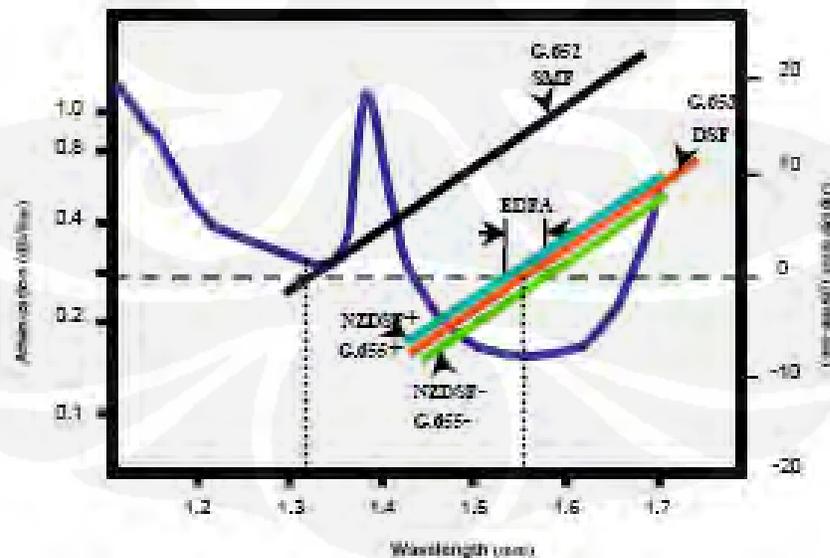
#### 1. *Non Dispersion Shifted Fiber (NDSF)*

Serat optik NDSF juga dikenal sebagai *Standard Single Mode Fiber (SSMF)* dan dibuat berdasarkan rekomendasi ITU-T G.652. NDSF memiliki nilai koefisien dispersi kromatik ( $D$ ) mendekati nol di daerah panjang gelombang 1310 nm. Sedangkan pada daerah 1550 nm, koefisien dispersi maksimumnya adalah 18 ps/nm.km.

#### 2. *Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF)*

Dibandingkan NDSF/SSMF, serat optik NZDSF (G.655) memiliki koefisien dispersi kromatik yang lebih rendah pada daerah panjang gelombang 1550 nm, yaitu maksimum 6 ps/nm.km.

Karakteristik yang membedakan keduanya adalah nilai koefisien dispersi kromatik dan redaman serat, dimana pada daerah kerja DWDM, serat optik NZDSF memiliki koefisien dispersi dan redaman yang lebih rendah, seperti diperlihatkan pada gambar dibawah ini.

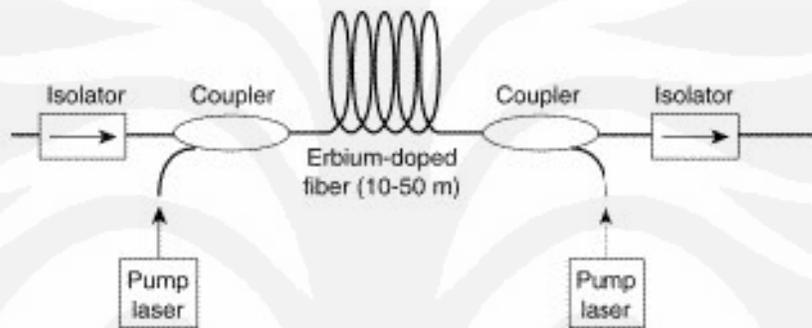


Gambar 2.12 Karakteristik Redaman dan Dispersi Serat Optik

### 2.3.3 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA merupakan salah satu jenis penguat optik yang turut memberikan kontribusi besar bagi perkembangan teknologi DWDM. Penguat ini melakukan proses penguatan sinyal optik tanpa terlebih dahulu melakukan proses konversi sinyal tersebut menjadi sinyal elektrik, seperti yang terdapat pada *repeater* atau penguat elektronik. Secara fisik, EDFA merupakan serat optik aktif yang terdoping oleh unsur Erbium( $\text{Er}^{3+}$ ).

Struktur fisik sistem penguat optik secara umum dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 2.13 Struktur Fisik EDFA

Pada aplikasinya, EDFA dapat digunakan sebagai *Booster Amplifier* (ditempatkan setelah pengirim laser), *In-line Amplifier* (terletak antara terminal pengirim dan penerima), dan *Pre-Amplifier* (ditempatkan sebelum *photodetector*).

### 2.3.4 Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

Di dalam rekomendasi ITU-T G.707, transmisi SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) didefinisikan sebagai berikut: “*Synchronous Digital Hierarchy* merupakan suatu teknologi yang mempunyai struktur transport secara hierarki dan didesain untuk mengangkut informasi (*payload*) yang disesuaikan dengan tepat dalam sebuah jaringan transmisi.

SDH adalah sistem multipleksing yang berdasarkan sistem *Time Division Multiplexing* (TDM) di mana suatu *frame* dibagi-bagi menjadi slot-slot waktu (*path/channel*). Frame tersebut mencakup *payload* (muatan) dan *overhead* (OH) yang memungkinkan SDH dapat menyalurkan berbagai macam pelayanan yang

berbeda dengan kecepatan yang berbeda dalam frame yang sama. SDH ini dilengkapi dengan *overhead* untuk mengatur *link-link* dari suatu node ke node yang lain.

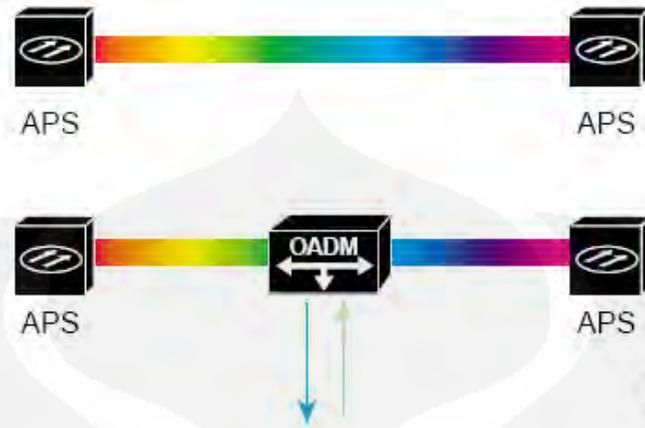
Dalam rekomendasi ITU-T G.707, 708, 709 ditetapkan bit rate dasar sistem SDH adalah sebesar 155,52 Mbps. Kecepatan bit untuk tingkatan multiplex yang lebih tinggi merupakan kelipatan dari kecepatan dasar yaitu  $155,52 \text{ Mbps} \times N$  yang didefinisikan sebagai kecepatan transmisi STM-N (*Synchronous Transfer Mode-N*). Hingga kini nilai N yang telah diterapkan adalah  $N = 1, 4, 16, \text{ dan } 64$ , sehingga kecepatan transmisi untuk STM-1 bernilai 155,52 Mbps, STM-4 bernilai 622,08 Mbps, STM-16 bernilai 2,488 Gbps dan STM-64 bernilai 9,952 Gbps.

### **2.3.5 Topologi DWDM**

Arsitektur jaringan biasanya dipilih berdasarkan jenis aplikasi dan protokol yang digunakan, jarak, fungsi dan pola akses dan topologi jaringan.

#### **2.3.5.1 Point to point**

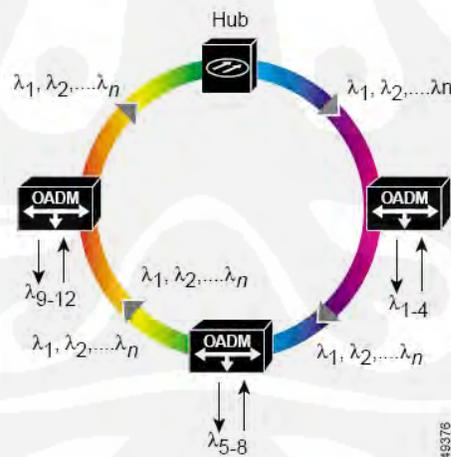
Topologi *point to point* dapat diimplementasikan dengan atau tanpa OADM. Topologi ini memiliki karakteristik yaitu kecepatan kanal yang sangat tinggi antara 10 – 40 Gbps, integritas dan reliabilitas yang tinggi. Salah satu cara proteksi untuk topologi *point to point* ini adalah dengan mengkoneksikan jaringan secara paralel pada diujung sistem dengan penggandaan transponder, multiplexer dan CPU. Disini sistem proteksinya sudah di migrasi ke perangkat DWDM. Pengambil keputusan untuk berpindah (*switching*) dari perangkat utama ke perangkat cadangan berada dibawah kontrol lokal sistem.



Gambar 2.14 Topologi Point to Point[3]

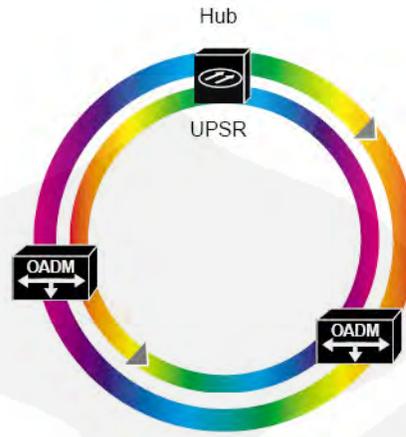
### 2.3.5.2 Ring (Cincin)

Topologi dapat dilakukan dengan 1 DWDM atau lebih, dan juga mampu mendukung lebih dari 1 OADM atau Hub. Hub dimana trafik berasal berfungsi untuk mengakhiri dan mengontrol trafik ketika jaringan dihubungkan dengan jaringan lain, pada saat yang bersamaan. Pada OADM panjang gelombang (*wavelength*) akan di perkecil dan ditambahkan (*dropped and added*).



Gambar 2.15 Topologi cincin [3]

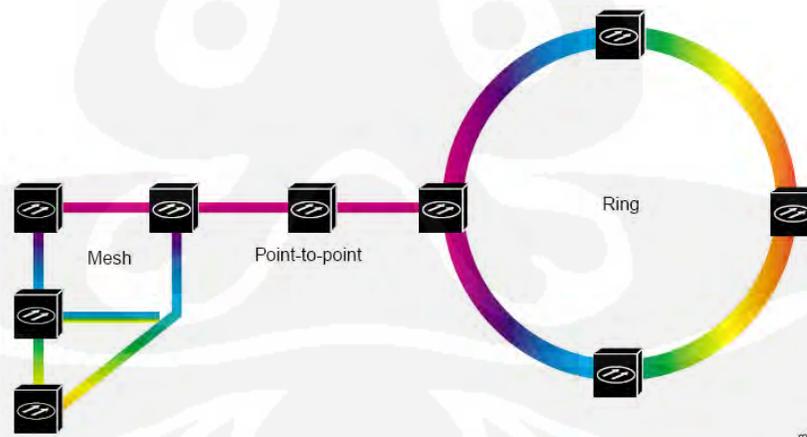
Untuk sistem proteksi pada topologi ring dapat dilakukan dengan teknik UPSR (*Unidirectional Path Switched Ring*). UPSR terdiri atas 2 pasang serat optik. Jika 1 ring tidak bekerja, peralatan penerima akan secara otomatis mengubah trafik pada pasangan serat optik lain.



**Gambar 2.16** Proteksi UPSR pada topologi cincin DWDM [3]

### 2.3.5.3 Mesh

Pada topologi *mesh* interkoneksi setiap perangkat (*node*) akan menjadi sistem proteksi masa depan. Topologi *mesh* fleksibel dan efisien. Penggunaan satu pasang serat optik pada pengamanan topologi *ring* dapat dikembangkan di desain *mesh*. Pengamanan dan perbaikan dapat didasarkan pada pembagian jatah jalur, sehingga dibutuhkan lebih sedikit serat optik untuk besar trafik yang sama dan tidak menyia – nyiakkan panjang gelombang.



**Gambar 2.17** Topologi Mesh [3]

### 3.6. Spasi kanal pada DWDM

Spasi kanal menentukan sistem performansi dari DWDM. Standar spasi kanal dari ITU-T adalah 50 GHz sampai 100 GHz (100 GHz akhir-akhir ini sering digunakan). *Spacing* (sekat) ini membuat kanal dapat dipakai dengan memperhatikan batasan-batasan serat *amplifier*. Spasi kanal bergantung pada komponen sistem yang digunakan.

Spasi kanal merupakan sistem frekuensi minimum yang memisahkan 2 sinyal yang dimultiplekskan atau biasa disebut sebagai perbedaan panjang gelombang diantara 2 sinyal yang ditransmisikan. Penguat optik dan kemampuan penerima untuk membedakan sinyal menjadi dasar untuk menentukan spasi pada 2 gelombang yang berdekatan.

Pada perkembangan selanjutnya, DWDM berusaha untuk menambah kanal yang sebanyak-banyaknya untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas data informasi. Salah satunya adalah dengan memperkecil spasi kanal tanpa adanya suatu interferensi dari pada sinyal pada satu serat optik tersebut. Salah satu contohnya adalah pada demultiplekser DWDM yang harus memenuhi beberapa kriteria di antaranya adalah bahwa demux harus stabil pada setiap waktu dan pada berbagai suhu, harus memiliki penguatan yang relatif besar pada suatu daerah frekuensi tertentu dan dapat tetap memisahkan sinyal informasi sehingga tidak terjadi interferensi antar sinyal.

#### 2.3.7 Kelebihan Teknologi DWDM

Kelebihan teknologi DWDM adalah transparan terhadap berbagai trafik. Kanal informasi masing - masing panjang gelombang dapat digunakan untuk melewati trafik dengan format data dan laju bit yang berbeda. Ketransparanan sistem DWDM dan kemampuan *add/drop* akan memudahkan penyedia layanan untuk melakukan penambahan dan atau pemisahan trafik. Berkaitan dengan ketransparanan sistem DWDM, dikenal dua sistem antarmuka, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Elemen jaringan DWDM sistem terbuka memungkinkan penjamak SONET/SDH, *switch* IP dan ATM disambungkan secara langsung pada jaringan DWDM. Sedangkan pada sistem tertutup, *switch* IP dan atau ATM tidak dapat secara langsung dihubungkan ke jaringan DWDM,

namun memerlukan perantaraan penjamak SONET/SDH yang berasal dari *vendor* yang sama dengan *vendor* perangkat DWDM yang digunakan. Perbandingan teknologi serat optik konvensional dan teknologi DWDM adalah sebagai berikut.

1. Kapasitas serat optik yang dipakai lebih optimal.

DWDM dapat mengakomodir banyak cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda dalam sehelai serat optik, sedangkan teknologi serat optik konvensional hanya dapat mentransmisikan satu panjang gelombang dalam sehelai serat optik.

2. Instalasi jaringan lebih sederhana.

Penambahan kapasitas jaringan pada teknologi serat optik konvensional dilakukan dengan memasang kabel serat optik baru, sedangkan pada DWDM cukup dilakukan penambahan beberapa panjang gelombang baru tanpa harus melakukan perubahan fisik jaringan.

3. Penggunaan penguat lebih efisien. DWDM

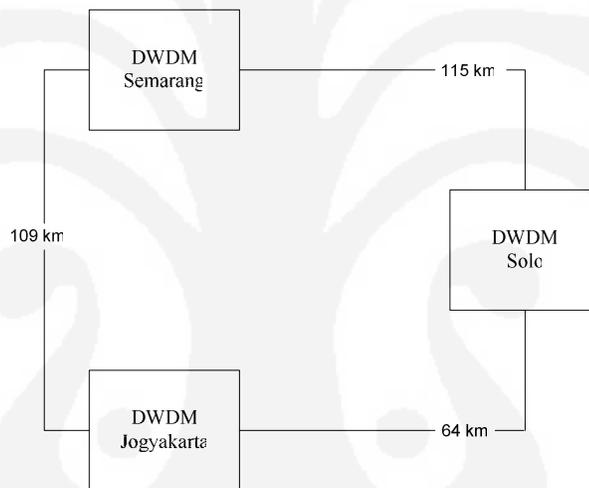
Menggunakan penguat optik yang dapat menguatkan beberapa panjang gelombang sekaligus dengan interval penguatan yang lebih jauh, sehingga penguat optik yang digunakan pada DWDM lebih sedikit dibandingkan pembangkit-ulang yang digunakan pada teknologi serat optik konvensional.

## BAB 3 PERENCANAAN SERAT OPTIK DWDM

### 3.1 Topologi Jaringan Serat Optik

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan beberapa jenis elemen jaringan dan topologi jaringan DWDM. Bentuk konfigurasi cincin merupakan bentuk konfigurasi yang dipilih untuk diimplementasikan dengan mempertimbangkan kemampuan dalam memenuhi layanan yang ditawarkan sekaligus menciptakan kehandalan yang tinggi

Topologi jaringan yang menghubungkan kota Semarang - Solo - Yogyakarta dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah.

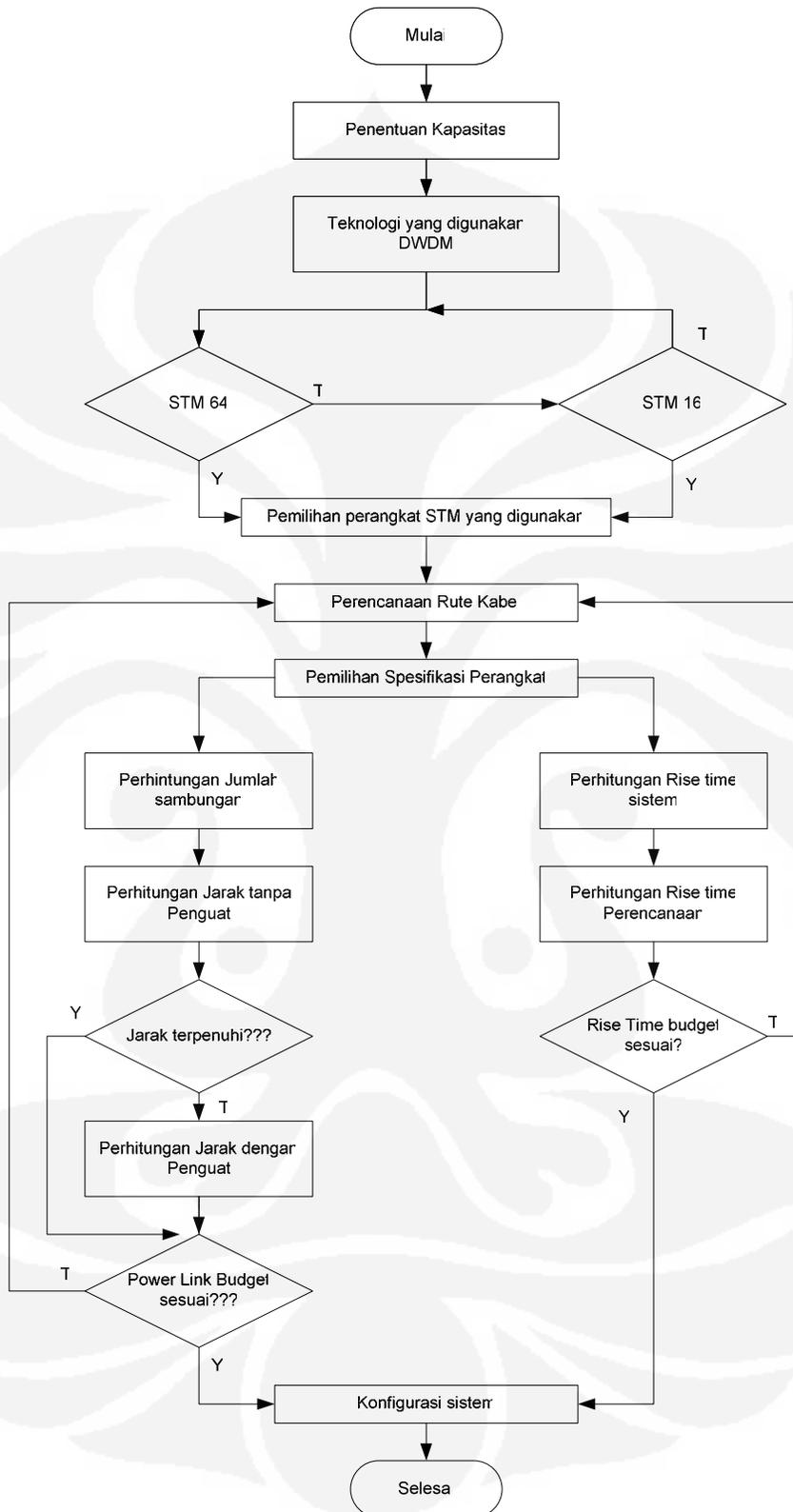


**Gambar 3.1** Topologi Jaringan Serat Optik DWDM Semarang Solo Yogyakarta

Dari gambar 3.1 diatas dapat diketahui bahwa tiap – tiap kota dihubungkan *direct* sehingga apabila serat optik yang digunakan bermasalah maka sebagai proteksinya adalah serat optik lain yang masih normal dan belum digunakan atau apabila salah satu jalur putus akibat putusnya kabel serat optik (*fiber cut*) maka jalur lain dapat digunakan.

### 3.2 Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik

Gambar 3.2 dibawah ini menunjukkan diagram alir dari perencanaan jaringan serat optik yang akan digunakan pada perencanaan jaringan serat optik DWDM Semarang Solo Yogyakarta.



**Gambar 3.2** Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik

### 3.3 Perencanaan Rute Kabel Serat Optik

Pada saat perencanaan jaringan serat optik, pemilihan rute atau jalur serat optik merupakan salah satu komponen yang harus benar – benar dipertimbangkan karena hal ini akan menyangkut beberapa hal, yaitu panjang kabel yang akan dibutuhkan, jumlah sambungan kabel atau *splice* yang akan dibutuhkan hingga pemilihan jenis kabel serat optik serta jumlah daya pancar yang dibutuhkan hingga perlu atau tidaknya komponen penguat pada jaringan serat optik, agar sinyal informasi dapat sampai pada penerima dengan baik. Untuk itu rute dari kabel serat optik disarankan untuk mengikuti jalan yang menghubungkan masing – masing kota yang akan dilewati oleh serat optik. Cara pemilihan rute ini memiliki keuntungan antara lain :

- a. Memudahkan *survey* di lapangan
- b. Memudahkan instalasi serat optik
- c. Memudahkan *maintenance* / pemeliharaan serat optik

Bentuk kabel dikenal dua macam, kabel udara (KU) dan kabel tanah (KT). Kabel udara diperkuat oleh kabel baja untuk keperluan penarikan kabel di atas tiang. Baik KU maupun KT pada lapisan intinya paling tengah diperkuat oleh kabel khusus untuk menahan kabel tidak mudah bengkok (biasanya serat plastik yang keras). Di sekeliling inti tersebut dipasang beberapa selubung yang isinya adalah core serat optik, dilapisi gel (katanya berfungsi juga sebagai racun tikus) dan serat nilon, dibungkus lagi dengan bahan metal tipis hingga ke lapisan terluar kabel berupa plastik tebal

Kabel yang digunakan pada perencanaan ini adalah kabel tanah yang mempunyai 52 inti serat, kabel ini akan ditanam dalam tanah. Sedangkan tidak dipilihnya cara pengimplementasian dengan kabel udara *aerial* (digantung) walaupun dengan cara ini biaya penggelaran kabel jauh lebih murah dan waktu pengimplementasian yang relatif cepat akan tetapi kabel udara *aerial* ini rentan terhadap pengaruh cuaca dan alam sekitar, seperti tanah longsor dan tumbangnyanya pepohonan. Kabel serat optik akan ditanam dengan kedalaman kurang lebih 1,5 m. Tujuan perencanaan pembangunan jaringan serat optik ini adalah untuk menghubungkan kota Semarang, Solo dan Jogjakarta.

Hasil *survey* lapangan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa jarak antara kota Semarang, Solo dan Jogjakarta perinciannya dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Jarak Serat Optik

No	Lokasi A	Lokasi B	Jarak (km)
1	Semarang	Solo	115
2	Solo	Jogyakarta	64
3	Jogyakarta	Semarang	109

### 3.4 Penentuan Kapasitas Kanal

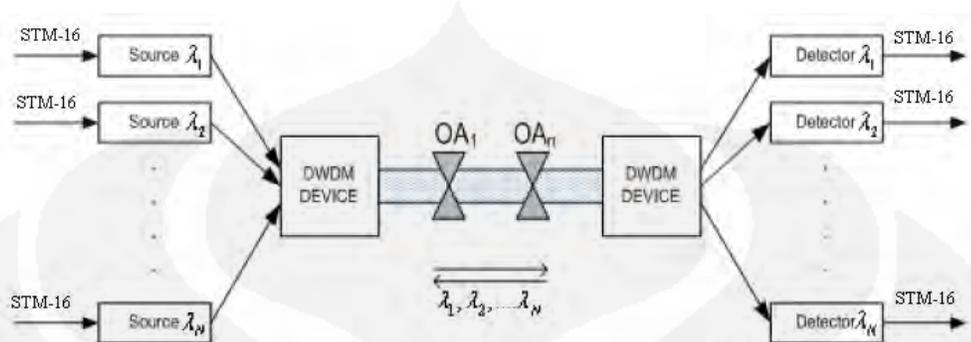
Pembangunan jaringan serat optik DWDM Semarang Solo Jogjakarta ini dilakukan oleh PT.INDOSAT untuk mengantisipasi akan kebutuhan trafik di masa yang akan datang. Jalur Semarang Solo Jogjakarta ini, untuk setiap jalurnya direncanakan berkapasitas  $4\lambda$  setara dengan  $4 \times 10$  Gbps.

$$\begin{aligned}
 4\lambda &= 4 \times 10 \text{ Gbps} \\
 &= 4 \times \text{STM } 64 \\
 &= 16 \times \text{STM } 16 \\
 &= 64 \times \text{STM } 4 \\
 &= 256 \times \text{STM } 1 \\
 &= 16.128 \text{ E1}
 \end{aligned}$$

#### 3.4.1 Menggunakan perangkat STM-16

Penggunaan teknologi *DWDM* untuk pemenuhan kebutuhan kapasitas kanal ini membutuhkan keberadaan perangkat terminal *STM-16* dengan jumlah perangkat terminal *STM-16* yaitu 16 pasang. Kelebihan yang dimiliki teknologi *DWDM* terletak pada jumlah inti optik yang diperlukan lebih sedikit jika dibandingkan dengan teknologi *SDH*. Sebagai media transmisi yang digunakan pada jaringan *transport* ini, jumlah inti optik yang dibutuhkan untuk menghubungkan pengirim dan penerima hanya satu pasang, hal ini disebabkan sinyal-sinyal optik dengan panjang gelombang yang berbeda-beda dapat ditransmisikan melalui serat optik tunggal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.3

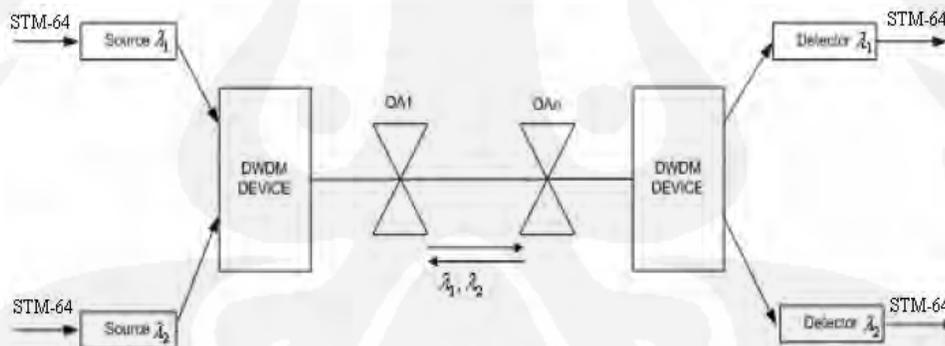
yang menunjukkan konfigurasi sistem *DWDM* yang diintegrasikan dengan perangkat *STM-16* di bawah ini.



**Gambar 3.3** Konfigurasi perangkat *STM-16* untuk sistem *SDH* dengan *DWDM*

### 3.4.2 Menggunakan perangkat *STM-64*

Sama halnya dengan perangkat *STM-16*, perangkat *STM-64* yang diintegrasikan dengan teknologi *DWDM* tetap hanya membutuhkan satu pasang inti optik untuk menghubungkan bagian pengirim dengan bagian penerima. Gambar 3.4 di bawah ini menunjukkan konfigurasi *DWDM* yang diintegrasikan dengan perangkat *STM-64*.



**Gambar 3.4** Konfigurasi perangkat *STM-64* untuk sistem *SDH* dengan *DWDM*

### 3.5 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik

Parameter perencanaan yang digunakan pada jaringan ini disesuaikan dengan standarisasi yang berlaku di PT INDOSAT, Tbk sebagai penyelenggara pembangunan serat optik ini. Tabel 3.2 menunjukkan parameter perencanaan jaringan serat optik yang akan digunakan.

Tabel 3.2 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik

Parameter Desain	
Laju Bit	10 Gbps
BER	$10^{-15}$
Format Modulasi	NRZ
Margin Sistem	5 dB
Komponen SKSO	
Serat Optik <i>Single mode</i> (G.652D) NBDSF	
Redaman serat	0.2 dB/km
Panjang Gelombang	1550 nm
Dispersi Kromatik (D)	17 ps/nm.km
<i>Drumlength</i>	2 km
Pengirim (SLM Laser)	
Rise Time	35 ps
Lebar Spektral	0.1 nm
Daya Pancar	14 dBm
Penerima (APD <i>Detector</i> )	
Rise Time	35 ps
Sensitivitas penerima	-31 dBm
Komponen Tambahan	
Redaman konektor	0.25 dB/konektor
Redaman Sambungan	0.08 dB/sambungan

### 3.6 Rise Time Budget

Berdasarkan nilai *rise time* perangkat dari data perencanaan di atas, dapat diperoleh nilai *rise time* sistem. Dengan menggunakan persamaan (2.7), maka *rise time* sistem untuk 10 Gbps dengan format pengkodean NRZ adalah :

$$t_r = \frac{0.7}{BR} = \frac{0.7}{10 \times 10^9}$$

$$t_r = 70 \text{ ps}$$

Perhitungan *rise time* tiap jalur dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6)

#### Jalur Semarang – Solo

$$t_r = \sqrt{t_{sumber}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_r = D \cdot \delta\lambda \cdot L = (17 \text{ ps/nm.km}) \times (0.1 \text{ nm}) \times (115 \text{ km})$$

$$= 195.55 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (195.55)^2}$$

$$t_r = \sqrt{40670.25}$$

$$t_r = 201.66 \text{ ps}$$

#### **Jalur Solo-Jogyakarta**

$$t_r = \sqrt{t_{\text{sumber}}^2 + t_{\text{det}}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \delta_\lambda \cdot L = (17 \text{ ps/nm.km}) \times (0.1 \text{ nm}) \times (64 \text{ km})$$

$$= 108.8 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (108.8)^2}$$

$$t_r = \sqrt{14287.44}$$

$$t_r = 119.53 \text{ ps}$$

#### **Jalur Jogyakarta Semarang**

$$t_r = \sqrt{t_{\text{sumber}}^2 + t_{\text{det}}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \delta_\lambda \cdot L = (17 \text{ ps/nm.km}) \times (0.1 \text{ nm}) \times (109 \text{ km})$$

$$= 185.3$$

$$t_r = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (185.3)^2}$$

$$t_r = \sqrt{36786.09}$$

$$t_r = 191.79 \text{ ps}$$

Dari hasil perhitungan *rise time budget*, diperoleh bahwa *rise time* untuk setiap jalur melebihi nilai *rise time* sistem, sehingga untuk setiap jalurnya memerlukan kompensator dispersi. Modul kompensator dispersi (DCM) digunakan untuk mengkompensasi efek dispersi pada serat optik pada jarak tertentu. DCM adalah perangkat pasif, tidak membutuhkan daya dan perawatan.

Dispersi kromatik yang terjadi di sepanjang serat optik merupakan dispersi positif. DCM berfungsi untuk membuang nilai dispersi kromatik positif tersebut pada jarak tertentu pada serat optik. DCM menghasilkan nilai dispersi kromatik negatif dimana nilai DCM tergantung pada jarak kompensasi DCM dan tipe perangkat. Nilai dispersi negatif yang diberikan DCM akan mengurangi nilai dispersi positif yang dihasilkan serat optik sehingga nilai dispersi yang dihasilkan serat akan mendekati nol hingga pada jarak tertentu.

Pada perencanaan jalur Semarang Solo dengan jarak 115 km digunakan DCM (*Dispersi Compensation Module*) yang mampu mengkompensasi efek dispersi untuk serat optik sejauh 100 km.

#### **Jalur Semarang – Solo dengan DCM**

$$t_r = \sqrt{t_{sumber}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \delta_\lambda \cdot L = (17 \text{ ps/nm.km}) \times (0.1 \text{ nm}) \times (115 \text{ km} - 100 \text{ km}) \\ = 25.5 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (59.5)^2}$$

$$t_r = \sqrt{3100.25}$$

$$t_r = 55.67 \text{ ps}$$

Dari perhitungan diatas diketahui nilai total *rise time* perencanaan serat optik untuk jalur Semarang – Solo bernilai 55.67 ps, dan nilai ini kurang dari nilai *rise time* sistem (70 ps). Sehingga perencanaan ini dapat diimplementasikan.

Pada perencanaan jalur Solo - Yogyakarta dengan jarak 64 km digunakan DCM (*Dispersi Compensation Module*) yang mampu mengkompensasi efek dispersi untuk serat optik sejauh 40 km.

#### **Jalur Solo-Jogyakarta dengan DCM**

$$t_r = \sqrt{t_{sumber}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \delta_\lambda \cdot L = (17 \text{ ps/nm.km}) \times (0.1 \text{ nm}) \times (64 \text{ km} - 40 \text{ km}) \\ = 40.8 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (40.8)^2}$$

$$t_r = \sqrt{4114.64}$$

$$t_r = 64.14 \text{ ps}$$

Dari perhitungan diatas diketahui nilai total *rise time* perencanaan serat optik untuk jalur Solo - Yogyakarta bernilai 64.14 ps, dan nilai ini kurang dari nilai *rise time* sistem (70 ps). Sehingga perencanaan ini dapat diimplementasikan.

Pada perencanaan jalur Yogyakarta - Semarang dengan jarak 109 km digunakan DCM (*Dispersi Compensation Module*) yang mampu mengkompensasi efek dispersi untuk serat optik sejauh 80 km.

### Jalur Yogyakarta Semarang dengan DCM

$$t_r = \sqrt{t_{sumber}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \delta_\lambda \cdot L = (17 \text{ ps/nm.km}) \times (0.1 \text{ nm}) \times (109 \text{ km} - 80 \text{ km}) \\ = 49.3 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (49.3)^2}$$

$$t_r = \sqrt{4880.49}$$

$$t_r = 69.86 \text{ ps}$$

Dari perhitungan diatas diketahui nilai total *rise time* perencanaan serat optik untuk jalur Yogyakarta - Semarang bernilai 69.86 ps, dan nilai ini kurang dari nilai *rise time* sistem (70 ps). Sehingga perencanaan ini dapat diimplementasikan.

### 3.7 Power Link Budget

#### 3.7.1 Perhitungan Jumlah Sambungan *Splice*

Sesuai dengan persamaan (2.4), maka jumlah sambungan *splice* serat optik yang diperlukan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

#### Jalur Semarang – Solo

$$n_s = \frac{L}{Ld} - 1$$

$$n_s = \frac{115}{2} - 1 = 56.5$$

$$n_s = 57 \text{ splice}$$

#### Jalur Solo - Yogyakarta

$$n_s = \frac{L}{Ld} - 1$$

$$n_s = \frac{64}{2} - 1 = 31$$

$$n_s = 31 \text{ splice}$$

#### Jalur Yogyakarta – Semarang

$$n_s = \frac{L}{Ld} - 1$$

$$n_s = \frac{109}{2} - 1 = 53.5$$

$$n_s = 54 \text{ splice}$$

### 3.7.2 Perhitungan Jarak Maksimum tanpa Penguat

Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui perlu tidaknya penggunaan penguat dalam perencanaan *link* transmisi ini. Melalui perhitungan jarak maksimum yang mampu dicapai, dapat diketahui apakah diperlukan untuk menambahkan penguat atau tidak. Dengan menggunakan persamaan (2.3) jarak maksimum tersebut dapat dihitung seperti dibawah ini.

$$L = \frac{P_s - P_d - (n_c \cdot L_c) - (n_s \cdot L_s) - PM}{L_f}$$

$n_s$  yang digunakan untuk perhitungan ini adalah jumlah *splice* untuk jalur Semarang – Solo yang memiliki jalur paling jauh dan jumlah *splice* paling banyak yaitu 57 *splice*.

$$L = \frac{14 - (-31) - (2 \times 0.25) - (57 \times 0.08) - 5}{0.2}$$

$$L = 174.7 \text{ km}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jika jarak jalur melebihi 174.7 km maka pada jalur tersebut harus diletakkan penguat untuk menjamin agar daya yang diterima di penerima tetap baik. Karena dalam perencanaan ini jarak yang digunakan kurang dari 174.7 km sehingga tidak dibutuhkan sebuah penguat.

Berdasarkan penjelasan pada sub bab 2.7.2 dijelaskan bahwa apabila pada suatu jalur tidak ditambahkan penguat maka jumlah konektor yang dibutuhkan sebanyak dua buah yang terhubung ke terminal utama dan jumlah *splice* yang dibutuhkan sesuai dengan perhitungan diatas. Apabila pada jalur ditempatkan penguat maka selain membutuhkan jumlah sambungan *splice* sesuai perhitungan diatas, jalur tersebut juga membutuhkan dua buah sambungan *splice* dan dua buah konektor untuk terhubung dengan terminal utama.

### 3.8 Perhitungan BER

Sistem ini menggunakan detektor optik APD. Untuk panjang gelombang 1550 nm, tipe APD yang bisa digunakan APD InGaAs (*Indium Gallium Arsenide*). APD InGaAs mempunyai karakteristik responsivity 10 A/W (lampiran 1), faktor penguatan 30 dan *ratio carrier ionization* 0.5, dengan menggunakan persamaan 2.10 maka nilai  $F(M)$  berikut:

$$F(M) = M \left\{ 1 - (1 - k) \left( \frac{M - 1}{M} \right)^2 \right\}$$

$$F(M) = 30 \left\{ 1 - (1 - 0.5) \left( \frac{30 - 1}{30} \right)^2 \right\}$$

$$F(M) = 16$$

Lebar pita untuk bit rate pulsa NRZ 10 Gbps adalah:

$$B = 0.5 B_T$$

$$B = 0.5 \times 10$$

$$B = 5 \text{ GHz}$$

Sensitivitas penerima -31 dBm.

$$\left[ \frac{S}{N} \right] = \frac{RP}{2eBF(M)}$$

$$\left[ \frac{S}{N} \right] = \frac{10(7.94 \times 10^{-6})}{2(1.6 \times 10^{-19})(5 \times 10^9)16}$$

$$\frac{S}{N} = 310$$

$$\frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}} = 6.22$$

$$\frac{1}{2} \operatorname{erfc} 6.22 = 2.8 \times 10^{-18}$$

Dengan menggunakan parameter – parameter yang ada, hasil perhitungan BER yang diperoleh  $2.8 \times 10^{-18}$ . Nilai BER yang diperoleh ini melebihi nilai BER yang diinginkan yaitu sebesar  $10^{-15}$ .

### 3.9 Perencanaan Multiplexer

Pada perencanaan ini kapasitas yang dibutuhkan adalah 40 GHz, maka yang dibutuhkan hanya 4 kanal. Namun perangkat multiplexer yang dipilih

adalah multiplexer dengan 40 kanal dengan spasi kanal 100 GHz. Kelebihan kanal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kemungkinan kebutuhan kapasitas kanal di masa yang akan datang, sehingga apabila ingin menambah kapasitas tidak perlu menambah perangkat lagi. Dengan menggunakan multiplexer 40 kanal dengan spasi kanal 100 GHz (0,8 nm) maka kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan 400 GHz. Sesuai dengan standar ITU-T G.692 dalam perencanaan DWDM ini frekuensi tengah yang digunakan adalah 193.10 THz. Kanal – kanal yang digunakan ini berada pada daerah frekuensi 196.10 THz – 192.10 THz (1528.77nm – 1560.61nm). Tabel 3.3 berikut adalah konversi spasi frekuensi terhadap spasi lamda.

Tabel 3.3 Konversi Spasi Frekuensi terhadap spasi lamda.

Spasi Frekuensi (GHz)	Spasi Lamda (nm)
12.5	0.1
50	0.4
100	0.8
120	1
200	1.6
250	2

Salah satu kelebihan DWDM adalah bahwa semakin sempit jarak antar kanal, maka akan semakin besar jumlah panjang gelombang yang dapat ditampung, hal ini dapat terlihat dari tabel dan grafik berikut yang menunjukkan pengaruh antara laju data dan spasi kanal terhadap kapasitas multiplexer

Tabel 3.4 Pengaruh laju data dan spasi kanal terhadap kapasitas

Kapasitas DWDM dgn spasi kanal 12.5GHz		
Data Rate (Gbps)	Maksimum Jumlah Kanal	Kapasitas Maksimum(GHz)
2.5	160	400
5	160	800
10	160	1600
40	160	6400
Kapasitas DWDM dgn spasi kanal 50GHz		
Data Rate (Gbps)	Maksimum Jumlah Kanal	Kapasitas Maksimum(GHz)
2.5	80	200
5	80	400
10	80	800
40	80	3200
Kapasitas DWDM dgn spasi kanal 100GHz		
Data Rate (Gbps)	Maksimum Jumlah Kanal	Kapasitas Maksimum(GHz)
2.5	40	100
5	40	200
10	40	400
40	40	1600

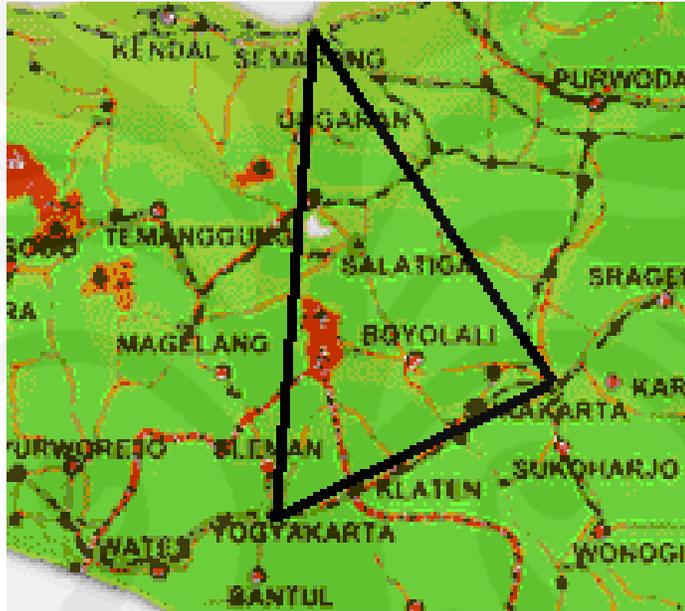
Sesuai dengan standar ITU-T G.692 bahwa daerah frekuensi yang digunakan untuk DWDM berada pada 196.10 THz – 192.10 THz sehingga diperoleh selisih band frekuensi 4THz atau 4000 GHz. Untuk spasi kanal 100 GHZ maka maksimum jumlah kanal yang diperoleh adalah 40 kanal. Untuk spasi kanal 50 GHz maka maksimum jumlah kanal yang diperoleh adalah 80 kanal, dan untuk spasi kanal 12.5 GHz maka maksimum jumlah kanal yang diperoleh adalah 160 kanal. Semakin sempit jarak antar kanal maka jumlah kanal maksimum akan semakin besar.

## BAB 4

### ANALISIS PERENCANAAN SERAT OPTIK DWDM JALUR SEMARANG SOLO JOGYAKARTA

#### 4.1 Peta Perencanaan

Gambar 4.1 berikut merupakan peta perencanaan jaringan serat optik DWDM Jalur Semarang Solo Yogyakarta. Garis berwarna hitam menunjukkan jalur yang dilalui oleh serat optik pada perencanaan ini.

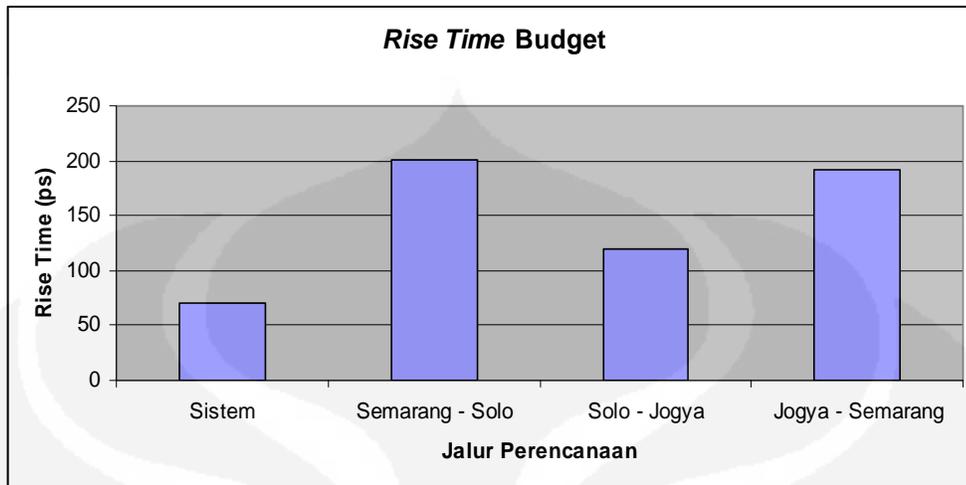


**Gambar 4.1** Peta Perencanaan Jaringan serat optik DWDM jalur Semarang Solo Yogyakarta

Pada gambar dapat dilihat bahwa peta perencanaan jaringan serat optik DWDM jalur Semarang Solo Yogyakarta ini mengambil jarak terdekat antara kota – kota tersebut. Hal ini dikarenakan perencanaan ini adalah *point to point*.

#### 4.2 Rise Time Budget

Gambar 3.2 berikut menunjukkan grafik *rise time budget* jalur perencanaan serat optik DWDM Semarang – Solo – Yogyakarta.

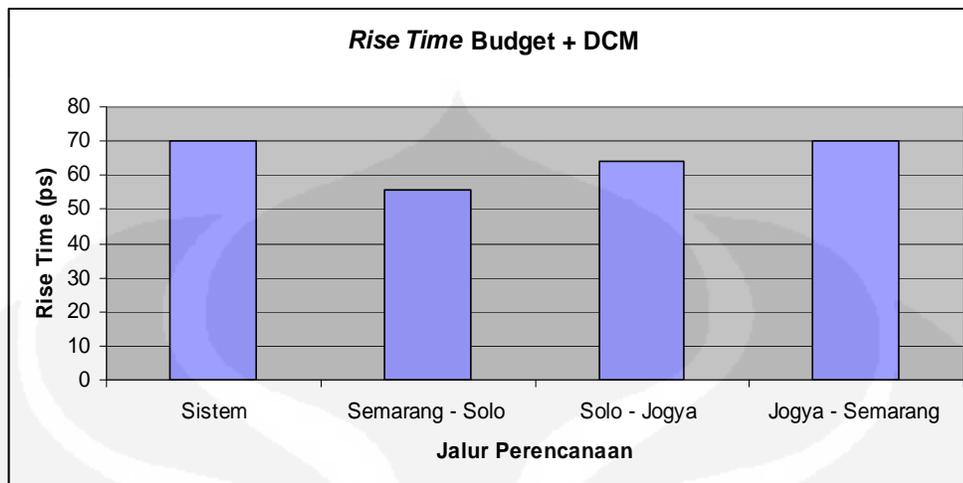


**Gambar 4.2** Grafik *Rise Time Budget* jalur perencanaan serat optik DWDM Semarang – Solo – Yogyakarta.

Analisis *rise time* ini diperlukan untuk menentukan apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai ataukah belum. Sesuai dengan hasil perhitungan di bab 3 dapat diketahui bahwa nilai *rise time* sistem 70 ps. Nilai *rise time* ini akan dijadikan sebagai pembanding nilai *rise time* setiap jalur perencanaan, sehingga dapat ditentukan apakah jaringan serat optik yang direncanakan sudah memenuhi syarat atau tidak.

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh bahwa nilai *rise time* untuk setiap jalur perencanaan melebihi nilai *rise time* sistem seperti terlihat pada gambar 4.2. Hal ini berarti perencanaan ini belum memenuhi syarat sehingga tidak dapat diimplementasikan. Untuk itu dibutuhkan kompensator dispersi (DCM) dalam perencanaan ini agar nilai *rise time* setiap jalur perencanaan tidak melebihi nilai *rise time* sistem.

Hasil perhitungan *rise time* setiap jalur perencanaan setelah menggunakan DCM menunjukkan bahwa nilai *rise time* setiap jalur kurang dari nilai *rise time* sistem seperti terlihat pada gambar 4.3. Sehingga perencanaan serat optik DWDM ini dapat diimplementasikan.



**Gambar 4.3** Grafik *Rise Time Budget* jalur perencanaan serat optik DWDM Semarang – Solo – Yogyakarta dengan menggunakan DCM.

#### 4.3 Power Link Budget

Analisis *power link budget* diperlukan untuk menjamin tingkatan daya terima pada penerima masih berada diatas batas minimum sensitivitas penerima sehingga sinyal informasi yang dikirim oleh pengirim dapat diterima dengan baik oleh penerima. Untuk mendapatkan informasi perlu atau tidaknya penguat dalam suatu jaringan optik maka harus dihitung jarak maksimum yang dapat ditempuh jaringan serat optik tersebut, tentunya dengan merujuk pada parameter perangkat yang digunakan. Apabila jarak tempuh maksimum serat optik tersebut kurang dari jarak jalur perencanaan maka diperlukan penguat. Merujuk pada data dan hasil perhitungan pada bab 3, yaitu

- a. Jarak jalur perencanaan Semarang - Solo = 115 km
- b. Jarak jalur perencanaan Solo – Yogyakarta = 64 km
- c. Jarak jalur perencanaan Yogyakarta - Semarang = 109 km
- d. Jarak transmisi maksimum tanpa penguat = 174.7 km

Dari keterangan diatas dapat diketahui bahwa perencanaan serat optik ini tidak membutuhkan penguat, karena jarak jalur perencanaan tidak melebihi jarak transmisi maksimum tanpa penguat.

#### 4.4 Jumlah Sambungan *Splice* dan Konektor

Pada suatu perencanaan jaringan serat optik, kehadiran sambungan *splice* serat optik dan konektor sangat diperlukan. Sambungan serat optik diperlukan karena panjang gulungan kabel serat optik yang ada dipasaran panjangnya terbatas ( 2 km/roll untuk kabel darat) sehingga untuk menjangkau jarak transmisi sesuai dengan perencanaan maka kabel serat optik tersebut harus disambung. Ketika melakukan proses penyambungan, tingkat ketelitian sangat diperlukan, hal ini dikarenakan apabila sambungan kabel tidak sempurna maka sambungan serat optik tersebut akan menyumbangkan jumlah redaman yang tidak kecil. Selain sambungan serat optik, jumlah konektor juga wajib diperhitungkan karena kedua komponen ini memiliki nilai redaman yang juga mempengaruhi pada perhitungan *link power budget*. Tabel 4.1 dibawah ini menunjukkan jumlah sambungan dan konektor yang diperlukan pada perencanaan jaringan serat optik ini.

Tabel 4.1 Jumlah sambungan *splice* dan jumlah konektor

Jalur Perencanaan	Jumlah Sambungan <i>splice</i>	Jumlah Konektor
Semarang - Solo	57	2
Solo - Jogja	31	2
Jogya - Semarang	54	2

Berdasarkan penjelasan pada sub bab 2.7.2 dijelaskan bahwa apabila pada suatu jalur tidak ditambahkan penguat maka jumlah konektor yang dibutuhkan sebanyak dua buah yang terhubung ke terminal utama dan jumlah *splice* yang dibutuhkan sesuai dengan perhitungan diatas. Apabila pada jalur ditempatkan penguat maka selain membutuhkan jumlah sambungan *splice* sesuai perhitungan diatas, jalur tersebut juga membutuhkan dua buah sambungan *splice* dan dua buah konektor untuk terhubung dengan terminal utama.

#### 4.5 Analisis BER

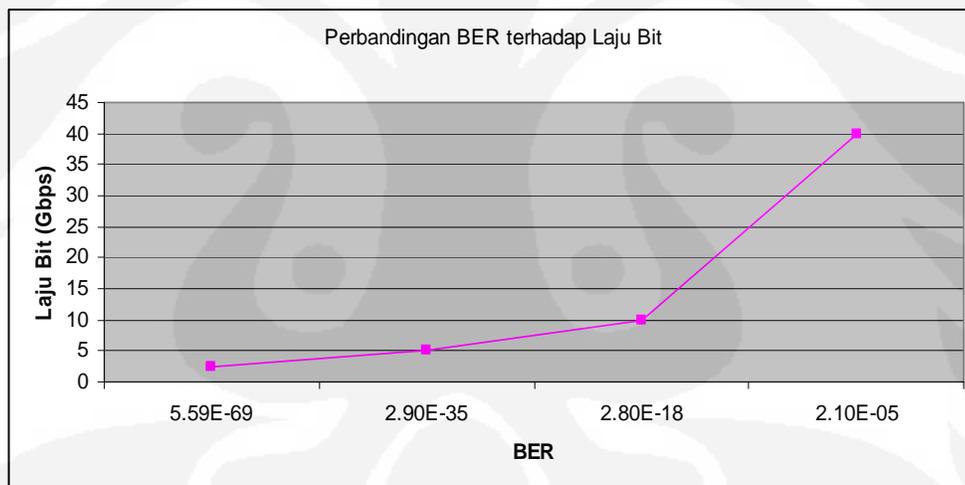
Kualitas sinyal dalam kode – kode biner yang ditransmisikan diindikasikan dengan BER (*bit error rate*). Pada ITU-T G.692 direkomendasikan bahwa nilai BER untuk serat optik DWDM minimum  $10^{-12}$  artinya ada 1 bit salah dalam tiap  $10^{12}$  bit. Sehingga semakin kecil nilai BER, nilai bit yang salah akan semakin kecil dan sistem komunikasi ini akan semakin baik.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai BER pada bab 3.8 diperoleh nilai BER sebesar  $2.8 \times 10^{-18}$ . Nilai BER ini melebihi standar BER yang diinginkan oleh PT. Indosat yaitu sebesar  $10^{-15}$ . Nilai BER yang diinginkan kecil mengingat perencanaan ini digunakan untuk *long haul* dan digunakan sebagai *backbone* sehingga dibutuhkan kualitas yang bagus.

Tabel 4.2 Perbandingan antara nilai laju bit terhadap BER dan SNR

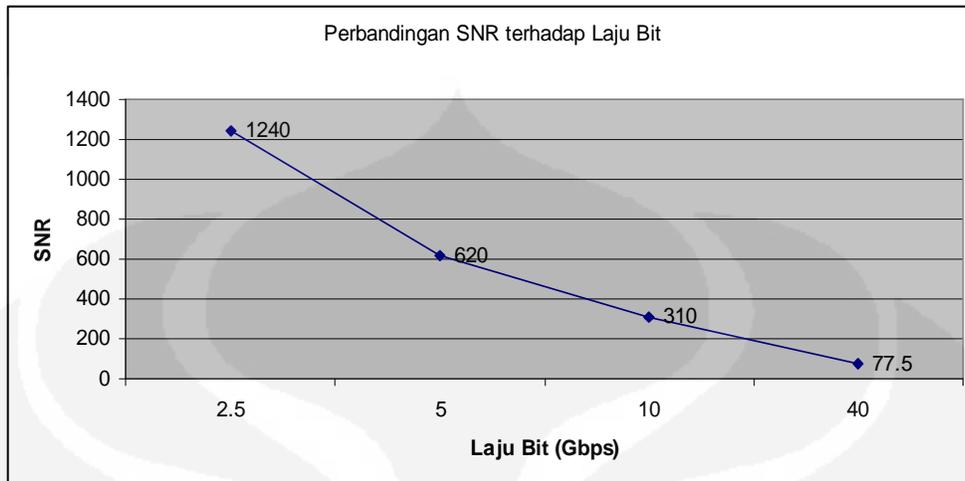
Bit Rate	BER	SNR
2.5	5.59E-69	1240
5	2.90E-35	620
10	2.80E-18	310
40	2.10E-05	77.5

Apabila perhitungan nilai BER pada bab 3.8 dilakukan tetapi dengan mengubah – ubah nilai laju bit yang digunakan, maka akan diperoleh nilai BER dan SNR seperti pada tabel 4.2.



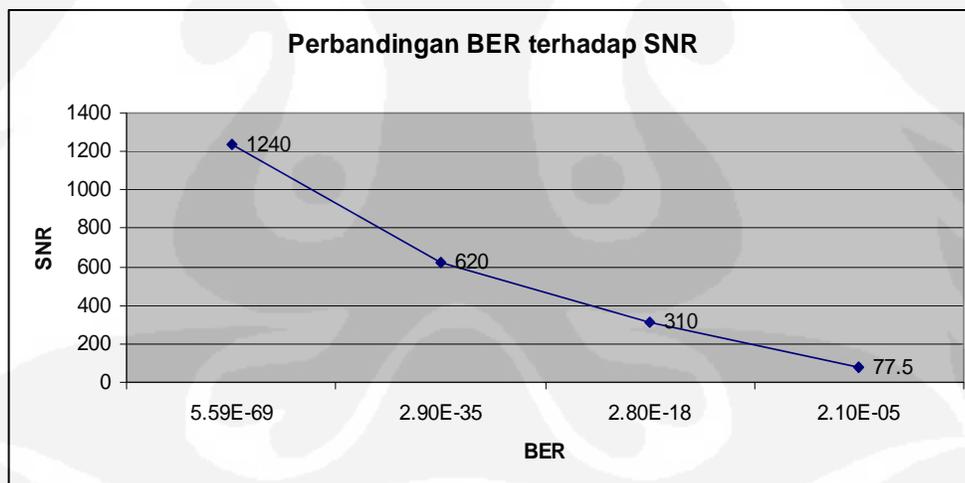
**Gambar 4.4** Grafik Perbandingan BER terhadap laju Bit

Dari grafik pada gambar 4.4 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar laju bit maka BER yang diperoleh akan semakin besar. Nilai BER terkecil diperoleh ketika laju bit yang digunakan 2.5 Gbps dan nilai BER terbesar diperoleh ketika nilai laju bit 40 Gbps. Sehingga dapat disimpulkan bahwa antara BER dengan laju bit berbanding lurus.



**Gambar 4.5** Perbandingan nilai SNR terhadap laju bit

Dari grafik pada gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar laju bit maka nilai SNR yang diperoleh akan semakin kecil. Nilai SNR terkecil diperoleh ketika laju bit yang digunakan 40 Gbps dan nilai BER terbesar diperoleh ketika nilai laju bit 2.5 Gbps. Sehingga dapat disimpulkan bahwa antara SNR dengan laju bit berbanding terbalik.



**Gambar 4.6** Perbandingan BER nilai terhadap SNR

Dari grafik pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai SNR maka BER yang diperoleh semakin kecil dan sistem semakin bagus.

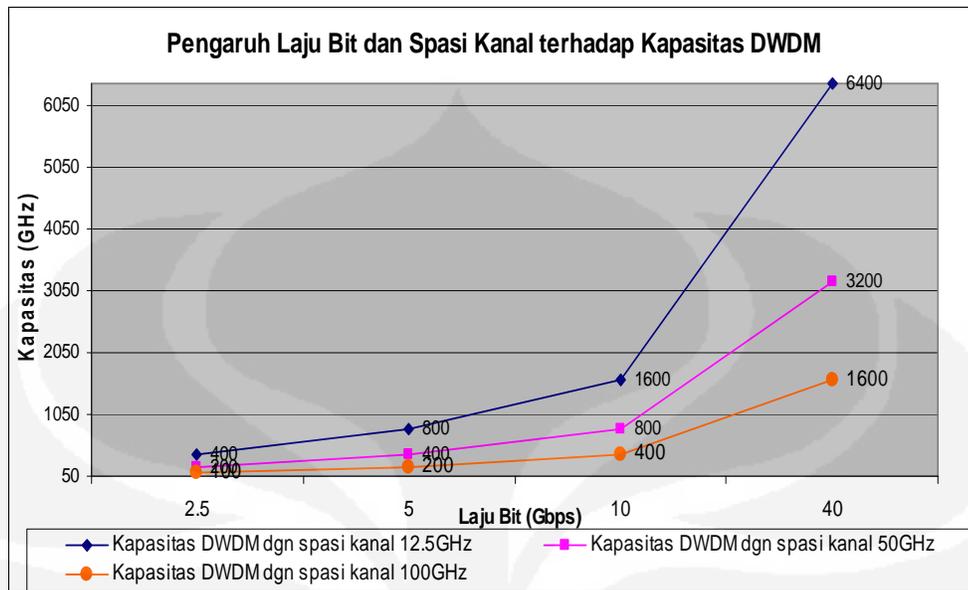
#### 4.6 Multiplekser

Pada perencanaan ini kapasitas yang dibutuhkan adalah 40 GHz, maka yang dibutuhkan hanya 4 kanal. Namun perangkat multiplekser yang dipilih adalah multiplekser dengan 40 kanal dengan spasi kanal 100 GHz. Kelebihan kanal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kemungkinan kebutuhan kapasitas kanal di masa yang akan datang, sehingga apabila ingin menambah kapasitas tidak perlu menambah perangkat lagi

Dengan menggunakan multiplekser 40 kanal dengan spasi kanal 100 GHz (0,8 nm) maka kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan 400 GHz. Sesuai dengan standar ITU-T G.692 dalam perencanaan DWDM ini frekuensi tengah yang digunakan adalah 193.10 THz. Kanal – kanal yang digunakan berada pada daerah frekuensi 196.10 THz – 192.10 THz (1528.77 nm – 1560.61nm).

Tabel 4.3 Pengaruh laju data dan spasi kanal terhadap kapasitas

Kapasitas DWDM dgn spasi kanal 12.5GHz		
Data Rate (Gbps)	Maksimum Jumlah Kanal	Kapasitas Maksimum(GHz)
2.5	160	400
5	160	800
10	160	1600
40	160	6400
Kapasitas DWDM dgn spasi kanal 50GHz		
Data Rate (Gbps)	Maksimum Jumlah Kanal	Kapasitas Maksimum(GHz)
2.5	80	200
5	80	400
10	80	800
40	80	3200
Kapasitas DWDM dgn spasi kanal 100GHz		
Data Rate (Gbps)	Maksimum Jumlah Kanal	Kapasitas Maksimum(GHz)
2.5	40	100
5	40	200
10	40	400
40	40	1600



**Gambar 4.7** Pengaruh Laju bit dan spasi kanal terhadap besar kapasitas multiplexer

Dari grafik pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai laju bit kapasitas multiplexer semakin besar. Nilai kapasitas terbesar diperoleh ketika nilai laju bit 40 Gbps dan spasi kanal 12.5 GHz. Dari tabel 4.3 dan gambar 4.7 dapat dikatakan bahwa semakin sempit jarak antar kanal dan semakin besar laju bit maka kapasitas multiplexer akan semakin besar pula dan juga sebaliknya.

#### 4.7 Analisa Data OTDR Semarang – Solo

Tabel 4.4 Perhitungan total redaman pada serat optik jalur Semarang Solo

Total Redaman Semarang Solo			
Unit	Jumlah Unit	Redaman(dB)	Jumlah Redaman (dB)
Sambungan splice	57	0.08	4.56
Konektor	2	0.25	0.5
Serat Optik	115	0.2	23
Rugi – rugi Total			28.06

Dalam perhitungan rugi – rugi total dengan menggunakan parameter – parameter redaman yang sudah ditetapkan sebelumnya diperoleh nilai rugi – rugi total sebesar 28.06 dB. Nilai rugi – rugi total ini diperoleh dengan menjumlahkan nilai rugi – rugi yang disebabkan oleh adanya penyambungan splice, rugi – rugi akibat redaman konektor dan redaman serat optik itu sendiri.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran OTDR untuk jalur Semarang Solo

No.	Jarak (m)	Jumlah Redaman (dB)
1	6,416	1.226
2	10,490	1.996
3	12,620	2.556
4	15,028	3.169
5	19,069	3.949
6	21,330	4.671
7	25,624	5.339
8	29,551	6.769
9	36,906	8.355
10	39,069	8.71
11	47,575	10.591
12	53,967	11.778
13	60,244	13.182
14	62,342	13.798
15	69,101	15.477
16	81,681	18.419
17	83,958	19.192
18	94,832	21.614
19	100,032	22.813
20	105,233	24.013
21	110,434	25.212
22	115,635	26.411

Tabel 4.5 adalah hasil pengukuran rugi – rugi total untuk jalur optik Semarang Solo dilapangan. Dari tabel terlihat bahwa pada jarak 115 km total rugi – rugi yang terukur sebesar 26.44 dB.



Gambar 4.8 Grafik hasil pengukuran jumlah redaman untuk jalur Semarang Solo

Dari tabel 4.4 hasil perhitungan redaman perencanaan diperoleh nilai total redaman pada sistem transmisi untuk jalur Semarang Solo diperoleh sebesar 28.06 dB. Sementara hasil pengukuran pada tabel 4.5 menunjukkan hasil yang lebih kecil yaitu sebesar 26.44 dB. Nilai perhitungan lebih besar dibandingkan hasil pengukuran, hal ini disebabkan oleh kualitas serat optik yang baik yaitu dengan BER  $2.8 \times 10^{18}$ . Dengan demikian untuk jalur Semarang Solo memberikan hasil yang baik.

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Perencanaan serat optik DWDM Semarang Solo Yogyakarta ini tidak membutuhkan penguat karena jarak jalur perencanaan (jarak terjauh 115 km) tidak melebihi jarak transmisi maksimum tanpa penguat 174.7 km, dan merupakan perencanaan *point to point*, dan setiap jalur perencanaan menggunakan DCM untuk mengkompensai nilai *rise time* sehingga perencanaan ini dapat diimplementasikan.
2. Dengan menggunakan parameter – parameter yang ada, diperoleh bahwa nilai BER perencanaan ini baik yaitu sebesar  $2.8 \times 10^{-18}$ , nilai ini melebihi nilai BER yang distandarkan PT. INDOSAT  $1 \times 10^{-15}$ .
3. Pada perhitungan rugi – rugi total dengan memakai redaman – redaman yang ditetapkan, hasil perhitungan yang didapat yaitu sebesar 28.06 dB, lebih besar dari hasil pengukuran rugi –rugi total di lapangan yang hanya sebesar 26.4 dB. Hal ini disebabkan kualitas dari serat yang baik sehingga tidak sebanding dengan redaman yang ditetapkan.
4. Kapasitas maksimum DWDM sangat dipengaruhi besar laju bit dan jarak antar kanal. Semakin besar laju bit, kapasitas akan semakin besar dan semakin kecil jarak antar kanal semakin besar pula kapasitas DWDM.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Keiser, Gerard, "*Optical Fiber Communication 2rd Edition*", Mc.Graw-Hill Inc., 1991.
- [2] Rochmah, *Diktat Perencanaan Sistem Transmisi*, (Depok 2009/2010), Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [3] "*Introduction to DWDM Technology*", Cisco Systems.Inc,2000
- [4] Laferiere,J,"Reference Guide to Fiber Optic Testing volume 1, 2007, JDSU
- [5] "*DWDM Primer* ",Fujitsu Communication.Inc,2004

**Lampiran 1**  
**Data Detektor Optik**

PARAMETER	UNIT	SILICON		GERMANIUM		InGaAs	
		PIN	APD	PIN	APD	PIN	APD
WAVELENGTH PEAK	nm	900	830	1550	1300	1300(1550)	1300(1550)
PEAK	R	0.6	77-130	0.65-0.7	28-Mar	0.63-0.8 (0.75-0.97)	
RESPONSIVITY CHIP	R	0.35-0.55	50-120	0.5-0.65	2.5-25	0.5-0.7 (0.6-0.8)	
COUPLED	%	65-90	77	50-55	55-75	60-70	60-70
QUANTUM EFICIENCY	G	1	150-250	1	5 -40	1	10 -30
GAIN	x		0.3-0.5		0.95-1		0.7
EXCESS NOISE FACTOR	k		0.02-0.08		0.7-1		0.3-0.5
BIAS VOLTAGE	(-v)	45-100	220	6 -10	20-35	5	<30
NON MULT	nA	1 - 10		50-500		1- 20	1 - 5
MULT	nA		0.1-1.0		10-500		1 - 5
CAPACITANCE	pF	1,2 - 3	1.3-2	2 s/d 5	2 s/d 5	0.5 - 2	0.5

## Lampiran 2

### Nominal central frequencies

Table 1 gives nominal central frequencies based on the 100/50 GHz channel spacing anchored to the 193.10 THz reference. Note that the value of "c" (speed of light) that shall be used for converting between frequency and wavelength is  $2.99792458 \times 10^8$  m/s.

**Table 1/ITU-T G.692 Nominal central frequencies**

Nominal central frequencies (THz) for spacings of 50 GHz	Nominal central frequencies (THz) for spacings of 100 GHz and above	Nominal central wavelengths (nm)
196.1	196.1	1528.77
196.05	–	1529.16
196	196	1529.55
195.95	–	1529.94
195.9	195.9	1530.33
195.85	–	1530.72
195.8	195.8	1531.12
195.75	–	1531.51
195.7	195.7	1531.9
195.65	–	1532.29
195.6	195.6	1532.68
195.55	–	1533.07
195.5	195.5	1533.47
195.45	–	1533.86
195.4	195.4	1534.25
195.35	–	1534.64
195.3	195.3	1535.04
195.25	–	1535.43
195.2	195.2	1535.82
195.15	–	1536.22
195.1	195.1	1536.61
195.05	–	1537
195	195	1537.4
194.95	–	1537.79
194.9	194.9	1538.19
194.85	–	1538.58
194.8	194.8	1538.98
194.75	–	1539.37
194.7	194.7	1539.77
194.65	–	1540.16
194.6	194.6	1540.56
194.55	–	1540.95
194.5	194.5	1541.35

**Table 1/ITU-T G.692 Nominal central frequencies (continued)**

Nominal central frequencies (THz) for spacings of 50 GHz	Nominal central frequencies (THz) for spacings of 100 GHz and above	Nominal central wavelengths (nm)
194.45	–	1541.75
194.4	194.4	1542.14
194.35	–	1542.54
194.3	194.3	1542.94
194.25	–	1543.33
194.2	194.2	1543.73
194.15	–	1544.13
194.1	194.1	1544.53
194.05	–	1544.92
194	194	1545.32
193.95	–	1545.72
193.9	193.9	1546.12
193.85	–	1546.52
193.8	193.8	1546.92
193.75	–	1547.32
193.7	193.7	1547.72
193.65	–	1548.11
193.6	193.6	1548.51
193.55	–	1548.91
193.5	193.5	1549.32
193.45	–	1549.72
193.4	193.4	1550.12
193.35	–	1550.52
193.3	193.3	1550.92
193.25	–	1551.32
193.2	193.2	1551.72
193.15	–	1552.12
193.1	193.1	1552.52
193.05	–	1552.93
193	193	1553.33
192.95	–	1553.73
192.9	192.9	1554.13
192.85	–	1554.54
192.8	192.8	1554.94
192.75	–	1555.34
192.7	192.7	1555.75
192.65	–	1556.15
192.6	192.6	1556.55
192.55	–	1556.96
192.5	192.5	1557.36

**Table 1/ITU-T G.692 Nominal central frequencies (continued)**

Nominal central frequencies (THz) for spacings of 50 GHz	Nominal central frequencies (THz) for spacings of 100 GHz and above	Nominal central wavelengths (nm)
192.45	–	1557.77
192.4	192.4	1558.17
192.35	–	1558.58
192.3	192.3	1558.98
192.25	–	1559.39
192.2	192.2	1559.79
192.15	–	1560.2
192.1	192.1	1560.61