



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERENCANAAN JARINGAN SERAT OPTIK *DWDM***

**PT. BAKRIE TELECOM, Tbk**

***LINK BOGOR – BANDUNG***

**SKRIPSI**

**DIAN AGUS SALIM**

**0606 042 443**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**DESEMBER 2008**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERENCANAAN JARINGAN SERAT OPTIK *DWDM***

**PT. BAKRIE TELECOM, Tbk**

***LINK BOGOR – BANDUNG***

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Sarjana Teknik

**DIAN AGUS SALIM**

**0606 042 443**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**DESEMBER 2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : DIAN AGUS SALIM**

**NPM : 0606042802**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 12 Desember 2008**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Dian Agus Salim

NPM : 06 06 042 443

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Perencanaan Jaringan Serat Optik *DWDM* PT. Bakrie Telecom,  
Tbk *link* Bogor – Bandung.

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. Ny. Rochmah N Sukardi, M.Sc.



Penguji : Dr. Ir. Arman D. Diponegoro



Penguji : Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc. Ph.D



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Desember 2008

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Ny. Rochmah N Sukardi, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Romeo Pangudiluhur, ST selaku teman kerja sekaligus pembimbing lapangan yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan.
- (3) Kedua orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 12 Desember 2008

Penulis

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

---

---

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

Nama : Dian Agus Salim  
NPM : 06 06 042 443  
Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Perencanaan Jaringan Serat Optik *DWDM*  
PT. Bakrie Telecom, Tbk *link* Bogor – Bandung.

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 tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 12 Desember 2008  
Yang menyatakan

( Dian Agus Salim )

## ABSTRAK

Nama : Dian Agus Salim  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Perencanaan Jaringan Serat Optik *DWDM*  
PT. Bakrie Telecom, Tbk *Link* Bogor - Bandung

Persaingan antar penyedia jasa layanan di dunia telekomunikasi saat ini semakin ketat. Sehingga setiap penyedia jasa layanan telekomunikasi harus meningkatkan kinerja pelayanannya dan dituntut untuk mampu memanfaatkan teknologi agar biaya operasional perusahaan dapat ditekan. Oleh sebab itu, PT. Bakrie Telecom, Tbk sebagai salah satu penyedia jasa layanan telekomunikasi di Indonesia telah merumuskan berbagai kebijakan. Salah satunya adalah merencanakan pembangunan jaringan serat optik yang menghubungkan kota Bogor dengan kota Bandung.

Pada skripsi ini, akan dilakukan perencanaan jaringan serat optik *DWDM* (*dense wavelength division multiplexing*) yang menghubungkan kota Bogor dengan kota Bandung. Parameter yang digunakan pada perencanaan ini meliputi redaman sambungan (*splice*), redaman konektor, redaman serat optik dan jumlah penguat optik. Perhitungan *power link budget* dan *rise time budget* digunakan untuk menentukan apakah perencanaan yang dilakukan, sudah memenuhi kriteria dan layak untuk diimplementasikan di lapangan.

Hasil yang didapat dalam proses perhitungan menunjukkan bahwa perencanaan ini layak untuk diimplementasikan di lapangan. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan 2 buah penguat, *power link budget* dapat menjangkau jarak tempuh transmisi sejauh 243 km, sedangkan jarak tempuh *link* Bogor – Bandung sejauh 200.9 km dan nilai *rise time budget* total semua *sublink* setelah di tambahkan satu *DCM P/80* sebesar 61.3638 ps, sedangkan nilai *rise time budget* sistem sebesar 280 ps.

### Kata Kunci

*power link budget, rise time budget, splice, dense wavelength division multiplexing, DCM P/80*

## ABSTRACT

Name : Dian Agus Salim  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Planning of DWDM optical fiber network PT. Bakrie Telecom,  
Tbk link Bogor - Bandung

Nowadays, competition of telecommunication operator business is very tight, so every operator must to increase their service and able to using technology to decrease operational cost company. 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 Bogor – Bandung

This paper describes planning of DWDM network fiber optic link Bogor – Bandung. 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 sre appropriate and suitable to implementation it.

The result of calculation showed that this planning is appropriate and suitable to implementation. It proved by using 2 optical amplifier, power link budget can reach 243 kilometers of transmission distance, whereas the distance of Bogor – Bandung is 200.9 kilometers and total value sublink rise time budget after added one piece of DCM P/80 are 61.3638 ps, whereas value of rise time budget sistem is 280 ps

**Key words:**

power link budget, rise time budget, splice, dense wavelength division multiplexing, DCM P/80

## DAFTAR ISI

JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	1
1.3 Pembatasan Masalah .....	2
1.4 Sistematika Penulisan .....	2
<b>2. LANDASAN TEORI SERAT OPTIK DAN JARINGAN DWDM</b> .....	<b>4</b>
2.1 Konsep Dasar Sistem Transmisi Serat Optik .....	4
2.2 Jenis Serat Optik .....	5
2.2.1 Berdasarkan Indeks Bias Bahan .....	5
2.2.2 Berdasarkan Jumlah <i>Mode</i> yang Merambat Dalam Serat Optik .....	6
2.3 Karakteristik Serat Optik .....	7
2.3.1 <i>Numerical Aperture (NA)</i> .....	7
2.3.2 Redaman .....	8
2.3.3 Dispersi .....	8
2.4 Sumber Optik .....	9
2.5 Detektor Optik .....	9
2.6 Kelebihan dan Kekurangan Transmisi Serat Optik .....	10
2.7 Parameter Unjuk Kerja untuk Menganalisis <i>Link</i> Transmisi	

Serat Optik	11
2.7.1 Perhitungan Daya Sinyal ( <i>Power Budget</i> )	12
2.7.2 <i>Rise Time Budget</i>	13
2.7.3 Perhitungan Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor	13
2.8 <i>Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)</i>	14
2.8.1 Elemen Jaringan <i>DWDM</i>	15
2.8.2 Serat Optik <i>Singlemode</i> yang Mendukung <i>DWDM</i>	16
2.9 <i>Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)</i>	17
2.10 <i>Synchronous Digital Hierarchy (SDH)</i>	18
<b>3. PERENCANAAN JARINGAN DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)</b>	<b>20</b>
3.1 Perencanaan Rute Kabel Serat Optik	20
3.2 Topologi Jaringan Serat Optik	22
3.3 Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik	23
3.4 Kebutuhan Kapasitas Kanal	24
3.5 Pemilihan Teknologi <i>Transport DWDM</i>	25
3.5.1 Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal dengan Teknologi <i>SDH</i> Tanpa Menggunakan <i>DWDM</i>	25
3.5.2 Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal dengan Teknologi <i>SDH</i> Menggunakan <i>DWDM</i>	26
3.6 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik	28
3.7 <i>Rise Time Budget</i>	28
3.8 <i>Power Link Budget</i>	28
3.8.1 Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum Tanpa Penguat	31
3.8.2 Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum dengan Penguat <i>EDFA</i>	32
3.8.3 Jarak Antar Penguat	32
3.9 Perhitungan Jumlah Sambungan ( <i>Splice</i> ) dan Konektor	33
<b>4. PERANCANGAN SIMULASI DAN ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN DWDM LINK BOGOR – BANDUNG</b>	<b>36</b>
4.1 Simulasi Perencanaan	36
4.2 Peta Perencanaan	38

4.3 Analisis Perencanaan .....	39
4.3.1 Pemilihan Teknologi <i>Transport DWDM</i> .....	39
4.3.2 <i>Rise Time Budget</i> .....	40
4.3.3 <i>Power Link Budget</i> .....	41
4.3.4 Jumlah Sambungan ( <i>Splice</i> ) dan Konektor.....	42
<b>5. KESIMPULAN .....</b>	<b>44</b>
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>45</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>46</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Konfigurasi Sistem Transmisi Serat Optik.....	4
<b>Gambar 2.2</b>	Serat Optik <i>Step-Index</i> .....	5
<b>Gambar 2.3</b>	Serat Optik <i>Graded-Index</i> .....	6
<b>Gambar 2.4</b>	Lintasan Cahaya dalam Serat Optik.....	7
<b>Gambar 2.5</b>	Konfigurasi Sistem <i>DWDM</i> Secara Umum.....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Karakteristik Redaman dan Dispersi Serat Optik.....	17
<b>Gambar 2.7</b>	Struktur Fisik <i>EDFA</i> .....	18
<b>Gambar 3.1</b>	Topologi Jaringan Serat Optik <i>DWDM Link Bogor – Bandung</i> .....	22
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	23
<b>Gambar 3.3</b>	Konfigurasi Perangkat <i>STM-4</i> untuk Sistem <i>SDH</i> Tanpa <i>DWDM</i> .....	25
<b>Gambar 3.4</b>	Konfigurasi Perangkat <i>STM-16</i> untuk Sistem <i>SDH</i> Tanpa <i>DWDM</i> .....	26
<b>Gambar 3.5</b>	Konfigurasi Perangkat <i>STM-4</i> untuk Sistem <i>SDH</i> Dengan <i>DWDM</i> .....	27
<b>Gambar 3.6</b>	Konfigurasi Perangkat <i>STM-16</i> untuk Sistem <i>SDH</i> Dengan <i>DWDM</i> .....	26
<b>Gambar 3.7</b>	Jarak Antar Penguat.....	32
<b>Gambar 4.1</b>	Tampilan Menu Program.....	36
<b>Gambar 4.2</b>	Peta Perencanaan Jaringan Serat Optik <i>DWDM</i> .....	38
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik <i>Rise Time Budget Sublink</i> Serat Optik.....	40
<b>Gambar 4.4</b>	Posisi Penguat <i>EDFA</i> .....	42

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Jarak Serat Optik.....	21
<b>Tabel 3.2</b>	Prediksi Kebutuhan Kapasitas Kanal <i>Link</i> Bogor – Bandung Sampai Tahun 2012.....	24
<b>Tabel 3.3</b>	Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik.....	28
<b>Tabel 4.1</b>	Jumlah Sambungan Serat Ooptik dan Jumlah Konektor..	43

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia Telekomunikasi berkembang begitu pesat. Kebutuhan akan saluran transmisi yang dapat menyampaikan informasi dengan cepat dan besar semakin dibutuhkan, seiring berjalannya waktu terjadi ketimpangan antara kebutuhan akan saluran transmisi dengan keterbatasan sumber daya (*bandwidth* dan *bit rate*) yang ada. Namun adanya keterbatasan tidak selalu berdampak buruk karena hal ini mendorong lahirnya teknologi-teknologi baru sebagai solusinya.

Teknologi serat optik yang dipercaya memiliki *bandwidth* dan *bit rate* tinggi terus dikembangkan demi menjawab tantangan yang ada. Salah satu perkembangannya adalah teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*. Teknologi ini merupakan teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses *multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat optik. Faktor jarak saluran transmisi antara *transmitter* dan *receiver* yang terlalu jauh seringkali membuat tingkatan daya sinyal sistem *DWDM* menurun, hal ini sangatlah merugikan. Adanya penguat mutlak diperlukan untuk mengatasi hal ini. Pada teknologi serat optik, *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)* dikenal memiliki kemampuan untuk menguatkan tingkatan daya sinyal yang mengalami pelemahan.

PT. Bakrie Telecom, Tbk sebagai salah satu operator telekomunikasi di Indonesia, dituntut untuk selalu tepat dan cepat dalam menangani berbagai masalah agar dapat memuaskan pelanggannya, salah satu masalah yang sering dihadapi adalah permintaan jaringan yang membutuhkan *bit rate* yang tinggi dan *bandwidth* yang lebar, untuk mengatasi masalah tersebut PT. Bakrie Telecom, Tbk merencanakan membuat jaringan serat optik dengan Teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*. Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang perencanaan jaringan serat optik *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* PT. Bakrie Telecom, Tbk link Bogor – Bandung.

## 1.2 Tujuan

Tujuan penyusunan penulisan skripsi ini adalah merencanakan jaringan serat optik *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* PT. Bakrie Telecom, Tbk untuk *link* Bogor – Bandung.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan mencakup rugi – rugi transmisi jaringan *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* PT. Bakrie Telecom, Tbk untuk *link* Bogor – Bandung.
2. Pembahasan mencakup analisis *power link budget*, *rise time budget*, perhitungan jumlah konektor dan jumlah sambungan (*splice*) serta analisis perlu tidaknya diberikan penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)* pada jaringan *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* PT. Bakrie Telecom, Tbk untuk *link* Bogor – Bandung.
3. Data spesifikasi jenis serat optik dan komponen penunjang yang digunakan pada perencanaan ini, disesuaikan dengan standarisasi yang telah ditentukan oleh PT. Bakrie Telecom, Tbk.

## 1.4 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri dari 5 bab dimana sistematika penulisan yang diterapkan dalam tugas akhir ini menggunakan urutan sebagai berikut :

### **BAB 1           PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang pemilihan tema, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

### **BAB 2           DASAR TEORI SERAT OPTIK DAN JARINGAN DWDM**

Bab ini membahas tentang dasar teori dari serat optik serta dasar teori jaringan *DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)*

**BAB 3 PERENCANAAN JARINGAN DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)**

Bab ini berisikan tentang data dan perhitungan perencanaan jaringan DWDM PT. Bakrie Telecom, Tbk link kota Bogor – Bandung.

**BAB 4 PERANCANGAN SIMULASI DAN ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN DWDM LINK BOGOR – BANDUNG.**

Bab ini berisikan tentang perancangan simulasi dan analisis perencanaan jaringan DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) PT. Bakrie Telecom, Tbk link Bogor – Bandung.

**BAB 5 KESIMPULAN**

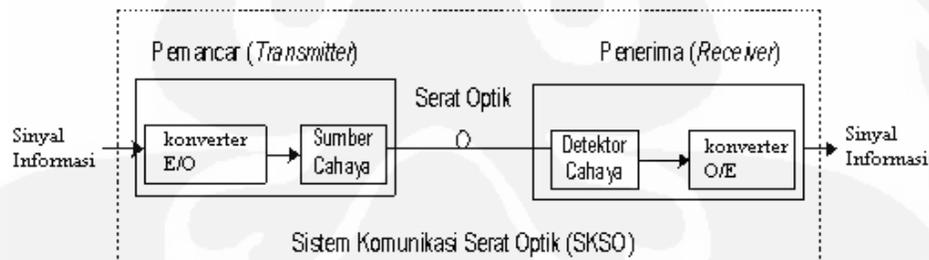
Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari skripsi ini.

**BAB 2**  
**LANDASAN TEORI**  
**SERAT OPTIK DAN JARINGAN DWDM**

**2.1 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 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem Transmisi Serat Optik [1]

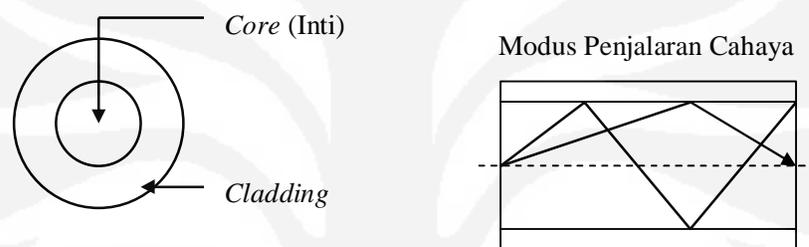
Selama perambatannya dalam serat optik, gelombang cahaya akan mengalami redaman di sepanjang serat dan pada titik persambungan serat optik. Oleh karena itu, untuk transmisi jarak jauh diperlukan adanya penguat yang berfungsi untuk memperkuat gelombang cahaya yang mengalami redaman.

## 2.2 Jenis Serat Optik

### 2.2.1 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 2.2 dibawah ini.

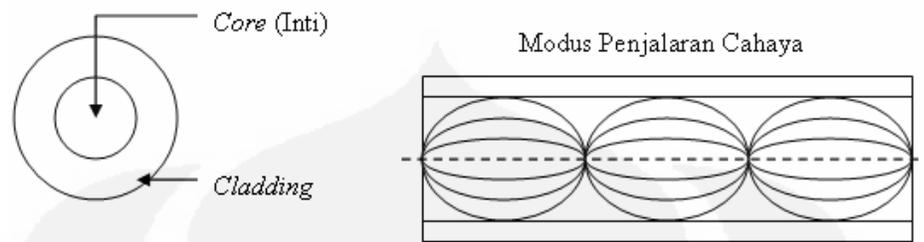


Gambar 2.2 Serat Optik *Step-Index* [2]

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 2.3 dibawah ini menunjukkan karakteristik serat optik *graded-index*.



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

### 2.2.2 Berdasarkan Jumlah *Mode* yang Merambat dalam Serat Optik

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

#### a. Serat Optik *Singlemode* (*Monomode*) [2]

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* [2]

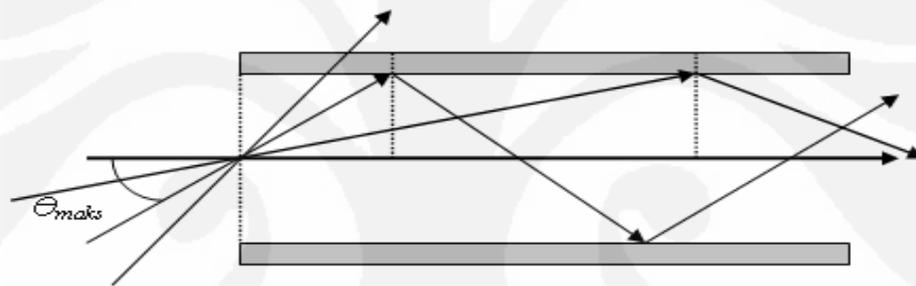
Serat optik *multimode* merupakan jenis serat yang memiliki jumlah mode lebih dari satu yang merambat pada panjang gelombang pengoperasian sistem. Umumnya, serat *multimode* dengan jumlah mode mulai dari dua mode sampai dengan ratusan mode, digunakan untuk aplikasi komersial tertentu. Meskipun tidak 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*.

## 2.3 Karakteristik Serat Optik

### 2.3.1 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 2.4 dibawah ini menunjukkan lintasan cahaya dalam serat optik.



Gambar 2.4 Lintasan Cahaya dalam Serat Optik

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 :

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

dimana :

- $n_1$  = Indeks bias inti
- $n_2$  = Indeks bias *cladding*
- $\Delta$  = beda indeks bias relatif

### 2.3.2 Redaman [1]

Redaman serat optik merupakan karakteristik penting yang harus diperhatikan mengingat kaitannya dalam menentukan jarak penguat, jenis pemancar dan jenis penerima optik yang harus digunakan. Besarnya redaman yang terjadi pada sistem komunikasi serat optik dinyatakan oleh persamaan berikut :

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

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.

### 2.3.3 Dispersi [3]

Peristiwa dispersi serat optik disebabkan oleh melebarinya 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*). Serat Optik *singlemode* mempunyai keuntungan, dimana dispersi yang terjadi hanya dispersi *intramodal* karena yang merambat hanya terdapat satu *mode*.

## 2.4 Sumber Optik [1]

Sumber optik merupakan salah satu komponen penting dalam sistem komunikasi serat optik. Persyaratan yang harus dimiliki oleh sumber optik adalah mampu beroperasi pada gelombang 800 nm – 1650 nm, berukuran kecil dan ringan, usia operasi lama ( $\geq 10^4$  jam), catu daya rendah, respon yang cepat, efisiensi tinggi dan daerah emisi yang kecil. 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)*.

## 2.5 Detektor Optik [1]

Setelah tiba di sisi *receiver*, 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. Ada dua tipe detektor yaitu *Avalanche Photo Diode (APD)* dan *Positive-Intrinsic-Negative Photo Diode (PIN)*. *APD* lebih umum digunakan pada aplikasi *long haul*, karena sensitivitasnya yang tinggi dan kemampuan mengakomodasi *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan Dioda *PIN*.

*APD* merupakan sebuah struktur dioda semikonduktor mempunyai sebuah daerah *dope p<sup>+</sup>*, 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*.

## 2.6 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.

## 2.7 Parameter Unjuk Kerja untuk Menganalisis *Link* 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 diinginkan
2. *Data rate* atau *bandwidth* dari kanal
3. *Bit error rate (BER)*

Untuk memenuhi syarat-syarat ini, maka karakteristik yang berhubungan dengan komponen-komponen yang dipilih adalah sebagai berikut :

1. *Multimode* atau *singlemode* fiber optik
  - a. Ukuran dari *core*
  - b. Profile indeks bias dari *core*
  - c. *Bandwidth* atau dispersi
  - d. Redaman/*atenuasi*
  - e. *Numerical aperture*
2. Sumber optik *LED* atau laser dioda
  - a. Panjang gelombang emisi
  - b. Daya keluaran
  - c. Pola emisi
3. *PIN* atau *APD*
  - a. Responsivitas
  - b. Panjang gelombang operasi
  - c. Kecepatan
  - d. Sensitivitas

Dua analisis yang biasanya digunakan untuk memastikan bahwa sistem komunikasi serat optik yang diinginkan telah terpenuhi adalah melalui analisis *power link budget* dan *rise time budget* sistem. Pada analisis *power link budget*, mula-mula menentukan rentang daya (*power margin*) antara *output transmitter* optik dan sensitivitas minimum dari *receiver* sehingga sesuai dengan spesifikasi

dari *BER*. Kemudian batas ini dapat dialokasikan ke konektor, sambungan dan rugi-rugi serat, ditambah beberapa batasan lain yang diperlukan untuk degradasi atau efek temperatur dari komponen yang dipakai.

Apabila analisis dengan *power link budget* telah memenuhi kriteria maka selanjutnya menggunakan analisis *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.

### 2.7.1 Perhitungan Daya Sinyal (*Power Budget*) [3]

*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 sinyal dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$P_{TX} - P_{RX} = M_s + \alpha_{total} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P_{TX} - P_{RX} = G_{sistem}$$

$$\alpha_{total} = 2\alpha_c + n_s \cdot \alpha_s + L_{sistem} \cdot \alpha_f \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\alpha_{total} = 2\alpha_c + \left[ \frac{L_{sistem}}{L_{kabel}} - 1 \right] \alpha_s + L_{sistem} \cdot \alpha_f$$

$$L_{sistem} (Km) = \frac{\alpha_{total} (dB) + \alpha_s (dB) - 2\alpha_c (dB)}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$L_{sistem} (Km) = \frac{P_{TX} - P_{RX} - 2\alpha_c + \alpha_s - M_s}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

$P_{TX}$  = Daya Pemancar (dBm)

$P_{RX}$  = Sensitivitas penerima (dBm)

$\alpha_s$  = Redaman penyambungan (*splice*) (dB)

$\alpha_c$  = Redaman konektor (dB)

$L_{sistem}$  = Jarak transmisi tanpa *repeater* (Km)

$L_{\text{kabel}}$  = Panjang potongan kabel per roll (Km)

$\alpha_f$  = Redaman fiber (dB/Km)

$M_s$  = *Margin* sistem (dB)

### 2.7.2 Rise Time Budget [3]

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 :

$$t_r = \sqrt{t_{\text{source}}^2 + t_{\text{det}}^2 + t_F^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$t_F = t_f = D \cdot \delta_{\lambda} \cdot L \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana :

$t_r$  = *rise time* total sistem

$t_{\text{source}}$  = *rise time* sumber optik

$t_{\text{det}}$  = *rise time* detektor optik

$t_F$  = dispersi total serat

$D$  = dispersi kromatik

$L$  = panjang *link*

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

$$t_{\text{sys}} \leq 0,7/\text{BR}, \quad \text{untuk format pengkodean NRZ} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$t_{\text{sys}} \leq 0,35/\text{BR}, \quad \text{untuk format pengkodean RZ} \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk menjamin sistem dapat dilalui *bit rate* yang ditransmisikan maka  $t_{\text{sis}} \leq t_r$ .

### 2.7.3 Perhitungan Jumlah Splice dan Konektor [4]

Jumlah *splice* (sambungan kabel) yang diperlukan sepanjang *link* transmisi dapat diperoleh berdasarkan persamaan :

$$N = \frac{L_{sist}}{L_f} - 1 \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana :

$L_{sist}$  = panjang *link* transmisi

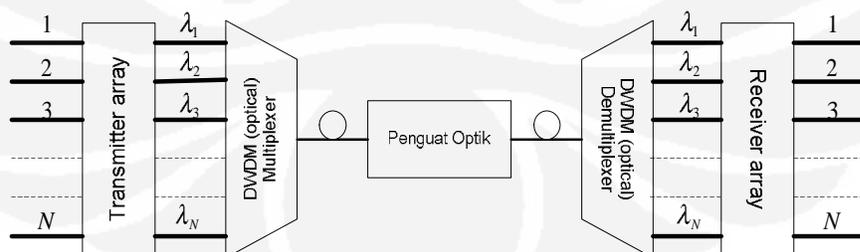
$L_f$  = panjang maksimum serat optik yang dapat digelar per gulungannya  
( 3 km/roll ).

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.

## 2.8 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

*Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* merupakan teknik *multiplexing* dimana sejumlah sinyal optik dengan panjang gelombang yang berbeda-beda ditransmisikan secara simultan melalui sebuah serat optik tunggal. Tiap panjang gelombang merepresentasikan sebuah kanal informasi.

Pada dasarnya, konfigurasi sistem *DWDM* terdiri dari sekumpulan *transmitter* sebagai sumber optik yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinyal cahaya tersebut kemudian mengalami proses *multiplexing*, dan ditransmisikan secara simultan melalui medium serat optik yang sama. Di sisi *receiver*, sinyal tersebut kemudian di *demultiplexing* kembali dan dipisahkan berdasarkan panjang gelombangnya masing-masing. Gambar 2.5 dibawah ini menunjukkan konfigurasi sistem *DWDM* secara umum.



Gambar 2.5 Konfigurasi Sistem *DWDM* Secara Umum [4]

*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 nm 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. 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 *core* serat optik (*transmitter* dan *receiver*). Jika kapasitas jaringan meningkat, perangkat *SDH* yang diperlukan juga akan bertambah, sehingga tidak ekonomis. Dengan di implementasikannya *DWDM* pada jaringan transport *SDH*, penambahan perangkat *SDH* dapat dikurangi, dan efisiensi pemakaian *core* optik juga dapat ditingkatkan.

### **2.8.1 Elemen Jaringan DWDM [5]**

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

1. *Wavelength Multiplexer/Demultiplexer*  
*Wavelength Multiplexer* berfungsi untuk memultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang akan ditransmisikan dalam serat optik. Sedangkan *Wavelength Demultiplexer* 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 melewati 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 *long haul* atau pada jaringan dengan 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 melakukan 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.

### **2.8.2 Serat Optik Singlemode yang Mendukung DWDM [4]**

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 digunakan pada sistem *DWDM*, yaitu:

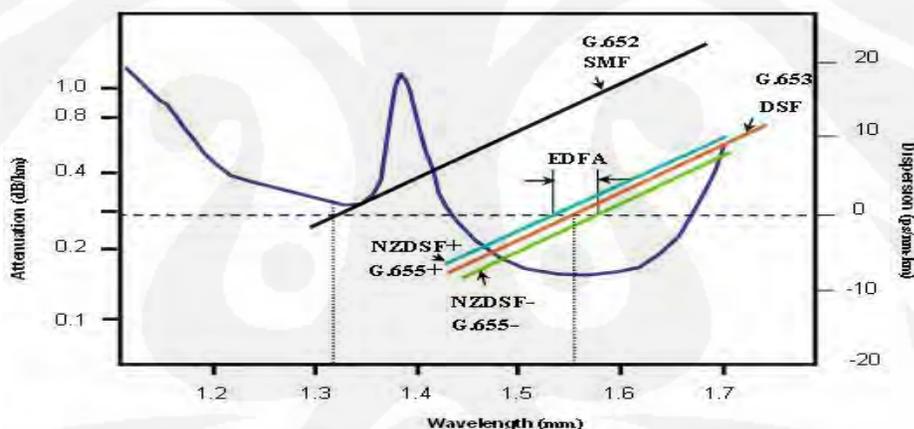
1. *Non Dispersion Shifted Fiber (NDSF)*  
 Serat optik NDSF dikenal sebagai *Standard Single Mode Fiber (SSMF)* dan dibuat berdasarkan rekomendasi *ITU-T G.652*. *NDSF* memiliki nilai koefisien dispersi kromatik (*D*) mendekati nol di daerah panjang gelombang

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.

Kedua tipe serat optik ini dirancang agar dapat beroperasi dengan baik pada daerah panjang gelombang 1550 nm. 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. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.

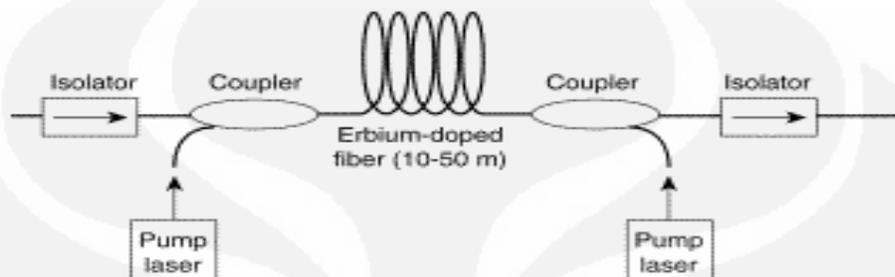


Gambar 2.6 Karakteristik Redaman dan Dispersi Serat Optik [6]

## 2.9 *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)* [5]

*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 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Struktur Fisik *EDFA* [4]

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*).

### 2.10 *Synchronous Digital Hierarchy (SDH)* [6]

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 *multiplexing* 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 *service* 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 Mbps x N yang didefinisikan sebagai kecepatan transmisi *STM-N (Synchronous Transfer Mode-N)*. Hingga kini nilai N yang telah diterapkan adalah N = 1, 4, 16, 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.

**BAB 3**  
**PERENCANAAN JARINGAN DWDM**  
**(DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)**

**3.1 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 *power transmit* 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 ingin 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

Kabel yang digunakan adalah kabel darat yang mempunyai 48 inti serat, kabel ini akan ditanam dalam tanah. Sedangkan tidak dipilihnya cara pengimplementasian dengan kabel udara *aerial* (digantung) walaupun cara ini jauh lebih murah dengan waktu pengimplementasian yang relatif cepat adalah rentannya jenis kabel ini terhadap pengaruh cuaca dan alam sekitar, seperti tanah longsor dan tumbangnya pepohonan. Kabel serat optik ini akan ditanam dengan kedalaman kurang lebih 1,5 m.

Tujuan perencanaan pembangunan jaringan serat optik yang menghubungkan kota Bogor dengan kota Bandung ini adalah untuk melanjutkan jaringan serat optik yang telah dimiliki oleh PT. Bakrie Telecom, Tbk yang menghubungkan kota Jakarta dengan kota Bogor. Sehingga nantinya kota Jakarta dengan kota Bandung dapat dihubungkan oleh serat optik. Selama ini untuk menghubungkan kedua kota ini PT. Bakrie Telecom, Tbk menyewa jasa PT. Moratelindo sebagai

salah satu *provider* jaringan serat optik di Indonesia. Terdapat dua jalur yang dapat menghubungkan kota Jakarta dengan kota Bandung, yaitu jalur utara dan jalur selatan.

Jalur selatan yang melewati kota Bogor dipilih pada perencanaan kabel serat optik ini, dikarenakan jaringan serat optik PT. Moratelindo menggunakan jalur utara sehingga apabila jaringan ini sudah terbentuk maka jalur ini akan menjadi jalur utama proses pengiriman sinyal informasi PT. Bakrie Telecom, Tbk dan jaringan serat optik milik PT. Moratelindo akan menjadi jalur cadangan, sehingga apabila terjadi *fiber cut* atau kendala pada jaringan utama maka proses pengiriman sinyal informasi dapat dialihkan ke jalur cadangannya. Selanjutnya apabila jaringan serat optik jalur selatan ini sudah dibangun maka PT. Bakrie Telecom, Tbk juga berencana membangun jalur utara sehingga topologi jaringan ring yang menghubungkan kedua kota besar ini dapat diwujudkan, tentunya dengan kondisi jaringan milik sendiri dan bukan menyewa pada suatu *provider* jaringan serat optik sehingga biaya operasional perusahaan dapat ditekan.

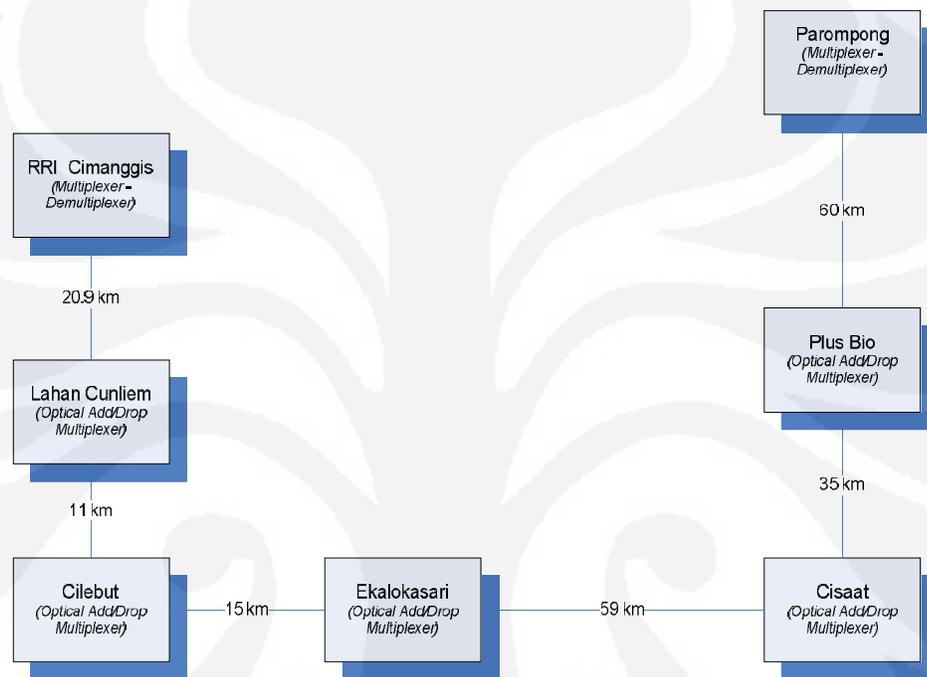
Hasil *survey* lapangan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa jarak total antara kota Bogor dengan kota Bandung adalah sejauh 200,9 km, perinciannya dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jarak Serat Optik

No	Lokasi A	Lokasi B	Jarak (m)
1	RRI Cimanggis	Lahan Cunliem	20.900
2	Lahan Cunliem	Cilebut	11.000
3	Cilebut	Ekalokasari	15.000
4	Ekalokasari	Cisaat	59.000
5	Cisaat	Plus Bio	35.000
6	Plus Bio	Parompong	60.000
<b>Total</b>			<b>200.900</b>

### 3.2 Topologi Jaringan Serat Optik

Topologi jaringan yang menghubungkan kota Bogor dengan kota Bandung dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Topologi Jaringan Serat Optik *DWDM Link* Bogor – Bandung

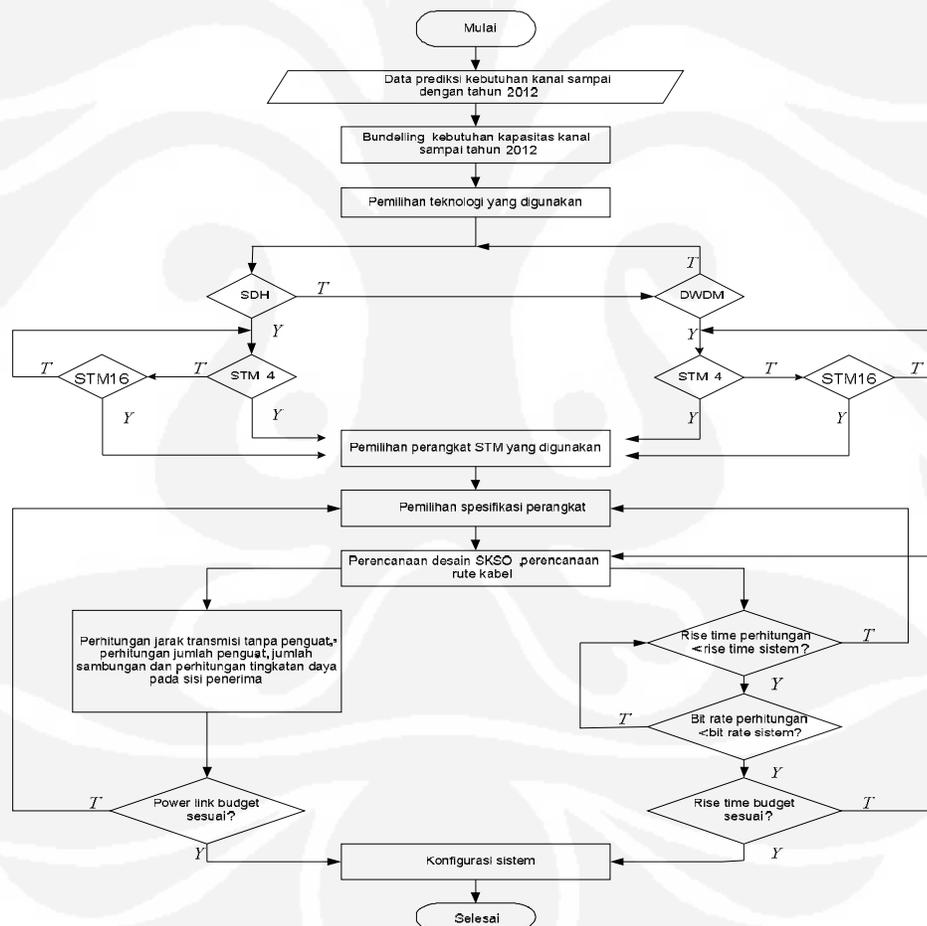
Diketahui dari Gambar 3.1 diatas bahwa tiap – tiap kota dihubungkan secara *direct* sehingga apabila serat optik yang digunakan bermasalah maka sebagai proteksinya adalah serat optik lain yang masih normal dan belum digunakan atau apabila jalur tersebut putus akibat putusnya kabel serat optik (*fiber cut*) maka jalur transmisinya harus dipindahkan ke jaringan serat optik milik PT. Moratelindo. Adapun proses pengaturan atau konfigurasi pemindahan jalur atau proteksi jaringan dilakukan dengan menggunakan *software OptiX T2000* yang telah disediakan oleh Huawei Technologies Co.,Ltd sebagai vendor yang menangani proyek pembangunan jaringan serat optik PT. Bakrie Telecom, Tbk.

Perangkat *multiplexer – demultiplexer* ditempatkan pada RRI Cimanggis dan Parompong, adapun untuk *sublink* yang lain (Lahan Cunliem, Cilebut,

Ekalokasari, Cisaat dan Plus Bio) ditempatkan perangkat *Optical Add / Drop Multiplexer*. Hal ini dimaksudkan agar sinyal *aggregate SDH* dapat diturunkan menjadi sinyal *tributary* untuk selanjutnya diteruskan pada sublink jaringan ini. Sehingga kapasitas kanal yang dimiliki *link* Bogor – Bandung dapat digunakan pada *sublink* jaringan yang dilaluinya.

### 3.3 Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik

Gambar 3.2 dibawah ini menunjukkan diagram alir dari suatu perencanaan jaringan serat optik yang akan digunakan pada perencanaan jaringan serat optik *DWDM* untuk *link* Bogor – Bandung.



Gambar 3.2 Diagram Alir Perencanaan Jaringan Serat Optik

### 3.4 Kebutuhan Kapasitas Kanal

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa pembangunan *link* Bogor – Bandung ini merupakan kelanjutan dari jaringan serat optik yang telah dimiliki oleh PT. Bakrie Telecom, Tbk yang menghubungkan kota Jakarta dengan kota Bogor sehingga nantinya kota Jakarta dengan kota Bandung dapat dihubungkan oleh serat optik. Oleh sebab itu, kapasitas kanal yang dibutuhkan akan sangat besar untuk memenuhi kebutuhan *link* ini di masa yang akan datang. Data prediksi kebutuhan kapasitas kanal ini dibutuhkan agar jaringan serat optik yang akan dibangun nantinya dapat digunakan untuk masa mendatang. Apabila ada penambahan kapasitas kanal PT. Bakrie Telecom, Tbk tidak lagi melakukan pembangunan atau pemugaran jaringan yang ada, sehingga biaya pembangunan atau pemugaran jaringan dapat ditekan. Adapun prediksi kebutuhan kapasitas kanal PT. Bakrie Telecom, Tbk untuk *link* Bogor – Bandung sampai dengan tahun 2012 ditunjukkan pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Prediksi Kebutuhan Kapasitas Kanal  
*Link* Bogor – Bandung Sampai Tahun 2012

<b>Sublink</b>	<b>Prediksi kebutuhan E1</b>
RRI Cimanggis	217
Lahan Cunliem	143
Cilebut	175
Ekalokasari	241
Cisaat	315
Plus Bio	206
Parompong	417
<b>Jumlah</b>	<b>1714</b>

Berdasarkan prediksi kebutuhan kapasitas kanal diatas maka *link* Bogor – Bandung memiliki kebutuhan kanal jaringan sebesar 1714 E1.

### 3.5 Pemilihan Teknologi *Transport DWDM*

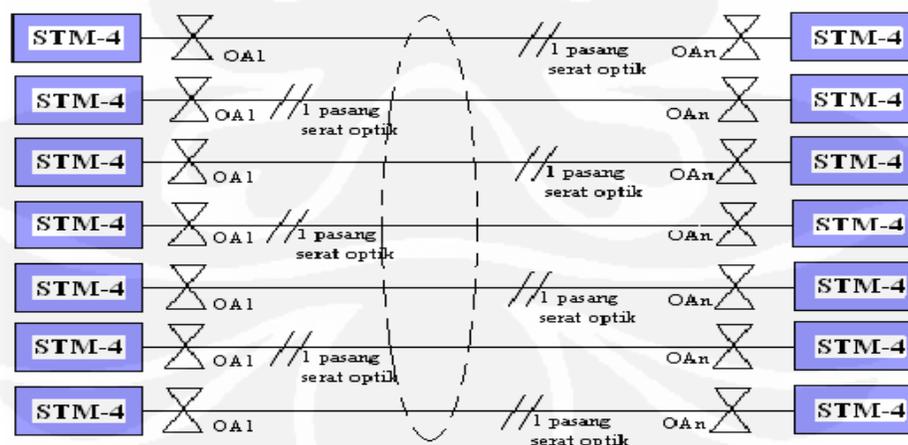
Berdasarkan data prediksi kebutuhan kapasitas kanal serat optik *DWDM link* Bogor – Bandung diatas, kebutuhan kapasitas kanal yang harus dipenuhi pada *link* ini adalah sebesar 1714 E1. Apabila dikonversikan dalam format *STM-1 SDH*, dimana 1 x *STM-1* sebesar 63 E1, maka nilai konversinya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 1714 \text{ E1} &= 1714/63 \times \text{STM-1} \\
 &= 27.20 \times \text{STM-1} \\
 &\approx 28 \times \text{STM-1} \\
 &\approx 6.8 \times \text{STM-4} \\
 &\approx 1.7 \times \text{STM-16}
 \end{aligned}$$

#### 3.5.1 Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal dengan Teknologi *SDH* Tanpa Menggunakan *DWDM*

##### a. Menggunakan perangkat *STM-4*

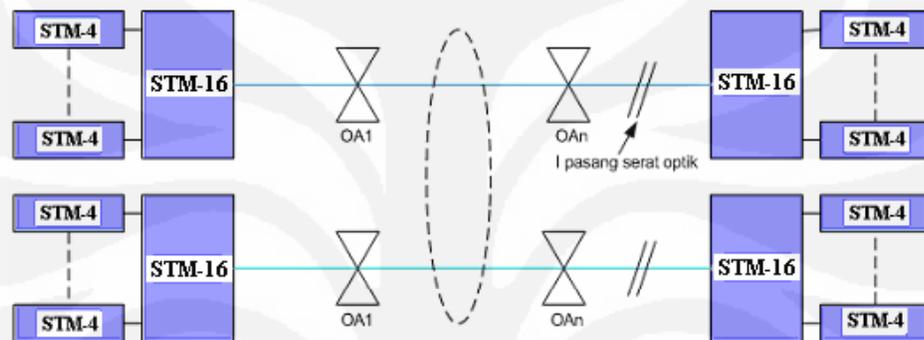
Dari hasil perhitungan diatas diperoleh bahwa kebutuhan kapasitas kanal untuk *link* Bogor – Bandung sampai dengan tahun 2012 sebesar 6.8 x *STM-4* atau setara dengan 7 x *STM-4*. Konfigurasi jaringan dengan menggunakan *STM-4* ditunjukkan pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Konfigurasi Perangkat *STM-4* untuk Sistem *SDH* Tanpa *DWDM*

### b. Menggunakan perangkat *STM-16*

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh bahwa kebutuhan kapasitas kanal untuk *link* Bogor – Bandung sampai dengan tahun 2012 sebesar  $1.7 \times STM-16$  atau juga setara dengan  $2 \times STM-16$ . Konfigurasi jaringan dengan menggunakan *STM-16* ditunjukkan pada Gambar 3.4 di bawah ini.



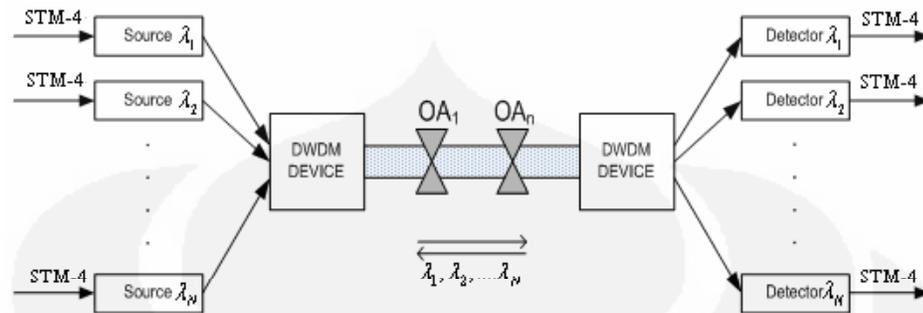
Gambar 3.4 Konfigurasi Perangkat *STM-16* Untuk Sistem *SDH* Tanpa *DWDM*

## 3.5.2 Pemenuhan Kebutuhan Kapasitas Kanal dengan Teknologi *SDH*

### Menggunakan *DWDM*

#### a. Menggunakan perangkat *STM-4*

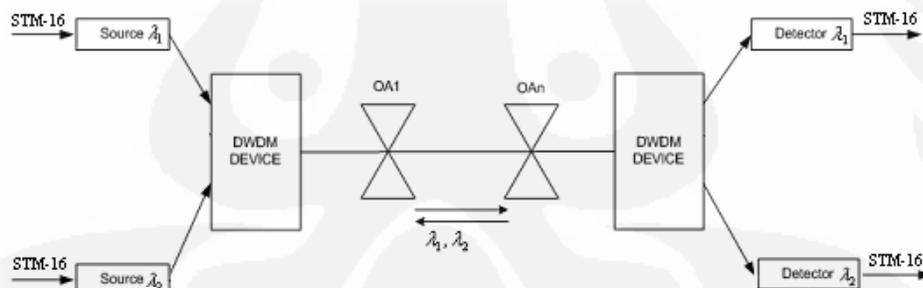
Penggunaan teknologi *DWDM* untuk pemenuhan kebutuhan kapasitas kanal ini membutuhkan keberadaan perangkat terminal *STM-4* dengan jumlah perangkat terminal *STM-4* sama dengan hasil perhitungan di atas, yaitu 7 pasang. Kelebihan yang dimiliki teknologi *DWDM* terletak pada jumlah *core* optik yang diperlukan lebih sedikit jika dibandingkan dengan teknologi *SDH*. Sebagai media transmisi yang digunakan pada jaringan *transport* ini, jumlah *core* optik yang dibutuhkan untuk menghubungkan *transmitter* dan *receiver* 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 3.5 yang menunjukkan konfigurasi sistem *DWDM* yang diintegrasikan dengan perangkat *STM-4* di bawah ini.



Gambar 3.5 Konfigurasi Perangkat STM-4 Untuk Sistem SDH Dengan DWDM

#### b. Menggunakan perangkat STM-16

Sama halnya dengan perangkat STM-4, perangkat STM-16 yang diintegrasikan dengan teknologi DWDM tetap hanya membutuhkan satu pasang *core* optik untuk menghubungkan bagian *transmitter* dengan bagian *receiver*. Gambar 3.6 di bawah ini menunjukkan konfigurasi DWDM yang diintegrasikan dengan perangkat STM-16.



Gambar 3.6 Konfigurasi Perangkat STM-16 Untuk Sistem SDH Dengan DWDM

### 3.6 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik

Parameter perencanaan yang digunakan pada jaringan ini, disesuaikan dengan standarisasi yang berlaku di PT. Bakrie Telecom, Tbk sebagai penyelenggara pembangunan serat optik ini. Tabel 3.3 dibawah ini menunjukkan parameter perencanaan jaringan serat optik yang akan digunakan.

Tabel 3.3 Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik

<b>DATA TEKNIS PERENCANAAN LINK BOGOR - BANDUNG</b>	
<b>1. Parameter Desain</b>	
Laju Bit (B)	2.5 Gbps ( <i>STM-16</i> )
Jarak Link ( $L_{sist}$ )	200,9 km
BER (Bit Error Rate)	$10^{-9}$
Format Modulasi	NRZ
Dispersion Compensator Module	P/80
Margin Sistem ( $M_s$ )	4 dB
<b>2. Komponen SKSO</b>	
<b>A. Serat Optik Single Mode : ITU-T G.655 (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)</b>	
Attenuasi ( $\alpha_f$ )	0,23 dB/km
Dispersi Kromatik (D)	1,8 – 6 ps/nm.km
<b>B. Optical Interface</b>	
<b>B.1 Pengirim (transmitter) Laser Diode</b>	
Rise Time ( $t_{rx}$ )	35 ps
Lebar Spektral ( $\sigma_\lambda$ )	0,1 nm
Daya Transmit ( $P_{TX}$ )	10 dBm
<b>B.2 Penerima (Receiver) APD Detector</b>	
Rise Time ( $t_{rx}$ )	35 ps
Sensitivitas minimum( $P_{RX}$ )	-25 dBm
<b>C. Komponen Tambahan</b>	
Redaman Konektor ( $\alpha_c$ )	0,5 dB/konektor
Redaman Splice ( $\alpha_s$ )	0,05 dB/splice
Gain EDFA	33 dB
Daya input EDFA	-22 dB

### 3.7 Rise Time Budget

Berdasarkan nilai *rise time* perangkat dari data perencanaan di atas, dapat diperoleh nilai *rise time* sistem. Dengan menggunakan persamaan (2.9), maka *rise time* sistem untuk *STM-16* (2.5 Gbps) dengan format pengkodean *NRZ* adalah:

$$t_r = \frac{0.7}{BR} = \frac{0.7}{2.5 \times 10^9}$$

$$= 280 \text{ ps}$$

Sedangkan perhitungan *rise time* tiap *sublink* dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.7) dan (2.8).

**a. Link RRI Cimanggis – Lahan Cunliem menggunakan serat NZDSF :**

$$t_{sis} = \sqrt{t_{source}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (20,9 \text{ km})$$

$$= 6,27 \text{ ps}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (6,27)^2}$$

$$= \sqrt{2489,3129}$$

$$= 49,9 \text{ ps}$$

**b. Link Lahan Cunliem – Cilebut menggunakan serat NZDSF :**

$$t_{sis} = \sqrt{t_{source}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (11 \text{ km})$$

$$= 3,3 \text{ ps}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (3,3)^2}$$

$$= \sqrt{2460,89}$$

$$= 49,6 \text{ ps}$$

**c. Link Lahan Cilebut – Ekalokasari menggunakan serat NZDSF :**

$$t_{sis} = \sqrt{t_{source}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (15 \text{ km})$$

$$= 4,5 \text{ ps}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (4,5)^2}$$

$$= \sqrt{2470,25}$$

$$= 49,7 \text{ ps}$$

d. Link Lahan Ekalokasari – Cisaat menggunakan serat NZDSF :

$$t_{sis} = \sqrt{t_{source}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (59 \text{ km})$$

$$= 17.7 \text{ ps}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (17.7)^2}$$

$$= \sqrt{2763.29}$$

$$= 52.6 \text{ ps}$$

e. Link Lahan Cisaat – Plus Bio menggunakan serat NZDSF :

$$t_{sis} = \sqrt{t_{source}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (35 \text{ km})$$

$$= 10.5 \text{ ps}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (10.5)^2}$$

$$= \sqrt{2560.25}$$

$$= 50.6 \text{ ps}$$

f. Link Lahan Plus Bio - Parompong menggunakan serat NZDSF :

$$t_{sis} = \sqrt{t_{source}^2 + t_{det}^2 + t_f^2}$$

$$t_f = D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (60 \text{ km})$$

$$= 18 \text{ ps}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (324)^2}$$

$$= \sqrt{2774}$$

$$= 52.7 \text{ ps}$$

Setelah dihitung nilai *rise time* tiap – tiap *sublink* diatas dapat diketahui nilai total *rise time* perencanaan sebesar 305.037 ps, sedangkan nilai *rise time* sistem sebesar 280 ps, sehingga nilai *rise time* perencanaan ini melebihi dari nilai *rise time* sistem. Hal ini berarti di dalam perencanaan ini dibutuhkan kompensator dispersi, agar nilai *rise time* perencanaan tidak melebihi nilai *rise time* sistem. Adapun modul kompensator dispersi yang digunakan adalah *DCM P/80* yang mampu mengkompensasi efek dispersi untuk serat optik sampai 80 km. Dikarenakan jarak tempuh transmisi Bogor – Bandung sejauh 200.9 km maka

dibutuhkan 1 buah *DCM* yang mampu mengkompensasi dispersi sejauh 80 km. Berikut ini merupakan perhitungan *rise time* perencanaan setelah ditambahkan 1 buah *DCM*.

$$\begin{aligned}
 t_{sis} &= \sqrt{t_{source}^2 + t_{det}^2 + t_f^2} \\
 t_f &= D \cdot \sigma_\lambda \cdot L = (3 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (200,9 \text{ km} - 80 \text{ km}) \\
 &= 36,27 \text{ ps} \\
 t_{sis} &= \sqrt{(35)^2 + (35)^2 + (36,27)^2} \\
 &= \sqrt{3765,5129} \\
 &= 61,3638 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diketahui nilai total *rise time* perencanaan serat optik untuk *link* Bogor – Bandung bernilai 61.3638 ps, dan nilai ini kurang dari nilai *rise time* sistem. Sehingga perencanaan ini dapat diimplementasikan di lapangan.

### 3.8 Power Link Budget

#### 3.8.1 Perhitungan Jarak Transmisi 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 *sublink* mana yang memerlukan penguat. Dengan menggunakan persamaan 2.6 jarak maksimum tersebut dapat dihitung seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 L_{sist} \text{ (Km)} &= \frac{P_{TX} - P_{RX} - 2\alpha_c + \alpha_s - M_s}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{Kabel}}} \\
 L_{sistem} \text{ (Km)} &= \frac{10 - (-25) - 2 \cdot (0,5) + 0,05 - 4}{0,23 + \frac{0,05}{200,9}} = \frac{30,05}{0,23025} = 130,51 \approx 131 \text{ Km}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menandakan bahwa jika jarak *sublink* melebihi 131 km, maka pada *sublink* tersebut harus diletakkan penguat untuk menjamin tingkatan

daya di penerima tetap baik. Pada perencanaan ini digunakan *EDFA* sebagai penguatnya.

### 3.8.2 Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum dengan Penguat *EDFA*

Seperti yang telah ditunjukkan pada tabel 3.1 bahwa jarak perencanaan jaringan serat optik *DWDM link* Bogor – Bandung adalah sejauh 200.9 km, maka dibutuhkan penguat sinyal optik yang diletakkan pada keluaran sumber optik.

**a.** Daya keluaran *EDFA* :

$$\begin{aligned} P_{out-EDFA} &= P_{in-EDFA} + G \\ &= -22 \text{ dBm} + 33 \text{ dB} = 11 \text{ dBm} \end{aligned}$$

**b.** Daya pancar setelah jaringan *DWDM* ditambahkan penguat *EDFA* :

$$\begin{aligned} P_{TX} &= 11 \text{ dBm} + 10 \text{ dBm} \\ &= 21 \text{ dBm} \end{aligned}$$

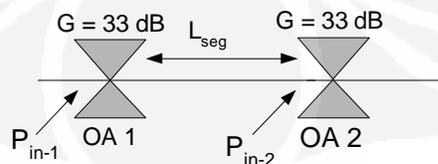
**c.** Jarak transmisi maksimum dengan 1 penguat *EDFA*

$$L_{sistem} (Km) = \frac{21 - (-25) - 2 \cdot (0,5) + 0,05 - 4}{0,23 + \frac{0,05}{200,9}} = 178,2853 \approx 178 Km$$

**d.** Jarak transmisi maksimum dengan 2 penguat *EDFA*

$$L_{sistem} (Km) = \frac{32 - (-25) - 2 \cdot (0,5) + 0,05 - 4}{0,23 + \frac{0,05}{200,9}} = 226,0597 \approx 226 Km$$

### 3.8.3 Jarak Antar Penguat



Gambar 3.7 Jarak Antar Penguat

Perancangan jarak antar penguat perlu dilakukan untuk mencegah pemborosan penggunaan perangkat. Dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.6 maka dapat diketahui jarak antar penguat yang akan digunakan, seperti dibawah ini.

$$P_{in-1} + G - \alpha_{seg} - M_s = P_{in-2}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{seg} &= G - M_s \\ &= 33 - 4 = 29 \text{ dB}\end{aligned}$$

$$L_{sist} = \frac{\alpha_{seg} + \alpha_s - 2\alpha_c}{\alpha_f + \frac{\alpha_s}{L_{kabel}}}$$

$$L_{sist} = \frac{29 \text{ dB} + 0.05 \text{ dB/km} - 2(0.5)}{0.23 \text{ dB/km} + \frac{0.05 \text{ dB/km}}{3 \text{ km}}}$$

$$L_{sist} = 113.716 \text{ km}$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa jarak antar penguat yang akan digunakan adalah 113.716 km.

### 3.9 Perhitungan Jumlah Sambungan (*Splice*) dan Konektor

Sesuai dengan persamaan (2.11) maka jumlah sambungan kabel serat optik (*splice*) yang diperlukan pada perencanaan ini adalah sebagai berikut :

#### a. Link RRI Cimanggis – Lahan Cunliem :

$$N = \left( \frac{L_{sist}}{L_f} - 1 \right) + (2 * p)$$

$$N = \left( \frac{20.9}{3 \text{ km}} - 1 \right) + (2 * 1) = 7.97$$

$$N = 8 \text{ splice}$$

**b. Link Lahan Cunliem – Cilebut :**

$$N = \left( \frac{L_{sist}}{L_f} - 1 \right) + (2 * p)$$

$$N = \left( \frac{11}{3 \text{ km}} - 1 \right) + (2 * 0) = 2.7$$

$$N = 3 \text{ splice}$$

**c. Link Cilebut – Ekalokasari :**

$$N = \left( \frac{L_{sist}}{L_f} - 1 \right) + (2 * p)$$

$$N = \left( \frac{15}{3 \text{ km}} - 1 \right) + (2 * 0) = 4$$

$$N = 4 \text{ splice}$$

**d. Link Ekalokasari – Cisaat :**

$$N = \left( \frac{L_{sist}}{L_f} - 1 \right) + (2 * p)$$

$$N = \left( \frac{59}{3 \text{ km}} - 1 \right) + (2 * 0) = 18.67$$

$$N = 19 \text{ splice}$$

**e. Link Cisaat – Plus Bio :**

$$N = \left( \frac{L_{sist}}{L_f} - 1 \right) + (2 * p)$$

$$N = \left( \frac{35}{3 \text{ km}} - 1 \right) + (2 * 0) = 10.67$$

$$N = 11 \text{ splice}$$

**f. Link Plus Bio – Parompong :**

$$N = \left( \frac{L_{sist}}{L_f} - 1 \right) + (2 * p)$$

$$N = \left( \frac{60}{3 \text{ km}} - 1 \right) + (2 * 1) = 21$$

$$N = 21 \text{ splice}$$

Berdasarkan penjelasan pada sub bab 2.7.3 dijelaskan bahwa apabila pada *sublink* 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 *sublink* ditempatkan penguat maka selain membutuhkan jumlah sambungan atau *splice* sesuai perhitungan diatas, *sublink* tersebut juga membutuhkan dua buah sambungan atau *splice* dan dua buah konektor untuk terhubung dengan terminal utama.

**BAB 4**  
**PERANCANGAN SIMULASI DAN ANALISIS**  
**PERENCANAAN JARINGAN DWDM**  
**LINK BOGOR - BANDUNG**

**4.1 Simulasi Perencanaan**

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan perancangan simulasi perencanaan jaringan serat optik DWDM untuk link Bogor – Bandung. Simulasi ini dibuat dengan menggunakan software MATLAB 7. 0. Software yang dibuat terdiri dari empat menu utama yaitu menu untuk melakukan perhitungan *power link budget*, *rise time budget*, perhitungan jumlah sambungan dan konektor serta menu program yang berguna untuk menampilkan data perencanaan. Gambar 4.1 dibawah ini adalah tampilan dari simulasi yang dibuat.



Gambar 4.1 Tampilan Menu Program

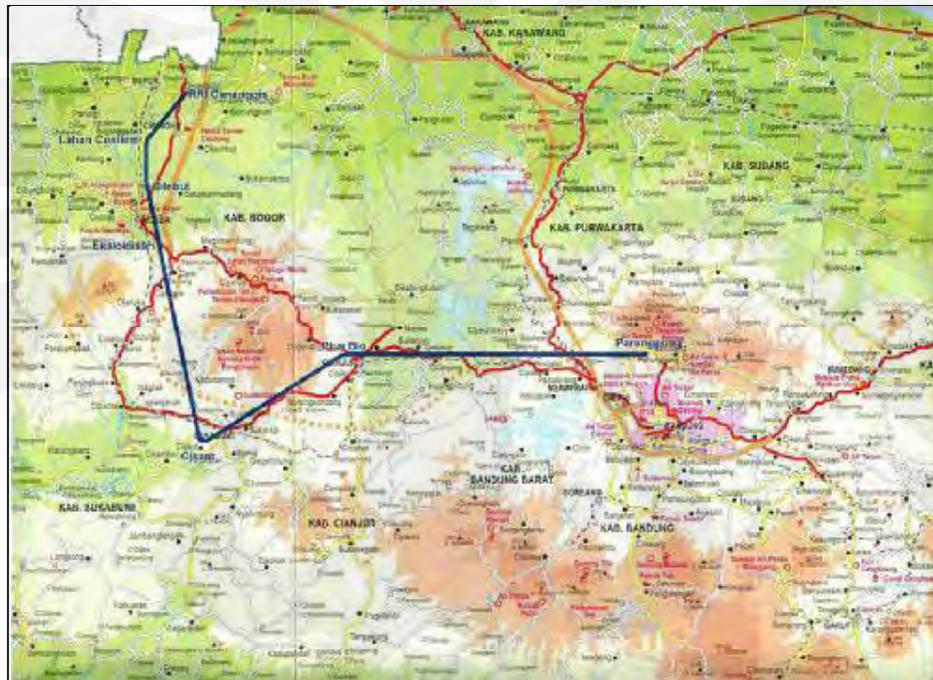
Menu program perhitungan *power link budget* berisikan tentang parameter – parameter seperti *power transmit*, *power receive*, *margin* sistem, redaman konektor, redaman *splice*, redaman serat optik dan jarak tempuh *link*. Semua parameter tersebut berperan penting dalam mencari *power link budget* dari suatu perencanaan jaringan serat optik. Program simulasi yang dibuat ini juga menampilkan pesan yang menunjukkan apakah *power link budget* dari perencanaan serat optik yang kita buat sudah memenuhi kriteria ataukah belum. Apabila *power link budget* dari perencanaan yang kita rancang tidak memenuhi kriteria maka secara otomatis program akan melakukan penambahan penguat dalam perhitungan, hingga didapatkan nilai *power link budget* yang memenuhi kriteria. Oleh sebab itu program simulasi ini juga menyediakan menu perhitungan penguat serat optik yang diperlukan secara otomatis, menu ini berisikan *input* penguat, jumlah penguat, *gain* penguat, *output* penguat serta jarak antar penguat. Apabila *power link budget* jaringan serat optik yang kita rancang sudah memenuhi kriteria maka program akan menampilkan pesan '*Power link budget* perencanaan sudah sesuai'. Pada menu perhitungan *rise time budget* juga sama dengan perhitungan *power link budget*, yaitu apabila setelah kita memasukkan nilai dari parameter yang telah disediakan oleh program ternyata *rise time budget* jaringan serat optik yang kita rancang tidak memenuhi kriteria akan muncul pesan '*Rise time budget* tidak memenuhi syarat' dan apabila nilai *rise time budget* jaringan serat optik yang kita rancang sudah memenuhi kriteria maka program akan menampilkan pesan '*Rise time budget* memenuhi syarat'. Apabila nilai *rise time budget* tidak memenuhi syarat maka kita harus menambahkan *DCM P/80* pada jaringan yang kita rancang. *DCM* yang kita tambahkan berfungsi untuk mengkompensasi efek dispersi jaringan serat optik *DWDM*, sehingga setelah kita tambahkan *DCM* maka nilai *rise time budget* perencanaan akan berkurang dan hal ini berarti *rise time budget* perencanaan telah memenuhi syarat dan sudah layak untuk diimplementasikan di lapangan.

Selain berguna untuk melakukan proses perhitungan *power link budget* dan *rise time budget*, simulasi program yang dibuat juga dapat melakukan perhitungan berapa jumlah sambungan (*splice*) dan konektor yang dibutuhkan pada perancangan jaringan serat optik. Simulasi program ini juga menampilkan

parameter perencanaan, peta perencanaan serta data prediksi kebutuhan kanal untuk *link* Bogor – Bandung sampai tahun 2012 yang akan dijadikan acuan pada perencanaan jaringan serat optik ini.

#### 4.2 Peta Perencanaan

Gambar 4.2 dibawah ini menunjukkan peta perencanaan jaringan serat optik *DWDM Link* Bogor – Bandung. Garis berwarna biru menunjukkan jalur yang dilalui oleh serat optik pada perencanaan ini.



Gambar 4.2 Peta Perencanaan Jaringan Serat Optik *DWDM*  
*Link* Bogor – Bandung.

Pada Gambar 4.2 dapat diketahui peta perencanaan jaringan serat optik *DWDM* yang digelar tidak langsung mengambil jarak terdekat antara kota Bogor dengan kota Bandung, tetapi harus melalui beberapa tempat atau *sublink* terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk pemenuhan kebutuhan kanal transmisi pada *sublink* yang dilaluinya. Misalnya untuk *sublink* Cisaat yang diperkirakan sampai

tahun 2012 nanti membutuhkan 315 E1. Jumlah E1 tersebut digunakan untuk kebutuhan E1 *BTS (Base Transceiver Station)* yang meng-cover daerah Cisaat dan sekitarnya.

### 4.3 Analisis Perencanaan

#### 4.3.1 Pemilihan Teknologi *Transport DWDM*

Berdasarkan tabel 3.2 diketahui bahwa prediksi kebutuhan kapasitas kanal . Bakrie Telecom, Tbk untuk *link* Bogor – Bandung sampai tahun 2012 mencapai 1714 E1, untuk mengakomodasi kebutuhan kanal tersebut terdapat dua pilihan, yaitu menggunakan teknologi *SDH (Synchronous Digital Hierarchy)* atau menggunakan teknologi *DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)*. Apabila menggunakan teknologi *SDH* maka akan terdapat dua pilihan juga, yaitu menggunakan *STM-4* atau *STM-16*. Dikarenakan sinyal *transmitter* dan *receiver* melalui *core* optik yang berbeda pada proses pengiriman dan penerimaan sinyal optiknya maka apabila kita menggunakan *STM-4* akan dibutuhkan modul *STM-4* sebanyak empatbelas buah dan *core* optik sejumlah 14 *core*, dimana 7 *core* untuk *transmitter* dan 7 *core* untuk *receiver*. Sedangkan apabila menggunakan *STM-16* maka akan dibutuhkan modul *STM-16* sebanyak empat buah dan modul *STM-4* sebanyak empatbelas buah serta dibutuhkan 4 *core* optik, dimana 2 *core* untuk *transmitter* dan 2 *core* untuk *receiver*. Dengan semakin banyaknya jumlah *core* optik yang digunakan, maka akan semakin banyak pula jumlah sambungan atau *splice* dan jumlah konektor yang akan digunakan, sehingga penggunaan *STM-4* bukan pilihan yang tepat karena jumlah *core* optik yang dibutuhkan lebih banyak daripada *STM-16* yaitu sebanyak 14 *core* optik. Hal ini tentunya akan berakibat pada borosnya penggunaan *core* serat optik, seperti kita ketahui biaya penggelaran serat optik tidaklah murah karena biaya tersebut selain meliputi biaya pekerja juga meliputi biaya ijin penggelaran kabel serat optik kepada pemerintah.

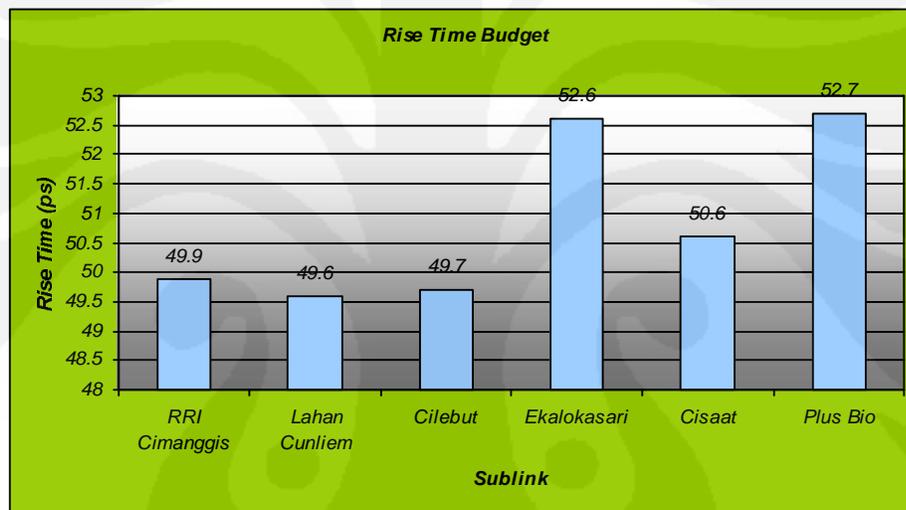
Penggunaan teknologi *DWDM* pada perencanaan jaringan serat optik untuk *link* Bogor – Bandung ini dirasakan sangat tepat, karena akan menghemat jumlah pemakaian *core* optik, hal ini ditunjukkan pada gambar 3.5 dan 3.6. Dengan demikian, apabila jumlah *core* yang digunakan sebanyak dua buah maka jumlah

*core* optik yang masih tersisa sebanyak 46 buah (jumlah *core* optik yang ditanam sebanyak 48 *core*). Sisa *core* yang masih belum dipakai ini dapat digunakan untuk mengatasi kebutuhan kanal di masa yang akan datang.

#### 4.3.2 Rise Time Budget

Gambar 4.3 dibawah ini menunjukkan grafik *rise time budget sublink* serat optik perencanaan jaringan *DWDM link* Bogor – Bandung.

Gambar 4.3 Grafik *Rise Time Budget Sublink* Serat Optik



Analisis *rise time budget* diperlukan untuk menentukan apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai ataukah belum. Sesuai dengan hasil perhitungan pada bab 3 dapat diketahui bahwa nilai *rise time* sistem sebesar 280 ps. Nilai *rise time* sistem ini digunakan sebagai pembandingan dari nilai *rise time sublink* pada perencanaan ini, sehingga kita dapat menentukan apakah sistem jaringan serat optik yang direncanakan ini sudah memenuhi syarat ataukah tidak.

Setelah dihitung nilai *rise time* tiap – tiap *sublink* dapat diketahui nilai total *rise time* perencanaan sebesar 305.037 ps, sedangkan nilai *rise time* sistem sebesar 280 ps, sehingga nilai *rise time* perencanaan ini melebihi dari nilai *rise time* sistem. Hal ini berarti di dalam perencanaan ini dibutuhkan kompensator dispersi, agar nilai *rise time* perencanaan tidak melebihi nilai *rise time* sistem. Pada

perencanaan ini digunakan satu buah *DCM P/80* sebagai kompensator dispersi. Adapun besarnya nilai total *rise time sublink* setelah ditambahkan *DCM P/80* adalah 61.3638 ps. Dengan demikian nilai *rise time budget* ini telah memenuhi syarat dan perencanaan jaringan serat optik *DWDM* ini layak untuk diimplementasikan.

#### 4.3.3 Power Link Budget

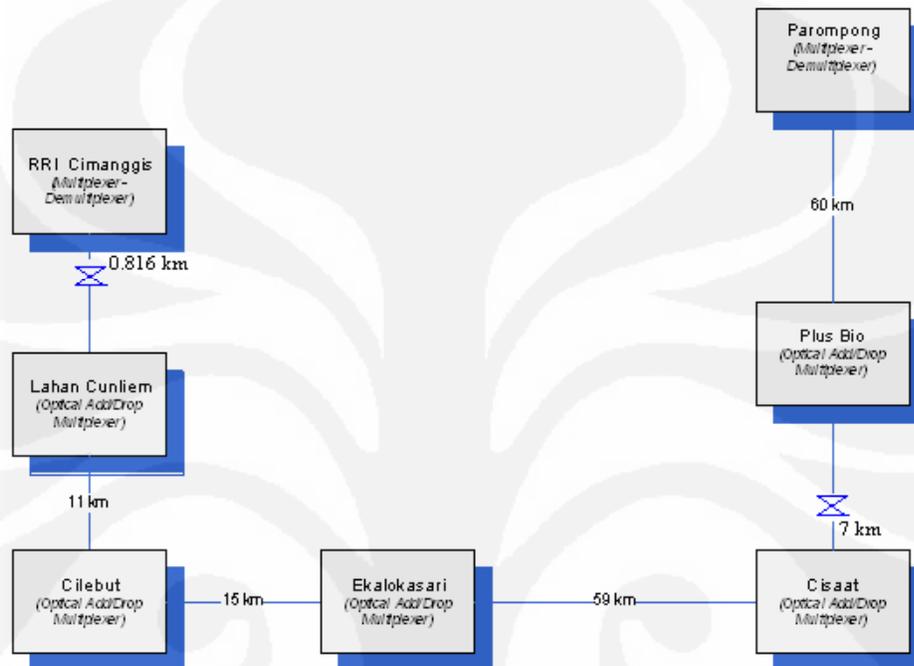
Analisis *power link budget* diperlukan untuk menjamin tingkatan daya terima pada *receiver* masih berada diatas minimum *sensitivitas threshold* sehingga sinyal informasi yang dikirim dapat diterima dengan baik oleh *receiver*. Untuk mendapatkan informasi perlu atau tidaknya penguat dalam suatu jaringan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

- a. Jarak *link* Bogor – Bandung = 200.9 km
- b. Jarak transmisi maksimum tanpa penguat = 131 km

Dari keterangan diatas, dapat diketahui kehadiran penguat pada perencanaan jaringan serat optik ini mutlak diperlukan. Setelah dilakukan perhitungan, diketahui bahwa apabila digunakan 1 penguat *EDFA* maka jarak transmisi maksimumnya sebesar 165 km, sedangkan apabila digunakan 2 penguat *EDFA* diketahui jarak transmisi maksimumnya sebesar 226.0597 km. Dikarenakan jarak tempuh transmisi *link* Bogor – Bandung ini mencapai 200.9 km maka akan dibutuhkan penguat *EDFA* sebanyak 2 buah.

Pada bab 3 telah dilakukan perhitungan jarak antar penguat yaitu sebesar 113.716 km, hal ini menandakan bahwa jarak antara penguat satu dengan penguat dua adalah sejauh 113.716 km. Pada perencanaan serat optik *DWDM* ini penguat pertama diletakkan sejauh 0.816 km dari *sublink* RRI Cimanggis dan penguat yang kedua diletakkan 7 km dari *sublink* Cisaat. Gambar 4.3 dibawah ini

menunjukkan posisi penguat *EDFA* pada perencanaan jaringan serat optik *DWDM* link Bogor – Bandung.



Gambar 4.4 Posisi Penguat *EDFA*

#### 4.3.4 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 ( 3 km/roll untuk kabel darat dan 50 km/roll untuk kabel laut ) 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 Serat Optik dan Jumlah Konektor

Keterangan	Jarak	Jumlah penguat	Jumlah sambungan	jumlah konektor
Cimanggis – Lahan Cunliem	20.9	1	8	4
Lahan Cunliem – Cilebut	11	0	3	2
Cilebut – Ekalokasari	15	0	4	2
Ekalokasari – Cisaat	59	0	19	2
Cisaat – Plus Bio	35	0	11	4
Plus Bio – Parompong	60	1	21	2
<b>Jumlah</b>	<b>200.9</b>	<b>2</b>	<b>49</b>	<b>16</b>

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Perencanaan jaringan serat optik *DWDM link* Bogor – Bandung ini membutuhkan 2 buah penguat yang diletakkan pada jarak 0.816 km dari *sublink* RRI Cimanggis dan 7 km dari *sublink* Plus Bio serta membutuhkan 49 buah sambungan serat optik (*splice*), 16 buah konektor dan 1 buah kompensator dispersi.
2. Penggunaan teknologi *DWDM* untuk pemenuhan prediksi kebutuhan kanal *link* Bogor – Bandung sampai tahun 2012 dapat menghemat jumlah *core* optik yang ada. Jumlah *core* yang ada sebanyak 48 *core* optik, apabila menggunakan teknologi *DWDM* maka akan membutuhkan 2 *core*, sedangkan apabila menggunakan teknologi *STM-4* maka akan dibutuhkan 14 *core* optik dan apabila menggunakan *STM-16* akan membutuhkan 4 *core* optik.
3. Perencanaan jaringan serat optik *DWDM* ini dapat diimplementasikan di lapangan, hal ini dibuktikan dengan menggunakan 2 buah penguat, nilai *power link budget* dapat menjangkau jarak tempuh transmisi sejauh 226.0597 km, sedangkan jarak tempuh *link* Bogor – Bandung sejauh 200.9 km dan dengan menggunakan 1 buah kompensator disperse, maka nilai *rise time budget* total semua *sublink* sebesar 61.3638 ps, sedangkan nilai *rise time* sistem sebesar 280 ps.

## DAFTAR REFERENSI

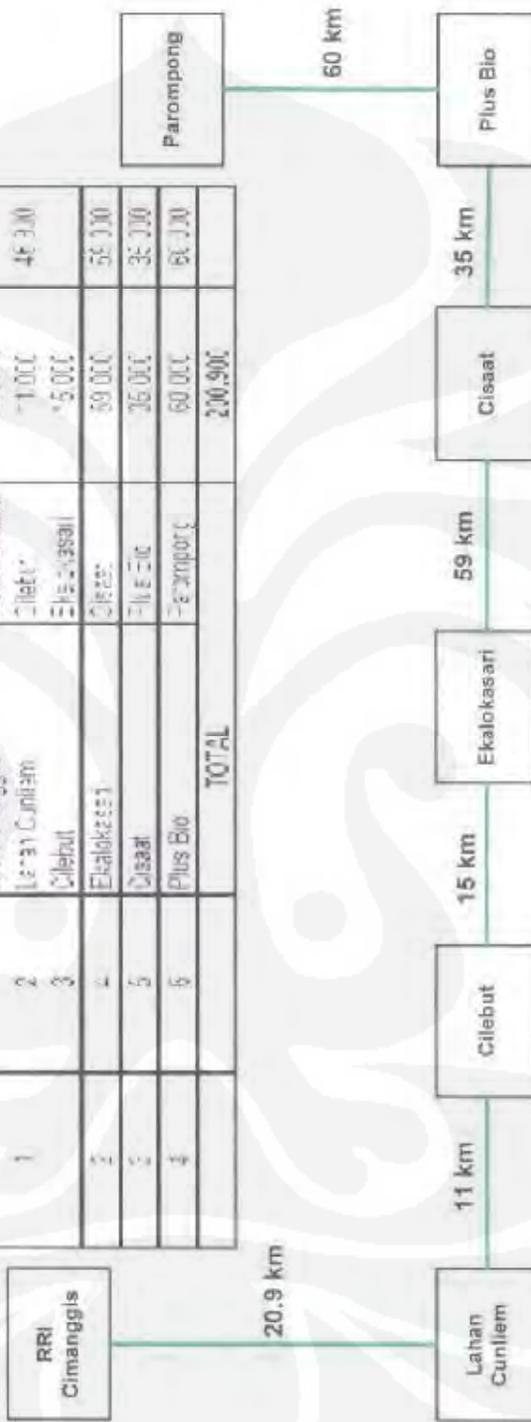
- [1] Keiser, Gerard, “*Optical Fiber Communication 2<sup>rd</sup> Edition*”, Mc.Graw-Hill Inc., 1991, hal 210 – 226.
- [2] Rochmah, *Diktat Perencanaan Sistem Transmisi*, (Depok 2008/2009), Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia, hal. 148-170.
- [3] Killen, B Harold, “*Fibre Optic Communication*”, Prentice Hall International Editions, New Jersey, 1991, hal. 70 – 95.
- [4] Rochmah, “Rancang Bangun Sistem Komunikasi Serat Optik antara Jakarta & Bandung”, Indonesia, 1992, hal 4 – 16.
- [5] Dixit, Sudhir S, “*IP Over WDM : Building the Next Generation Optical Internet*”, Wiley Inter Science , 2003. hal. 31 – 37.
- [6] Freeman, R.L, “ *Telecommunication Transmission Handbook* “, Ed. Ke-4, John Willey & Sons, Inc., Canada, 1998. hal. 27 – 41.

## LAMPIRAN



**PLAN FO BOGOR-BANDUNG**

Package Number	Segment Number	Site A	Site B	Distance (m)	Sub Total
1	1	RR Cimanggis	Lahan Cumiem	20.900	46.900
	2	Lahan Cumiem	Cilebut	1.000	
	3	Cilebut	Ekalokasari	5.000	
2	4	Ekalokasari	Cisaat	60.000	56.000
3	5	Cisaat	Parompong	36.000	36.000
4	6	Plus Blo	Parompong	60.000	60.000
<b>TOTAL</b>					<b>200.900</b>



## Parameter Perencanaan Jaringan Serat Optik

<b>DATA TEKNIS PERENCANAAN LINK BOGOR - BANDUNG</b>	
<b>1. Parameter Desain</b>	
Laju Bit (B)	2.5 Gbps (STM-16)
Jarak Link ( $L_{\text{sis}})$ )	200,9 km
BER (Bit Error Rate)	$10^{-9}$
Format Modulasi	NRZ
Dispersion Compensator Module	P/80
Margin Sistem ( $M_s$ )	4 dB
<b>2. Komponen SKSO</b>	
<b>A. Serat Optik Single Mode : ITU-T G.655 (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)</b>	
Attenuasi ( $\alpha_f$ )	0,23 dB/km
Dispersi Kromatik (D)	1,8 – 6 ps/nm.km
<b>B. Optical Interface</b>	
<b>B.1 Pengirim (transmitter) Laser Diode</b>	
Rise Time ( $t_{rx}$ )	35 ps
Lebar Spektral ( $\sigma_\lambda$ )	0,1 nm
Daya Transmit ( $P_{TX}$ )	10 dBm
<b>B.2 Penerima (Receiver) APD Detector</b>	
Rise Time ( $t_{rx}$ )	35 ps
Sensitivitas minimum ( $P_{RX}$ )	-25 dBm
<b>C. Komponen Tambahan</b>	
Redaman Konektor ( $\alpha_c$ )	0,5 dB/konektor
Redaman Splice ( $\alpha_s$ )	0,05 dB/splice
Gain EDFA	33 dB
Daya input EDFA	-22 dB

### Prediksi kebutuhan kapasitas kanal

#### *Link Bogor – Bandung sampai tahun 2012*

<i>Sublink</i>	<b>Prediksi kebutuhan E1</b>
RRI Cimanggis	217
Lahan Cunliem	143
Cilebut	175
Ekalokasari	241
Cisaat	315
Plus Bio	206
Parompong	417
<b>Jumlah</b>	<b>1714</b>