



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGGUNAAN TEKNOLOGI DWDM PADA JARINGAN
BACKBONE JAWA BARAT**

SKRIPSI

TEGAR SATRIO DWIPUTRO

0806331292

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGGUNAAN TEKNOLOGI DWDM PADA JARINGAN
BACKBONE JAWA BARAT**

HALAMAN JUDUL

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

TEGAR SATRIO DWIPUTRO

0806331292

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama Tegar Satrio Dwiputro

NPM 0806331292

Tanda Tangan 

Tanggal 5 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Tegar Satrio Dwiputro
NPM : 0806031292
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Teknologi DWDM Pada Jaringan Backbone Jawa Barat

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. Anisa Djahjeh, MT

Pengaji : Dr. Ir. Retno Wigati, P. MS

Pengaji : Dr. Ir. Purnomo Sili P. M. Sc., Ph.D.

Ditetapkan di :

Tanggal : 5 Juli 2012

KATA PENGANTAR

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

- (1) Bpk Ir.Arifin Djauhari, MT. Selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan banyak waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan berupa dukungan moral dan material; dan
- (3) Para Teman Elektro UI angkatan 2008 yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Skripsi ini.

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 pengetahuan.

Depok, 5 Juli 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Tegar Satrio Dwiputro

NPM : 08100331243

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

ANALISIS PENGGUNAAN TEKNOLOGI DWDM PADA JARINGAN RACKONE JAWA BARAT

Berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat 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 : 5 Juli 2012

Yang menyatakan



(Tegar Satrio D)

ABSTRAK

Nama : Tegar Satrio Dwiputro
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Penggunaan Teknologi DWDM Pada Jaringan
Backbone Jawa Barat

DWDM adalah salah satu teknik *multiplexing* dengan media transmisi serat optik yang menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi sehingga memungkinkan beberapa informasi (data, *voice*, dan *video*) ditransmisikan dalam satu serat optik saja dalam waktu yang bersamaan. Dalam skripsi ini, akan dijelaskan analisis tentang penggunaan teknologi DWDM pada jaringan *backbone*, terutama penggunaan teknologi DWDM pada *backbone* Jawa Barat. Untuk menganalisis, mengambil data-data yang diperlukan dari PT. TELKOM seperti konfigurasi jawa *backbone*, konfigurasi *backbone* jawa barat, dan perkembangan kapasitas atau trafik data dari tahun 2006-2011. Dari data yang didapat terlihat bahwa untuk jaringan *backbone* jawa barat teknik *multiplexing* yang tepat adalah DWDM karena hanya DWDM yang dapat memenuhi pertumbuhan kapasitas dan trafik pada *backbone* jawa barat. Sedangkan untuk konfigurasi, serat optik yang paling tepat untuk *backbone* jawa barat adalah G.652 dan G.655. Dan jarak antar terminal maksimal 97 km.

Kata Kunci: Serat Optik, DWDM, *Backbone*

ABSTRACT

Name : Tegar Satrio Dwiputro
Study Program : Electrical Engineering
Title : Analysis Of The Use Of DWDM Technology On West
Java Backbone Network

DWDM is a multiplexing technique with optical fiber transmission media that uses different wavelengths as different channels of information to allow some information (data, voice, and video) is transmitted in only one optical fiber at the same time. In this thesis, will be explained the analysis of the use of DWDM technology in backbone networks, especially the use of DWDM technology in the backbone of West Java. To analyze the authors take the necessary data from the PT. TELKOM as backbone configuration of Java, West Java backbone configuration, and development of the capacity or the traffic data from the years 2006-2011. From the data obtained shows that for western Java backbone, network multiplexing technique which is appropriate is DWDM. Because only DWDM can fullfill the growing capacity and traffic on the backbone of west java. As for the configuration, the optical fiber which is most appropriate for western Java is G.652 and G.655. And the maximum distance between the terminal is 97 km

Keywords: Fiber Optic, DWDM, Backbone

DAFTAR ISI

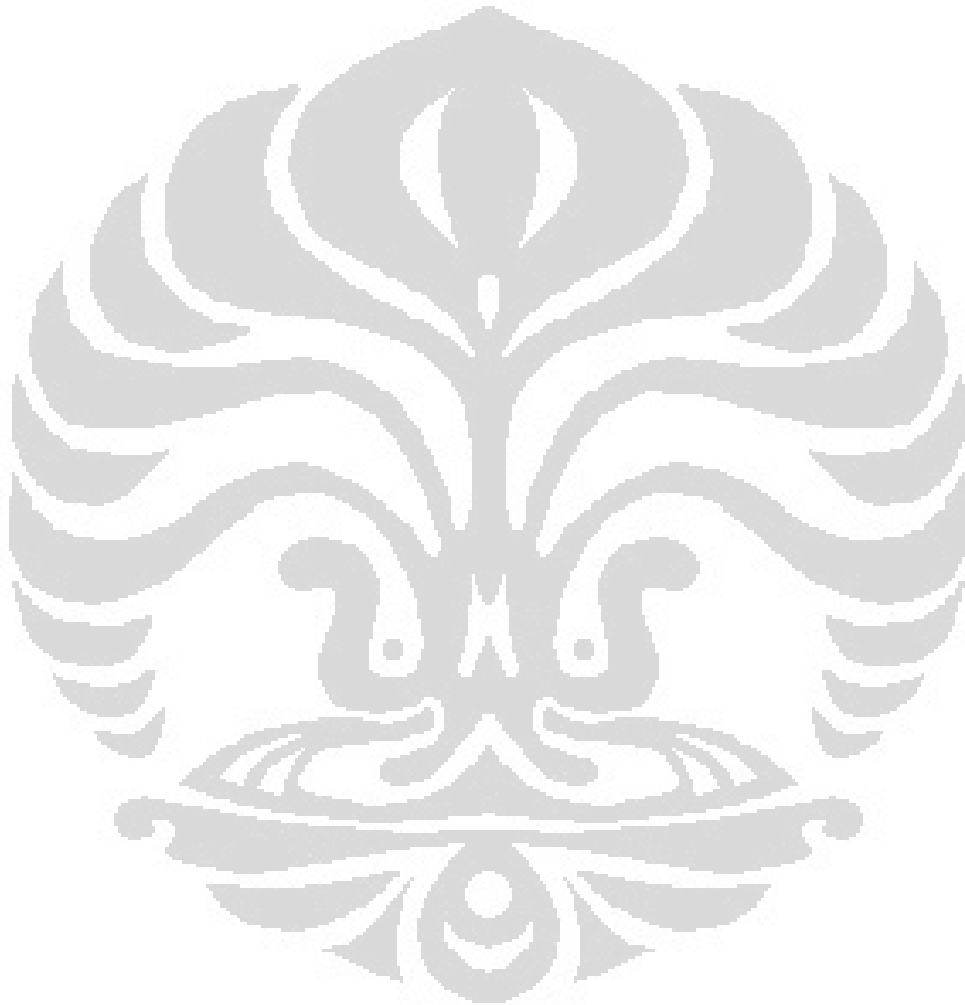
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Metode Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 SISTEM KOMUNIKASI OPTIK	4
2.1 Serat Optik	4
2.1.1 Definisi Serat Optik	4
2.1.2 Komponen Serat Optik	4
2.1.3 Kelebihan Serat Optik.....	5
2.1.4 Karakteristik Serat Optik	5
2.1.5 Panjang Gelombang Kerja yang Digunakan Pada Serat Optik.....	7
2.1.6 Jenis-Jenis Serat Optik.....	8
2.1.7 Prinsip Kerja Serat Optik	10
2.2 <i>Multiplexing</i>	11

2.2.1 PDH (<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>)	11
2.2.2 SDH	12
2.2.2.1 Defenisi SDH.....	12
2.2.2.2 Keuntungan SDH.....	12
2.2.2.3 Standar Frame SDH	13
2.2.3 TDM (<i>Time Division Multiplexing</i>).....	14
2.2.4 SDM (<i>Space Division Multiplexing</i>)	14
2.2.5 WDM (<i>Wavelength Division Multiplexing</i>).....	15
2.2.6 CWDM (<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i>)	15
2.3 Teknologi DWDM	16
2.3.1 Definisi DWDM.....	16
2.3.2 Keunggulan DWDM.....	17
2.3.3 Proses Kerja DWDM.....	18
2.3.4 Komponen-komponen DWDM.....	19
2.3.5 <i>Channel Spacing</i>	20
2.3.6 Alokasi Frekuensi	20
BAB 3 JARINGAN <i>BACKBONE</i> JAWA BARAT	26
3.1 Definisi Jaringan <i>Backbone</i>	26
3.2 Proses Kerja Jaringan <i>Backbone</i>	27
3.3 Jaringan Jawa <i>Backbone</i>	29
3.4 Jaringan <i>Backbone</i> Jawa Barat.....	31
BAB 4 ANALISIS PENGGUNAAN TEKNOLOGI DWDM PADA JARINGAN <i>BACKBONE</i> JAWA BARAT	33
4.1 Analisis Pemilihan Jenis Serat Optik	33
4.2 Analisis Jarak Antara Terminal	35
4.3 Analisis Pemilihan Teknologi DWDM	36
BAB 5 KESIMPULAN	38
DAFTAR REFERENSI	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Serat Optik	4
Gambar 2.2 Komponen Serat Optik	4
Gambar 2.3 <i>Operational Wavelength Range</i>	7
Gambar 2.4 Perambatan Gelombang pada <i>Singlemode Step Indeks</i>	8
Gambar 2.5 Perambatan Gelombang pada <i>Multimode Step Indeks</i>	9
Gambar 2.6 Perambatan Gelombang pada Multimode Graded Indeks	10
Gambar 2.7 SDH	13
Gambar 2.8 TDM.....	14
Gambar 2.9 WDM	15
Gambar 2.10 CWDM.....	16
Gambar 2.11 DWDM.....	17
Gambar 2.12 <i>Interface DWDM</i>	18
Gambar 2.13 <i>DWDM System Application</i>	20
Gambar 3.1 Topologi Umum Jaringan Backbone	26
Gambar 3.3 Jaringan metro/SDH yang terputus dari <i>backbone</i>	28
Gambar 3.4 Jaringan Antar <i>Backbone</i>	29
Gambar 3.5 Jaringan Jawa <i>Backbone</i>	30
Gambar 3.6 Pertambahan Kapasitas Jawa <i>Backbone</i>	30

Gambar 3.8 Jaringan <i>Backbone</i> Jawa Barat.....	31
Gambar 4.2 Transmisi Antar Terminal.....	35
Gambar 4.3 SDH menjadi DWDM	37



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Line Loss Kabel	6
Tabel 2.2 Panjang Gelombang Kerja Pada Fiber Optik.....	8
Tabel 2.3 Standar PDH pada Eropa, Amerika Utara, dan Jepang.....	11
Tabel 2.4 Standar <i>Frame</i> dan Kecepatan SDH	14
Tabel 2.5 Alokasi 40- <i>wavelength system</i>	21
Tabel 2.6 Alokasi 80- <i>wavelength system</i>	22
Tabel 2.7 Alokasi 80- <i>wavelength system</i> (cont).....	23
Tabel 2.8 Alokasi 160- <i>wavelength system</i> (dimana untuk <i>wavelength</i> 1-80 sama seperti 80- <i>wavelength system</i>).....	24
Tabel 2.9 Alokasi 160- <i>wavelength system</i> (cont).....	25
Tabel 3.1 Spesifikasi Teknis Serat Optik yang Digunakan PT. TELKOM	32
Tabel 4.1 <i>Fiber Loss</i>	33

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia merupakan makhluk sosial yang membutuhkan interaksi antara satu dengan yang lain. Kemudahan berkomunikasi yang mereka inginkan mampu mendorong perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang cukup pesat, terutama dalam bidang telekomunikasi. Kemajuan itu dapat kita lihat dari beragamnya perangkat telekomunikasi yang tersedia untuk menunjang aktifitas sehari-hari. Telah terdapat beberapa jenis penggunaan teknologi telekomunikasi seperti komunikasi optik, *wireless*, satelit, dan lain-lain, dimana masing-masing penggunaan teknologi itu memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Serat optik sebagai media transmisi untuk sistem telekomunikasi kecepatan tinggi. Dengan *Bit Error Rate* (BER) yang rendah, *bandwidth* yang lebar, serta peredaman sinyal yang kecil maka serat optik dikatakan sebagai media transmisi yang baik.

Salah satu aplikasi serat optik adalah DWDM. *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) merupakan suatu 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.

Teknologi DWDM ini dapat memenuhi *demand* dari *user* akan *rate* yang terus meningkat seiring berkembangnya teknologi. Pada skripsi ini akan dibahas tentang analisis penggunaan teknologi DWDM pada jaringan *backbone*.

1.2 Tujuan

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, tujuan pembuatan laporan ini adalah untuk menganalisis penggunaan teknologi DWDM pada jaringan *backbone*. Analisis ini meliputi analisis pemilihan serat optik, jarak antar terminal, serta analisis pemilihan teknologi DWDM pada jaringan *backbone* dengan membandingkan dengan teknik *multiplexing* yang lain.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan pada laporan ini akan dibatasi pada analisis penggunaan *backbone* pada daerah jawa barat saja sebagai transmisi selain itu penulis tidak mendesain jaringan *backbone* ataupun membandingkan dengan jaringan *backbone* yang sudah ada.

1.4 Metode Penelitian

Metodologi Penelitian selama melakukan penelitian dan penulisan laporan adalah:

1. Studi literatur

Penulis membaca buku, jurnal, dan bahan-bahan lain yang berkaitan dengan konsep DWDM serta teknik *multiplexing* lainnya

2. Konsultasi dengan dosen pembimbing

Pertemuan dengan dosen pembimbing membuat penulisan laporan menjadi terarah dengan baik dan penulisan berjalan dengan kontinu.

3. Pendataan

Data yang digunakan oleh penulis didapat dari PT. TELKOM untuk mengetahui jaringan *backbone* di jawa barat

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini disajikan dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang masalah, tujuan dan batasan dari masalah yang diangkat menjadi topik utama skripsi, serta sistematika penulisan laporan itu sendiri.

BAB II SISTEM KOMUNIKASI OPTIK

Bab ini berisi penjelasan tentang serat optik baik itu definisi, komponen, karakteristik, frekuensi kerja, jenis-jenis, serta prinsip kerja dari serat optik.

Selain itu pada bab ini juga kan membahas berbagai macam teknik *multiplexing* dari PDH sebagai teknologi awal sampai DWDM. Karena

pembahasan skripsi ini mengenai teknologi DWDM, maka DWDM akan penulis jelaskan dengan lebih detail, yaitu dari segi definisi, keunggulan, proses kerja, komponen serta alokasi frekuensi dari teknologi DWDM.

BAB III JARINGAN *BACKBONE* JAWA BARAT

Bab ini berisi tentang penjelasan dari jaringan *backbone* serta data dari *backbone* jawa serta backbone jawa barat dan pertumbuhan kapasitas pada jaringan *backbone*

BAB IV ANALISA PENGGUNAAN TEKNOLOGI DWDM PADA JARINGAN *BACKBONE* JAWA BARAT

Bab ini berisi analisa penggunaan teknologi DWDM pada jaringan *backbone* jawa barat, serta kelebihan penggunaan teknologi DWDM dibandingkan teknologi *multiplexing* yang lain. Selain itu juga berisi tentang analisa pemilihan serat optik di jaringan *backbone* jawa barat serta analisis jarak antar terminal pada jaringan *backbone* jawa barat

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari bab-bab sebelumnya

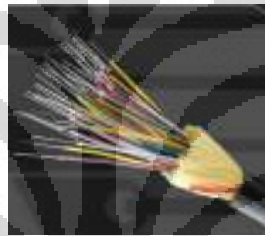
BAB 2

SISTEM KOMUNIKASI OPTIK

2.1 Serat Optik

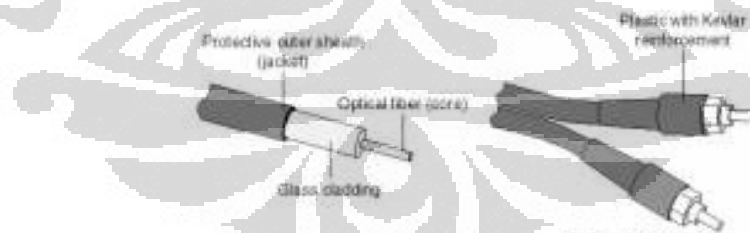
2.1.1 Definisi Serat Optik

Serat optik adalah suatu dielektrik *waveguide* yang beroperasi pada frekuensi optik atau cahaya. Serat optik berbentuk silinder dan menyalurkan energi gelombang elektromagnetik dalam bentuk cahaya di dalam permukaannya dan mengarahkan cahaya pada sumbu axisnya. Struktur dasar dari serat optik sebenarnya tersusun atas *coating*, *cladding* dan *core*. Namun demi alasan keamanan maka ditambahkan pengaman setelah lapisan *coating*.



Gambar 2.1 Serat Optik

2.1.2 Komponen Serat Optik



Gambar 2.2 Komponen Serat Optik

Serat optik terdiri dari 3 komponen yaitu :

- *Core*(Inti)

Core berfungsi untuk menentukan cahaya merambat dari satu ujung ke ujung lainnya. *Core* terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas sangat tinggi. Selain itu, ada juga yang terbuat dari hasil campuran silika dan kaca. Sebagai

inti, *core* juga tempat merambatnya cahaya pada serat optik. Memiliki diameter $10\ \mu\text{m} - 50\ \mu\text{m}$. *Core* terbuat dari SiO_2 , selain itu juga terdiri dari bahan kimia yaitu GeO_2 untuk meningkatkan indeks bias dari inti serat.

- *Cladding*

Cladding berfungsi sebagai cermin yaitu memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya. Dengan adanya *cladding* ini cahaya dapat merambat dalam *core* serat optik. *Cladding* terbuat dari bahan gelas dengan indeks bias yang lebih kecil dari *core*. *Cladding* merupakan selubung dari *core*. Diameter *cladding* umumnya $125\ \mu\text{m}$. Indeks bias pada *cladding* lebih kecil dibandingkan indeks bias pada inti.

- *Coating*(Jaket)

Coating berfungsi sebagai pelindung mekanis pada serat optik dan identitas kode warna. Terbuat dari bahan plastik dan memiliki diameter $250\ \mu\text{m}$. Dengan *coating*, kita dapat meningkatkan fleksibilitas, melindungi serat optik, dan memperpanjang usia dari serat optik.

2.1.3 Kelebihan Serat Optik

Serat optik memiliki beberapa keunggulan dalam penggunaannya sebagai kabel transmisi dibandingkan dengan jenis kabel lainnya, yaitu :

- Redaman transmisi yang kecil.
- Bidang frekuensi yang lebar.
- Ukuran yang kecil dan ringan.
- Tidak ada interferensi.
- Tidak adanya *ground loop* serta tidak akan terjadi hubungan api pada saat kontak atau terputusnya serat optik.

2.1.4 Karakteristik Serat Optik

a. 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.

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.

b. Atenuasi

Redaman/atenuasi serat optik merupakan karakteristik penting yang harus diperhatikan mengingat kaitannya dalam menentukan jarak pengulang (*repeater*), jenis pemancar dan penerima optik yang harus digunakan.

Redaman serat biasanya disebabkan oleh 2 hal

1. *Loss* yang berasal dari serat optik, terdiri dari *loss* yang diakibatkan dari absorpsi cahaya oleh kabel, *loss* yang disebabkan material yang tidak murni (terutama karena ada komponen OH pada serat), dan *Raileigh dispersion loss*.

2. *Loss* tambahan dari serat optik, yaitu *layout* dari serat optik, koneksi serat optik, dan sistem koneksi pada serat optik, karena serat terikat dalam kabel. Selain itu juga termasuk *bending loss*, *connection loss* pada jaringan serat, dan *coupling loss* antara komponen optik.

Tabel 2.1 Line Loss Kabel

Fiber Type	G.652	G.653	G.655
Typical loss value (1310 nm)	0.3 dB/km-0.4 dB/km	-	-
Typical loss value (1550 nm)	0.15 dB/km-0.25 dB/km	0.19 dB/km - 0.25 dB/km	0.19 dB/km - 0.25 dB/km
Working Window	1310 nm dan 1550 nm	1550 nm	1550 nm

c. Dispersi

Dispersi adalah pelebaran pulsa yang terjadi ketika sinyal merambat melalui sepanjang serat optik. Dispersi akan membatasi lebar pita (*bandwidth*) dari serat. Dispersi yang terjadi pada serat secara garis besar ada dua yaitu dispersi intermodal (dispersi antar ragam) dan dispersi intramodal dikenal dengan nama lain dispersi kromatik disebabkan oleh dispersi material dan dispersi *waveguide*.

1. Dispersi Antar Ragam

Timbulnya dispersi antar ragam karena alur total yang ditempuh oleh suatu sinar pada setiap ragam adalah zigzag, dan mempunyai panjang total yang berbeda dari setiap sinar-sinar ragam yang lain.

2. Dispersi Material

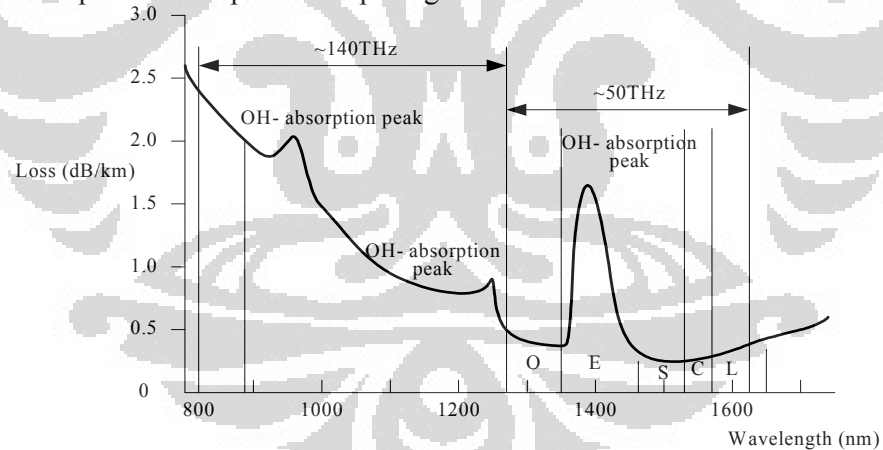
Sebagai akibat dari dispersi material, bila pulsa cahaya yang dipancarkan mengandung komponen-komponen dengan beberapa panjang gelombang yang berbeda yang terpusat pada suatu panjang gelombang tengah.

3. Dispersi *Waveguide*

Jika *fiber* dapat dioperasikan sedemikian sehingga dispersi antar ragam dan bahan dapat dihilangkan, maka mekanisme dispersi yang ketiga akan menjadi penting, hal ini mencegah tercapainya keadaan tanpa dispersi total, kecuali untuk kasus cahaya monokromatis yang ideal.

2.1.5 Panjang Gelombang Kerja yang Digunakan Pada Serat Optik

Sinyal optik, panjang gelombang, serat optik yang digunakan dan aplikasi pada tiap *window* dapat dilihat pada gambar dan tabel dibawah ini



Gambar 2.3 *Operational Wavelength Range*

Tabel 2.2 Panjang Gelombang Kerja Pada Fiber Optik

Window	I	II	III	IV	V
Mark (nm)	850	1310 (O band)	1550 (C band)	1600 (L band)	1360~1530 (E+S band)
Panjang Gelombang (nm)	600-900	1260-1360	1530-1565	1565-1625	1360-1530
Jenis Fiber	MMF	MMF/G.652/G.653	G.652/G.653/G.655	G.652/G.653/G.655	Full-wave fiber
Aplikasi	Jarak dekat dan low rate		Jarak jauh dan high rate		

2.1.6 Jenis-Jenis Serat Optik

Ditinjau dari profil indeks bias dan mode gelombang

a. *Singlemode Step Indeks*

Pada jenis *single mode step indeks*, baik *core* maupun *cladding*nya dibuat dari bahan silika. Ukuran *core* yang jauh lebih kecil dari *cladding* dibuat demikian agar rugi-rugi transmisi berkurang akibat *fading*. Seperti ditunjukkan gambar berikut.

Single Mode (Monomode)



Gambar 2.4 Perambatan Gelombang pada *Singlemode Step Indeks*

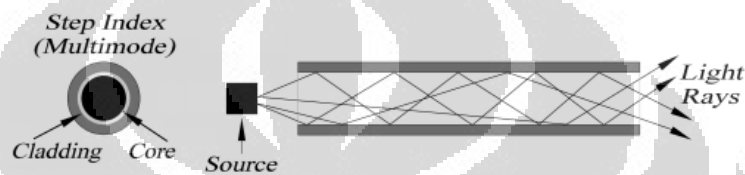
Pada *singlemode step indeks* ini, indeks biasnya berubah secara signifikan seperti pada *multimode step indeks*. Dalam *single mode fiber* hanya terjadi satu jenis mode perambatan berkas cahaya saja, sehingga tidak akan terjadi pelebaran pulsa di tingkat *ouputnya*.

Singlemode Step Indeks mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Serat optik *Singlemode Step Indeks* memiliki diameter *core* yang sangat kecil dibandingkan ukuran *cladding*nya.
- Ukuran diameter *core* antara 2 μm – 10 μm .
- Memiliki redaman yang sangat kecil.
- Memiliki *bandwidth* yang lebar.
- Digunakan untuk transmisi data dengan *bit rate* tinggi.
- Dapat digunakan untuk transmisi jarak dekat, menengah dan jauh.

b. *Multimode Step Indeks*

Pada jenis *multimode step indeks* ini, diameter *core* lebih besar dari diameter *cladding*. Serat optik jenis ini mempunyai diameter inti sebesar 50 mm dan diameter selubung sebesar 125 mm. Dampak dari besarnya diameter inti menyebabkan rugi-rugi dispersi saat transmitnya besar. Penambahan presentase bahan silika pada waktu pembuatan, tidak terlalu berpengaruh dalam menekan rugi-rugi dispersi waktu transmit. Berikut adalah gambar dari perambatan gelombang dalam serat optik *multimode step indeks*.



Gambar 2.5 Perambatan Gelombang pada *Multimode Step Indeks*

Disebut "*Step Indeks*" karena indeks bias berubah secara drastis dari kulit ke inti *fiber*. Pada selubung *fiber* mempunyai indeks bias yang lebih rendah daripada indeks bias inti *fiber*. Hal ini mengakibatkan semua sinar yang memiliki sudut datang lebih besar dari sudut kritis akan dipantulkan oleh lapisan kulit *fiber*.

Multimode Step Indeks mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Indeks bias *core* konstan.
- Ukuran *core* besar (50mm) dan dilapisi *cladding* yang sangat tipis.
- Penyambungan kabel lebih mudah karena memiliki *core* yang besar.
- Sering terjadi dispersi.
- Hanya digunakan untuk jarak pendek dan transmisi data *bit rate* rendah.

c. *Multimode Graded Indeks*

Pada jenis serat optik *multimode graded indeks* ini, *core* terdiri dari sejumlah lapisan gelas yang memiliki indeks bias yang berbeda, indeks bias tertinggi terdapat pada pusat *core* dan berangsur-angsur turun sampai ke batas *core-cladding*. Akibatnya dispersi waktu berbagai mode cahaya yang merambat

berkurang sehingga cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan. Berikut adalah gambar perambatan gelombang dalam *multimode graded index*.



Gambar 2.6 Perambatan Gelombang pada Multimode Graded Indeks

Multimode Graded Indeks mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Cahaya merambat karena difraksi yang terjadi pada *core* sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat.
- Dispersi minimum sehingga baik jika digunakan untuk jarak menengah
- Ukuran diameter *core* antara 30 μm – 60 μm . lebih kecil dari *multimode step Index* dan dibuat dari bahan silica glass.
- Harganya lebih mahal dari serat optik *Multimode Step Indeks* karena proses pembuatannya lebih sulit.

2.1.7 Prinsip Kerja Serat Optik

Berbeda dengan telekomunikasi yang mempergunakan gelombang elektromagnet maka pada serat optik gelombang cahayalah yang bertugas membawa sinyal informasi. Pertama-tama sinyal yang berupa listrik dibawa oleh gelombang pembawa cahaya melalui serat optik dari pengirim (*transmitter*) menuju penerima (*receiver*) yang terletak pada ujung lainnya pada serat. Modulasi gelombang cahaya ini dapat dilakukan dengan merubah sinyal listrik termodulasi menjadi gelombang cahaya pada *transmitter* dan kemudian merubahnya kembali menjadi sinyal listrik pada *receiver*.

Tugas untuk merubah sinyal listrik ke gelombang cahaya atau sebaliknya dapat dilakukan oleh komponen elektronik yang dikenal dengan nama komponen *optoelektronik*. *Optoelektronik* ini terdapat pada *transmitter* dan *receiver*.

Dalam perjalanannya dari *transmitter* menuju ke *receiver* akan terjadi redaman cahaya di sepanjang kabel serat optik dan konektornya. Karena itu jika

jaraknya terlalu jauh akan diperlukan sebuah atau beberapa *repeater* yang bertugas untuk memperkuat gelombang cahaya yang telah mengalami redaman.

2.2 Multiplexing

Teknologi *multiplexing* adalah suatu teknologi *broadband* dari serat optik yang memungkinkan untuk mentransmisikan beberapa kanal sinyal dalam satu serat optik atau kabel. Dalam sistem transmisi *multi-channel* sinyal, *multiplexing* dari sinyal dapat memberikan efek yang baik dalam performa dan mengurangi biaya. Berbagai jenis *multiplexing* adalah :

2.2.1 PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*)

Sistem transmisi optik yang pertama adalah dengan menggunakan teknologi PDH, teknologi ini memultiplex sinyal dengan *low-rate level* menjadi sinyal berkecepatan tinggi. Sistem PDH ini dapat disebut juga *plesiochronous* (atau asinkron) TDM. Sistem PDH ini digunakan pada tiga regional, yaitu Eropa, Amerika dan Jepang.

Tabel 2.3 Standar PDH pada Eropa, Amerika Utara, dan Jepang

Region	Primary Group	Secondary Group	Tertiary Group	Quartus Group
Eropa	2.048 Mbit/s, 30 channel	8.448 Mbit/s, 120 channel (30x4)	34.368 Mbit/s, 480 channel (120x4)	139.264 Mbit/s, 1920 channel (480x4)
Amerika Utara	1.544 Mbit/s, 24 channel	6.312 Mbit/s, 96 channel (24x4)	44.736 Mbit/s, 672 channel (96x7)	274.176 Mbit/s, 4032 channel (672x4)
Jepang	1.544 Mbit/s, 24 channel	6.312 Mbit/s, 96 channel (24x4)	32.064 Mbit/s, 480 channel (96x5)	97.728 Mbit/s, 1440 channel (480x3)

Dari awal 1970 sampai 1980an, sistem PDH sangat populer digunakan pada jaringan digital. Tetapi seiring berkembangnya teknologi komunikasi *fiber* dan berkembangnya *demand* dari *user* untuk layanan komunikasi, PDH memiliki beberapa kekurangan :

- Tidak adanya standar internasional untuk teknologi ini sehingga sangat sulit diterapkan pada negara-negara diluar amerika utara, eropa dan jepang.

- Tidak adanya standar internasional untuk serat optik yang digunakan untuk teknologi ini
- PDH hanya dapat diaplikasikan pada transmisi *point-to-point*.
- Tidak dapat melakukan *monitoring* atau *network management*
- Tidak dapat mengakomodasi kebutuhan *rate* yang semakin tinggi oleh *user*

2.2.2 SDH

2.2.2.1 Defenisi SDH

SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) adalah suatu standar internasional sistem transport pada telekomunikasi berkecepatan tinggi melalui jaringan optik/elektrik, yang dapat mengirimkan sinyal digital dalam kapasitas yang beragam. Di Amerika, SDH juga dikenal dengan sebutan **SONET** (*Synchronous Optical Network*). SDH disusun kira-kira tahun 1990 dan menjadi temuan yang revolusioner dalam bidang telekomunikasi berbasis serat optik karena kelebihan kemampuan dan biayanya.

Dalam transmisi telepon digital, '*synchronous*' berarti bit-bit dari satu panggilan, akan dibawa dalam satu *frame* transmisi. Dengan kata lain masing-masing koneksi memiliki *bit rate* dan *delay* yang konstan. Sebagai contoh, jaringan SDH memungkinkan beberapa *Internet Service Provider* (ISP) menggunakan satu serat optik secara bersama-sama, tanpa terganggu oleh *traffic* data masing-masing dan adanya tindakan saling curi kapasitas antar ISP. Hanya bilangan-bilangan integer tertentu berkelipatan 64 kbit/s yang dapat digunakan dalam SDH.

2.2.2.2 Keuntungan SDH

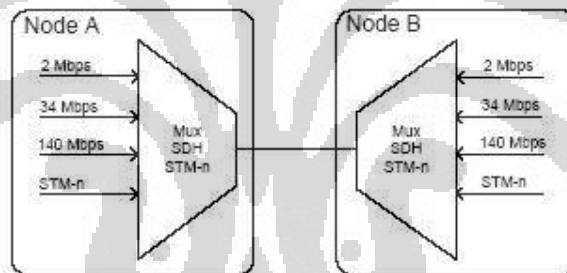
SDH memiliki dua keuntungan pokok yaitu fleksibilitas yang demikian tinggi dalam hal konfigurasi kanal pada simpul-simpul jaringan dan meningkatkan kemampuan manajemen jaringan baik untuk *payload traffic*-nya maupun elemen-elemen jaringan. SDH juga memiliki beberapa keuntungan lain seperti :

- *Self-healing*, yakni pengarahannya ulang (*rerouting*) lalu lintas komunikasi secara otomatis tanpa interupsi layanan.
- Provisi yang cepat.

- Akses yang fleksibel, manajemen yang fleksibel dari berbagai lebar pita tetap ke tempat-tempat pelanggan.
- Kemampuan memberikan informasi (detail alarm) dalam menganalisis masalah yang terjadi pada sistem.
- Standar SDH juga membantu kreasi struktur jaringan yang terbuka, sangat dibutuhkan dalam lingkup yang kompetitif sekarang ini bagi perusahaan-perusahaan penyedia layanan telekomunikasi.

Akan tetapi, metode SDH pun memiliki kelemahan. Kemampuan multiplexing SDH yang fleksibel dan kompatibel dengan *interface multivendor*, menyebabkan jumlah *interface* yang terhubung pada SDH jauh lebih banyak dan beragam. Ditambah lagi pada sistem SDH terdapat koneksi *add-and-drop* dan *cross-connect* yang memungkinkan kanal-kanal berbeda kapasitas dijadikan satu multiplexing.

Hirarki multiplexing SDH dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.7 SDH

2.2.2.3 Standar *Frame* SDH

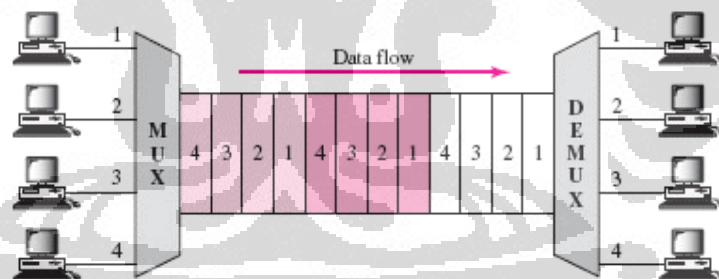
Struktur *frame* terendah yang didefinisikan dalam standar SDH adalah STM-1 (*Synchronous Transport Module level 1*) dengan laju bit 155,520 Mbit/s (155 Mbps). Ini berarti STM-1 terdiri dari 2430 byte dengan durasi frame 125 μ s. *Bit rate* atau kecepatan transmisi untuk level STM-N yang lebih tinggi juga telah distandarisasi sebagai kelipatan bulat (1, 4, 16 dan 64) dari $N \times 155,520$ Mbps, seperti yang terdapat pada

Standar Frame	Standar Kecepatan
STM – 1	155,520 Mbps (155 Mbps)
STM – 4	622,080 Mbps (622 Mbps)
STM – 16	2.488,320 Mbps (2,5 Gbps)
STM – 64	9.953,280 Mbps (10 Gbps)

Tetapi teknologi ini tidak dapat mengakomodir kebutuhan *user* yang berada dia atas 10 Gbit/s.

2.2.3 TDM (*Time Division Multiplexing*)

TDM adalah suatu teknik *multiplexing* dimana beberapa *channel* sinyal menggunakan interval waktu yang berbeda pada serat optik yang sama saat sinyal ditransmisikan. Teknologi ini tidak dapat diimplementasikan untuk sistem yang memiliki kapasitas lebih dari 40 Gbit/s



Gambar 2.8 TDM

2.2.4 SDM (*Space Division Multiplexing*)

SDM adalah suatu teknik *multiplexing* yang memungkinkan membagi ruang menjadi beberapa kanal untuk mengimplementasi *wavelength multiplexing*. Untuk melakukan hal ini bisa dengan menambah jumlah *core* pada kabel atau menambah jumlah serat optik. Teknologi SDM memiliki desain yang sederhana, tetapi membutuhkan jumlah serat optik yang banyak, sehingga tidak efisien dari segi ekonomis.

2.2.5 WDM (*Wavelength Division Multiplexing*)

Teknologi WDM pada dasarnya adalah teknologi transport untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara, dan *video*) dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda dalam suatu *fiber* tunggal secara bersamaan. Implementasi WDM dapat diterapkan baik pada jaringan *long haul* (jarak jauh) maupun untuk aplikasi *short haul* (jarak dekat).

Konsep ini pertama kali dipublikasikan pada tahun 1970, dan pada tahun 1978 sistem WDM telah terealisasi di laboratorium. Sistem WDM pertama hanya menggabungkan 2 sinyal. Pada perkembangan WDM, beberapa sistem telah sukses mengakomodasikan sejumlah panjang-gelombang dalam sehelai serat optik yang masing-masing berkapasitas 2,5 Gbps sampai 5 Gbps. Namun penggunaan WDM menimbulkan permasalahan baru, yaitu ke-nonlinieran serat optik dan efek dispersi yang semakin kehadirannya semakin signifikan yang menyebabkan terbatasnya jumlah panjang-gelombang 2-8 buah saja di kala itu.

Pada perkembangan selanjutnya, jumlah panjang-gelombang yang dapat diakomodasikan oleh sehelai serat optik bertambah mencapai puluhan buah dan kapasitas untuk masing-masing panjang gelombang pun meningkat pada kisaran 10 Gbps, kemampuan ini merujuk pada apa yang disebut DWDM

WDM populer karena memungkinkan untuk mengembangkan kapasitas jaringan tanpa menambah jumlah *fiber*. Kapasitas dari hubungan dapat dikembangkan hanya dengan meningkatkan *multiplexers* dan *demultiplexers* yang digunakan.

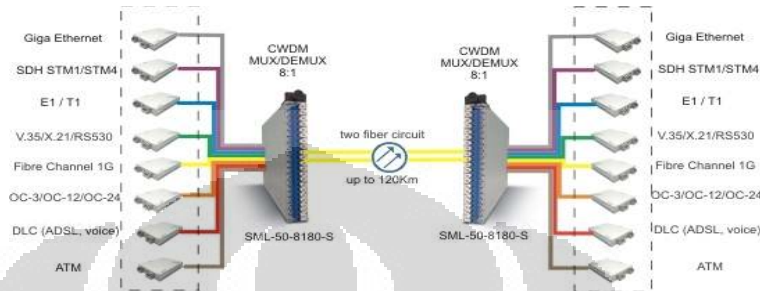


Gambar 2.9 WDM

2.2.6 CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*)

Teknologi CWDM adalah teknologi WDM dengan interval panjang gelombang yang besar (umumnya lebih besar dari 20nm), memiliki jumlah panjang gelombang 4, 8 atau 16. Menggunakan window 1200 nm – 1700 nm.

Menggunakan *non-cooling* laser dan komponen *amplifier* pasif. Teknologi CWDM ini memiliki kapasitas yang kecil dan jarak transmisi yang dekat, oleh karena itu teknologi ini diaplikasikan pada jaringan komunikasi di dalam gedung atau antar gedung.



Gambar 2.10 CWDM

2.3 Teknologi DWDM

2.3.1 Definisi DWDM

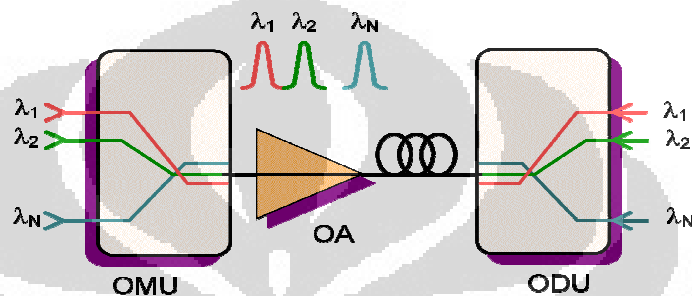
Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses *multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut dapat ditransmisikan melalui sebuah serat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

Menurut definisi, teknologi DWDM dinyatakan sebagai suatu teknologi jaringan transport yang memiliki kemampuan untuk membawa sejumlah panjang gelombang (4, 8, 16, 32, dan seterusnya) dalam satu serat tunggal. Artinya, apabila dalam satu serat itu dipakai empat gelombang, maka kecepatan transmisinya menjadi 4×10 Gbs (kecepatan awal dengan menggunakan teknologi SDH).

Secara umum ada beberapa faktor yang menjadi landasan pemilihan teknologi DWDM ini, yaitu:

- a. Menurunkan biaya instalasi awal, karena implementasi DWDM berarti kemungkinan besar tidak perlu menggelar fiber baru, cukup menggunakan *fiber* eksisting (sesuai ITU-T G.652 atau ITU-T G.655) dan mengintegrasikan perangkat SDH eksisting dengan perangkat DWDM

- b. Dapat dipakai untuk memenuhi *demand* yang berkembang, dimana teknologi DWDM mampu untuk melakukan penambahan kapasitas dengan orde $n \times 2,5 \text{ Gbps}$ atau $n \times 10 \text{ Gbps}$ ($n = \text{bilangan bulat}$).
- c. Dapat mengakomodasikan layanan baru (memungkinkan proses rekonfigurasi dan *transparency*). Hal ini dimungkinkan karena sifat dari operasi teknologi DWDM yang terbuka terhadap protokol dan format sinyal (mengakomodasi format *frame* SDH).



Gambar 2.11 DWDM

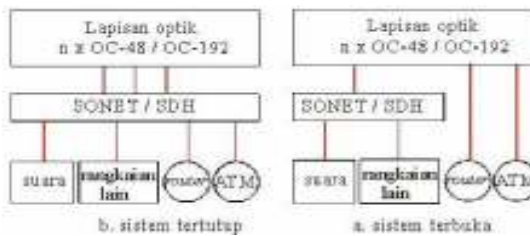
2.3.2 Keunggulan DWDM

Secara umum keunggulan teknologi DWDM adalah sebagai berikut:

- Tepat untuk diimplementasikan pada jaringan telekomunikasi jarak jauh (*long haul*) baik untuk sistem *point-to-point* maupun *ring topology*.
- Lebih fleksibel untuk mengantisipasi pertumbuhan trafik yang tidak terprediksi.
- Transparan terhadap berbagai *bit rate* dan protokol jaringan
- Tepat untuk diterapkan pada daerah dengan perkembangan kebutuhan *bandwidth* sangat cepat.

Namun dengan dukungan teknologi tingkat tinggi dan area implementasi utama pada jaringan *long haul* teknologi DWDM menjadi mahal, terutama jika diperuntukkan bagi implementasi di area *metro*. Area *metro* menjadi penting terutama karena dorongan pertumbuhan trafik data yang signifikan pada area ini.

Berkaitan dengan ketransparanan sistem DWDM dikenal ada dua sistem antarmuka, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup, ditunjukkan oleh Gambar di bawah ini.



Gambar 2.12 *Interface DWDM*

Elemen jaringan DWDM sistem terbuka memungkinkan 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 perantara SONET/SDH yang berasal dari *vendor* perangkat DWDM yang digunakan.

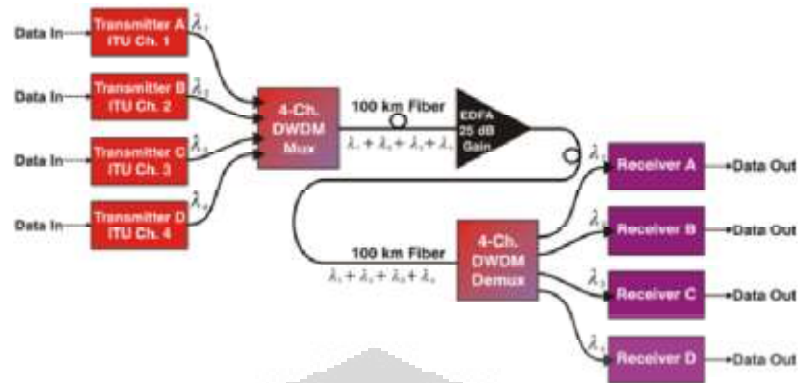
2.3.3 Proses Kerja DWDM

Masukan sistem DWDM berupa trafik yang memiliki format data dan laju bit yang berbeda dihubungkan dengan laser DWDM. Laser tersebut akan mengubah masing-masing sinyal informasi dan memancarkan dalam panjang gelombang yang berbeda-beda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$. Kemudian masing-masing panjang gelombang tersebut dimasukkan kedalam MUX (*multiplexer*), dan keluaran disuntikkan kedalam sehelai serat optik. Selanjutnya keluaran MUX ini akan ditransmisikan sepanjang jaringan serat. Untuk mengantisipasi pelemahan sinyal, maka diperlukan penguatan sinyal sepanjang jalur transmisi. Sebelum ditransmisikan sinyal ini diperkuat terlebih dahulu dengan menggunakan penguat akhir (*post amplifier*) untuk mencapai tingkat daya sinyal yang cukup. ILA (*in line amplifier*) digunakan untuk menguatkan sinyal sepanjang saluran transmisi. Sedangkan penguat awal (*pre-amplifier*) digunakan untuk menguatkan sinyal sebelum dideteksi. DEMUX (*demultiplexer*) digunakan pada ujung penerima untuk memisahkan antar panjang gelombang yang selanjutnya akan dideteksi menggunakan *photodetector*. *Multiplexing* serentak kanal masukan dan *demultiplexing* kanal keluaran dapat dilakukan oleh komponen yang sama, yaitu *multiplexer/demultiplexer*.

2.3.4 Komponen-komponen DWDM

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

- *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 kembali kanal panjang gelombang yang ditransmisikan menjadi kanalkanal panjang gelombang menjadi seperti semula.
- *OADM (Optical Add/Drop Multiplexer)*
 Diantara titik *multiplexing* dan *demultiplexing* dalam sistem DWDM merupakan daerah dimana berbagai macam panjang gelombang berada, pada beberapa titik sepanjang span ini sering diinginkan untuk dihilangkan atau ditambah dengan satu atau lebih panjang gelombang. *OADM (Optical Add/Drop Multiplexer)* inilah yang digunakan untuk melewatkan sinyal dan melakukan fungsi *add and drop* yang bekerja pada level optik.
- *OXC (Optical Cross Connect)*
 Perangkat *OXC (Optical Cross Connect)* ini melakukan proses *switching* tanpa terlebih dahulu melakukan proses konversi OEO (*Optik-elektrooptik*) dan berfungsi untuk merutekan kanal panjang gelombang. *OXC* ini biasa digunakan dalam konfigurasi jaringan *ring* yang memiliki banyak node terminal.
- *OA (Optical Amplifier)*
 Merupakan penguat optik yang bekerja di level optik, yang dapat berfungsi sebagai *pre-amplifier*, *in line-amplifier* dan *post-amplifier*
 Berikut ilustrasi tata letak komponen pada DWDM:



Gambar 2.13 DWDM System Application

2.3.5 Channel Spacing

Channel spacing menentukan sistem performansi dari DWDM. Standart channel spacing dari ITU adalah 50 GHz sampai 100 GHz (100 GHz akhir-akhir Channel spacing merupakan system frekuensi minimum yang memisahkan 2 sinyal yang dimultipleksikan. Atau bisa disebut sebagai perbedaan panjang gelombang diantara 2 sinyal yang ditransmisikan. *Amplifier optic* dan kemampuan *receiver* untuk membedakan sinyal menjadi penentu dari *spacing* pada 2 gelombang yang berdekatan. Pada perkembangan selanjutnya, sistem DWDM berusaha untuk menambah kanal yang sebanyak-banyaknya untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas data informasi. Salah satunya adalah dengan memperkecil *channel spacing* tanpa adanya suatu interferensi dari sinyal pada satu serat optik tersebut. Dengan demikian, hal ini sangat bergantung pada sistem komponen yang digunakan. Salah satu contohnya adalah pada *demultiplexer* 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.

2.3.6 Alokasi Frekuensi

Berdasarkan ITU-T *recommendation* G.692, alokasi frekuensi untuk DWDM :

- a. 40-wavelength system
 - Rentang panjang gelombang kerja : C band (1530 nm – 1565 nm)

- Rentang frekuensi : 192.1 THz – 196 THz
- Channel interval : 100 Ghz
- *Central Frequency Offset* : ± 20 GHz (pada *rate* lebih kecil 2.5 Gbit/s); ± 12.5 GHz (pada *rate* 10 Gbit/s)

Tabel 2.5 Alokasi 40-wavelength system

No.	<i>Central Frequency</i> (THZ)	<i>Central Wavelength</i> (nm)
1	192.1	1560.61
2	192.2	1559.79
3	192.3	1558.98
4	192.4	1558.17
5	192.5	1557.36
6	192.6	1556.55
7	192.7	1555.75
8	192.8	1554.94
9	192.9	1554.13
10	193	1553.33
11	193.1	1552.52
12	193.2	1551.72
13	193.3	1550.92
14	193.4	1550.12
15	193.5	1549.32
16	193.6	1548.51
17	193.7	1547.72
18	193.8	1546.92
19	193.9	1546.12
20	194	1545.32
21	194.1	1544.53
22	194.2	1543.73
23	194.3	1542.94
24	194.4	1542.14
25	194.5	1541.35
26	194.6	1540.56
27	194.7	1539.77
28	194.8	1538.98
29	194.9	1538.19
30	195	1537.4
31	195.1	1536.61
32	195.2	1535.82
33	195.3	1535.04
34	195.4	1534.25
35	195.5	1533.47
36	195.6	1532.68
37	195.7	1531.9
38	195.8	1531.12
39	195.9	1530.33
40	196	1529.55

b. 80-wavelength system

- Rentang panjang gelombang kerja : C band (1530 nm – 1565 nm)
- Rentang frekuensi : C band (192.1 THz – 196 THz)
- *Channel interval* : 50 GHz
- *Central frequency offset* : ± 5 Ghz

Tabel 2.6 Alokasi 80-wavelength system

No.	Central Frequency (THz)	Central wavelength (nm)			
1	196.05	1529.16	25	194.85	1538.58
2	196	1529.55	26	194.8	1538.98
3	195.95	1529.94	27	194.75	1539.37
4	195.9	1530.33	28	194.7	1539.77
5	195.85	1530.72	29	194.65	1540.16
6	195.8	1531.12	30	194.6	1540.56
7	195.75	1531.51	31	194.55	1540.95
8	195.7	1531.9	32	194.5	1541.35
9	195.65	1532.29	33	194.45	1541.75
10	195.6	1532.68	34	194.4	1542.14
11	195.55	1533.07	35	194.35	1542.54
12	195.5	1533.47	36	194.3	1542.94
13	195.45	1533.86	37	194.25	1543.33
14	195.4	1534.25	38	194.2	1543.73
15	195.35	1534.64	39	194.15	1544.13
16	195.3	1535.04	40	194.1	1544.53
17	195.25	1535.43	41	194.05	1544.92
18	195.2	1535.82	42	194	1545.32
19	195.15	1536.22	43	193.95	1545.72
20	195.1	1536.61	44	193.9	1546.12
21	195.05	1537	45	193.85	1546.52
22	195	1537.4	46	193.8	1546.92
23	194.95	1537.79	47	193.75	1547.32
24	194.9	1538.19	48	193.7	1547.72
			49	193.65	1548.11
			50	193.6	1548.51

Tabel 2.7 Alokasi 80-wavelength system (cont)

No.	Central Frequency (THz)	Central wavelength (nm)
51	193.55	1548.91
52	193.5	1549.32
53	193.45	1549.72
54	193.4	1550.12
55	193.35	1550.52
56	193.3	1550.92
57	193.25	1551.32
58	193.2	1551.72
59	193.15	1552.12
60	193.1	1552.52
61	193.05	1552.93
62	193	1553.33
63	192.95	1553.73
64	192.9	1554.13
65	192.85	1554.54
66	192.8	1554.94
67	192.75	1555.34
68	192.7	1555.75
69	192.65	1556.15
70	192.6	1556.55
71	192.55	1556.96
72	192.5	1557.36
73	192.45	1557.77
74	192.4	1558.17
75	192.35	1558.58
76	192.3	1558.98
77	192.25	1559.39
78	192.2	1559.79
79	192.15	1560.2
80	192.1	1560.61

c. 160-wavelength system

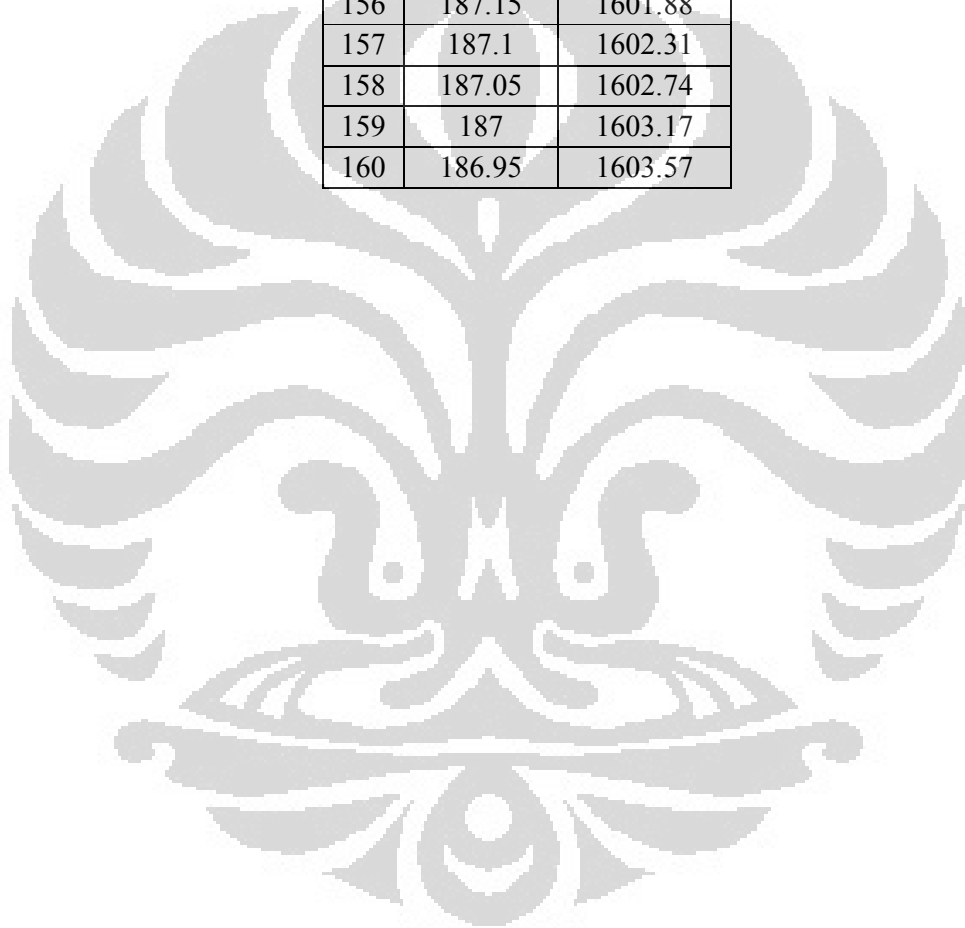
- Rentang panjang gelombang kerja : *C band* (1530 nm – 1565 nm) + *L band* (1565 nm – 1625 nm)
- Rentang Frekuensi : *C band* (192.1 THz – 196 THz) + *L band* (190.9 THz – 186.95 THz)
- *Interval channel* : 50 GHz
- *Central frequency offset* : ± 5 GHz

Tabel 2.8 Alokasi 160-wavelength system (dimana untuk wavelength 1-80 sama seperti 80-wavelength system)

No.	Central Frequency (THz)	Central wavelength (nm)
81	190.9	1570.42
82	190.85	1570.83
83	190.8	1571.24
84	190.75	1571.65
85	190.7	1572.06
86	190.65	1572.48
87	190.6	1572.89
88	190.55	1573.3
89	190.5	1573.71
90	190.45	1574.13
91	190.4	1574.54
92	190.35	1574.95
93	190.3	1575.37
94	190.25	1575.78
95	190.2	1576.2
96	190.15	1576.61
97	190.1	1577.03
98	190.05	1577.44
99	190	1577.86
100	189.95	1578.27
101	189.9	1578.69
102	189.85	1579.1
103	189.8	1579.52
104	189.75	1579.93
105	189.7	1580.35
106	189.65	1580.77
107	189.6	1581.18
108	189.55	1581.6
109	189.5	1582.02
110	189.45	1582.44
111	189.4	1582.85
112	189.35	1583.27
113	189.3	1583.69
114	189.25	1584.11
115	189.2	1584.53
116	189.15	1584.95
117	189.1	1585.36
118	189.05	1585.78
119	189	1586.2
120	188.95	1586.62
121	188.9	1587.04
122	188.85	1587.46
123	188.8	1587.88
124	188.75	1588.3
125	188.7	1588.73
126	188.65	1589.15
127	188.6	1589.57
128	188.55	1589.99
129	188.5	1590.41
130	188.45	1590.83
131	188.4	1591.26
132	188.35	1591.68
133	188.3	1592.1
134	188.25	1592.52
135	188.2	1592.95
136	188.15	1593.37
137	188.1	1593.79
138	188.05	1594.22
139	188	1594.64
140	187.95	1595.06
141	187.9	1595.49
142	187.85	1595.91
143	187.8	1596.34
144	187.75	1596.76
145	187.7	1597.19
146	187.65	1597.62
147	187.6	1598.04
148	187.55	1598.47
149	187.5	1598.89
150	187.45	1599.32

Tabel 2.9 Alokasi 160-wavelength system (cont)

No.	Central Frequency (THz)	Central wavelength (nm)
151	187.4	1599.75
152	187.35	1600.17
153	187.3	1600.6
154	187.25	1601.03
155	187.2	1601.46
156	187.15	1601.88
157	187.1	1602.31
158	187.05	1602.74
159	187	1603.17
160	186.95	1603.57



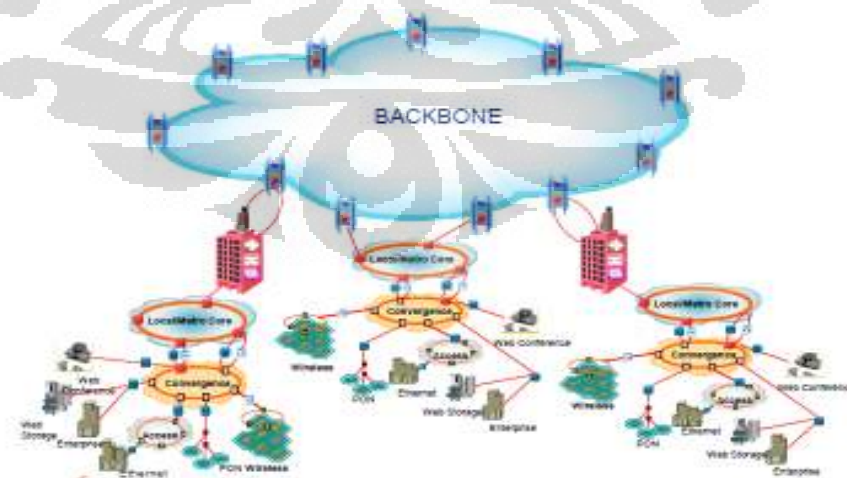
BAB 3

JARINGAN *BACKBONE* JAWA BARAT

3.1 Definisi Jaringan *Backbone*

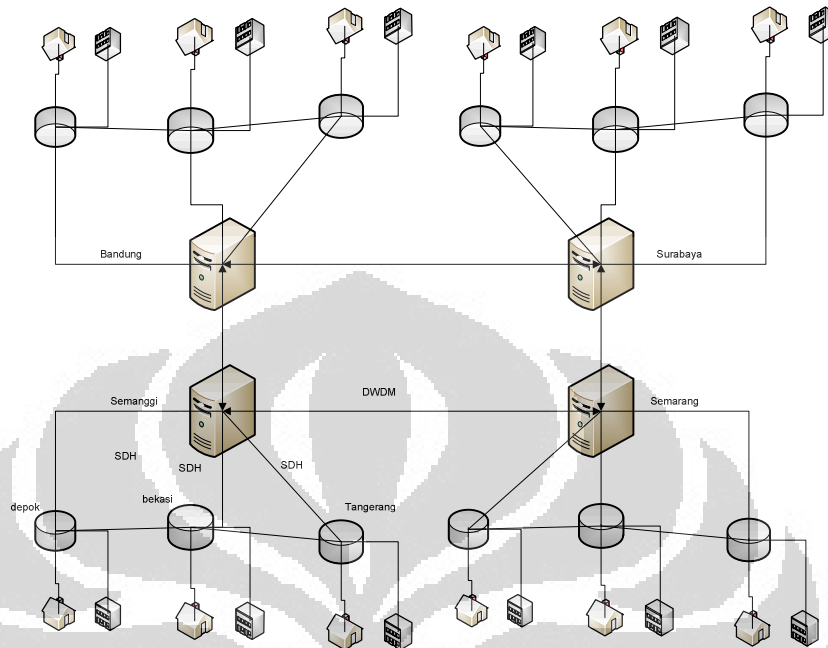
Sebuah jaringan *backbone* adalah infrastruktur jaringan utama yang menghubungkan berbagai teknologi jaringan, menyediakan jalan untuk pertukaran informasi antara LAN yang berbeda atau *subnetwork*. *Backbone* dapat menyatukan jaringan yang beragam di gedung yang sama, dalam berbeda bangunan di lingkungan kampus, atau di daerah yang luas. Biasanya, kapasitas *backbone* lebih besar dari jaringan yang terhubung ke *backbone* tersebut hal ini agar dapat menyanggupi kapasitas dari jaringan-jaringan yang terhubung ke *backbone*.

Berbagai jenis jaringan yang terhubung ke *backbone* adalah, SDH, *metro*, *IP based*, dan lain-lain. Dari Gambar 3.1 terlihat bahwa jaringan backbone adalah jaringan utama. Jaringan *backbone* ini terdiri dari berbagai jaringan *metro*. Tiap-tiap jaringan *metro* memiliki konvergen yang akan membagi menjadi berbagai layanan seperti *Ethernet*, *PON*, ataupun untuk layanan *web* yang mentransmisikan data, *voice* dan *video*. Dari konvergen menjadi beberapa layanan inilah lalu menuju user atau pengguna.



Gambar 3.1 Topologi Umum Jaringan Backbone

3.2 Proses Kerja Jaringan *Backbone*



Gambar 3.2 Contoh Topologi Jaringan Backbone

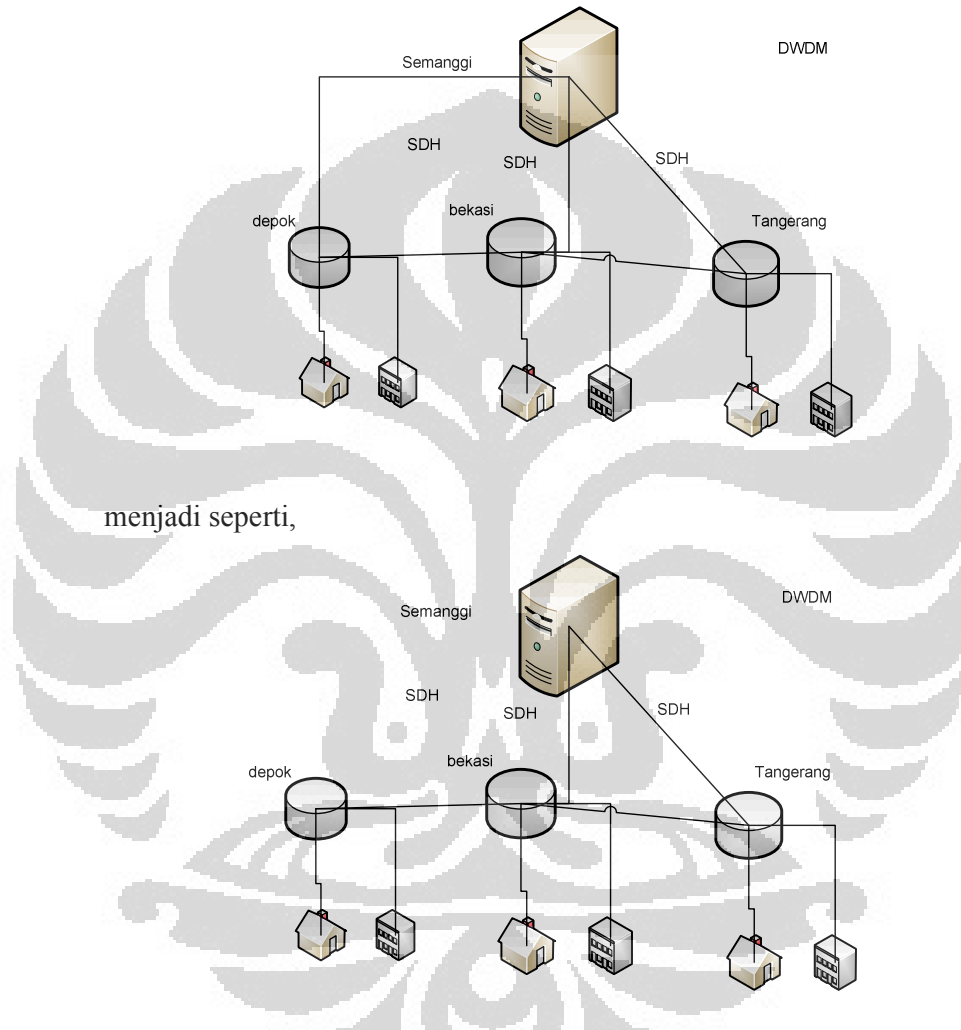
Dari gambar diatas terdapat 4 komponen *backbone* yaitu jakarta, bandung, surabaya , dan semarang. Tiap komponen *backbone* itu terdiri dari beberapa jaringan *metro*/SDH. Sebagai contoh diambil komponen *backbone* semanggi, di *backbone* semanggi ini adalah penggabungan *metro*/SDH depok, bekasi, tangerang, dll. Untuk pembahasan akan menggunakan tiga jaringan metro saja, yaitu depok, bekasi, dan tangerang.

Dari topologi terlihat jaringan metro juga terdiri dari beberapa jaringan FTTX, sebagai contoh FTTH (*Fiber to the Home*) dan FTTB (*Fiber to the Building*). Lalu dari FTTH dan FTTB ini barulah terhubung ke *user*. Penggunaan jaringan ini tergantung dari *demand rate* yang *user* butuhkan, jika yang dibutuhkan hanya 10G (SDH STM-64), maka penggunaan jaringan hanya pada point SDH/*metro*. Karena kecepatan rate maksimal SDH adalah 10G.

Jika *rate* yang dibutuhkan oleh *user* lebih dari 10G maka penggunaan jaringan sampai pada *backbone*, karena jaringan *backbone* dapat mengakomodir *rate* lebih dari 10G.

Pada tiap-tiap jaringan, yang pada topologi digambarkan dengan garis, sebenarnya terdiri dari dua jalur, dengan adanya dua jalur ini, jika salah satu terjadi masalah atau terputus masih terdapat satu jaringan cadangan.

Jika jaringan yang menghubungkan *metro* ke *backbone* putus (contoh depok-semanggi)

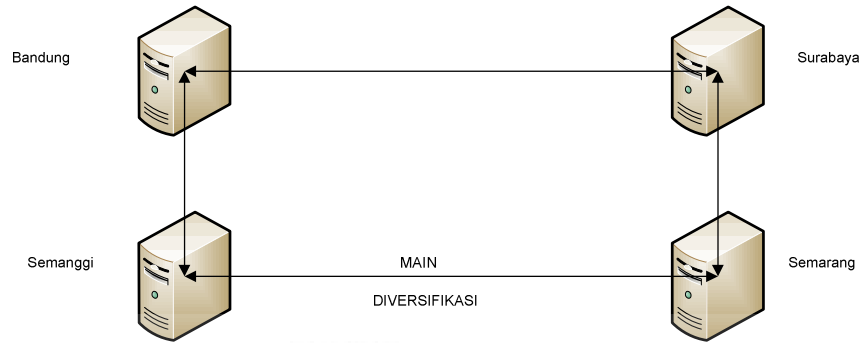


menjadi seperti,

Gambar 3.3 Jaringan metro/SDH yang terputus dari *backbone*

maka *jika rate* yang dibutuhkan *user-user* di depok lebih dari 10G, maka dari jaringan *metro* depok sebelum masuk ke *backbone* semanggi terlebih dahulu melewati jaringan *metro* bekasi.

Pada jaringan antara komponen *backbone*,



Gambar 3.4 Jaringan Antar *Backbone*

Pada tiap garis yang menghubungkan komponen *backbone* terdiri dari dua jalur, yaitu *main* dan diversifikasi, dimana jalur *main* itu adalah jalur utama yang digunakan untuk sistem transmisi. Jika ada masalah pada jaringan *main*, barulah digunakan jaringan diversifikasi. Jika kedua jaringan ini terjadi masalah, maka digunakan jalur alternatif, misalkan jalur *main* dan diversifikasi yang menghubungkan semanggi dan semarang terputus, maka untuk proses transmisi, jalur alternatif yang dilewati adalah melewati komponen *backbone* bandung, lalu melewati surabaya dan baru sampai ke semarang.

Jika pada jaringan terjadi masalah, baik itu jaringan *metro* ke *user*, jaringan *metro* ke *backbone*, ataupun antar *backbone*, maka proses *recovery* tidak boleh lebih dari 3,5 jam. Sedangkan proses *repair* harus dibawah 10 jam. Perbedaan *recovery* dan *repair* adalah, proses *recovery* adalah proses perbaikan sampai jaringan bisa digunakan kembali walaupun kurang optimal, sedangkan proses *repair* sampai jaringan dapat bekerja optimal sama seperti sebelum jaringan terjadi masalah.

3.3 Jaringan Jawa *Backbone*

Jaringan Jawa *Backbone* ini mulai beroperasi pada tahun 2006 dan terus beroperasi sampai sekarang jaringan jawa *backbone* ini adalah jaringan *backbone* ring 5 dan ring 6.

Jalur yang berwarna biru tua adalah jalur *inner* dan jalur yang berwarna biru muda adalah jalur *outer*. Jalur utama atau yang digunakan adalah jalur *inner*,

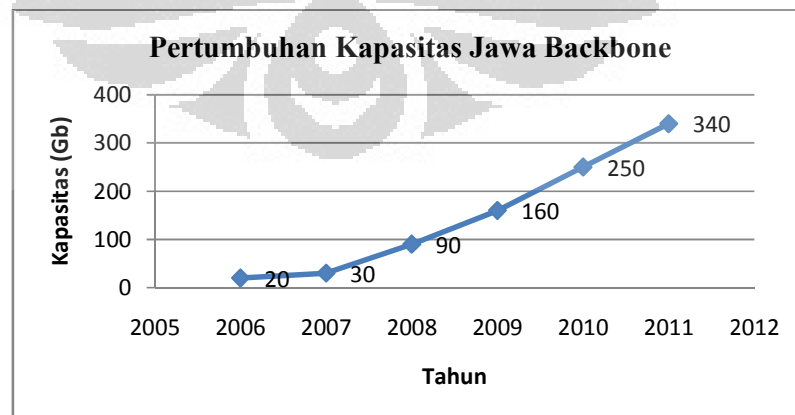
sedangkan jalur *outer* digunakan jika jalur *inner* mengalami gangguan atau terputus. Panjang jalur *inner* adalah 3.186 km, sedangkan panjang jalur *outer* adalah 2.510 km. Tipe serat optik yang digunakan adalah G.652 dan G.655. Jumlah *node* atau terminal kurang lebih ada 40, ini terdiri dari semanggi, karawang, bandung, tegal, cikupa, dll.



Gambar 3.5 Jaringan Jawa *Backbone*

Pada jaringan jawa *backbone* ini menggunakan teknologi DWDM. Komponen-komponen yang digunakan pada jawa backbone dari produk ZTE yaitu ZXMP-9200 dan ZXMP-9000.

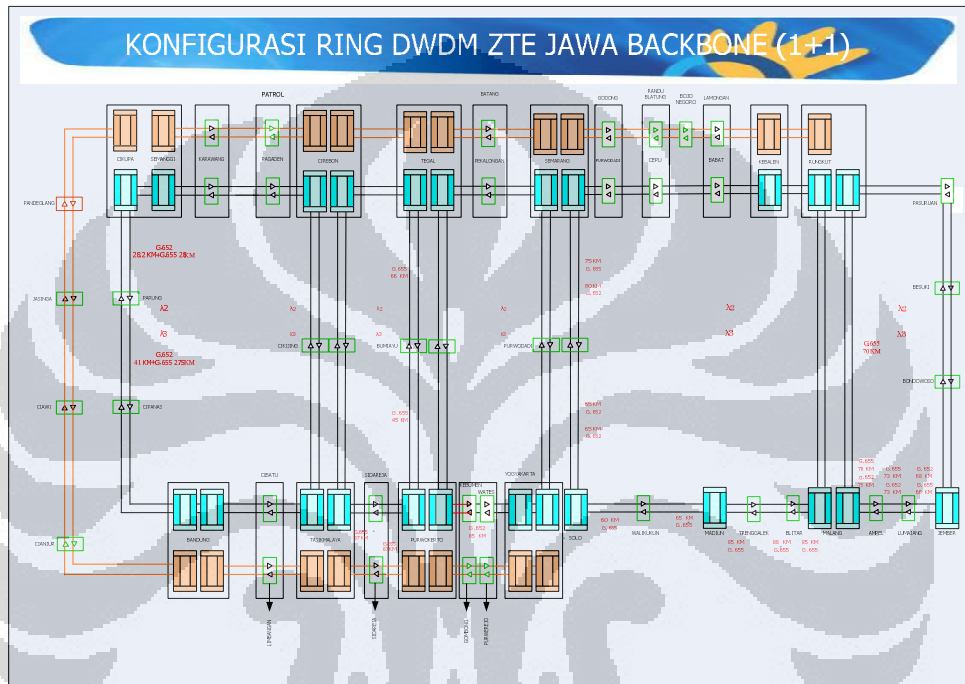
Untuk pertumbuhan kapasitas dari jawa *backbone* tiap tahun bisa dilihat di Gambar 3.6,



Gambar 3.6 Pertambahan Kapasitas Jawa *Backbone*

Dari grafik terlihat kapasitas jawa *backbone* tiap tahunnya mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan kebutuhan user akan rate yang semakin besar. Dari tahun 2008 jaringan *IP based* sudah terdapat pada jaringan *backbone*, itulah mengapa peningkatan dari 2008 dan seterusnya lebih tajam dibanding sebelumnya.

Untuk konfigurasi jawa backbone bisa dilihat di Gambar 3.7



Gambar 3.7 Konfigurasi Jawa Backbone

3.4 Jaringan *Backbone* Jawa Barat



Gambar 3.8 Jaringan *Backbone* Jawa Barat

Dari gambar 3.8 terlihat bahwa pada jaringan *backbone* Jawa Barat ini memiliki beberapa terminal, yaitu terminal Semarang, Cikupa, Jasinga, Parung, Sindangjaya, Karawang, Pagaden, Patrol, Cirebon, Lembang, Tasikmalaya, Cibutu, dan Limbangan.

Jalur yang berwarna biru adalah jalur main atau jalur utama, sedangkan jalur yang berwarna hitam adalah jalur diversifikasi yang digunakan apabila jalur *main* mengalami gangguan atau terputus.

Pada jaringan *backbone* Jawa Barat ini PT. TELKOM telah membuat standar untuk serat optik yang akan digunakan. Untuk tipe kabel yang digunakan adalah *single mode*, karena tipe *single mode* ini baik digunakan transmisi jarak jauh, memiliki redaman yang kecil serta memiliki *bandwidth* yang lebar. Sedangkan untuk *mode field diameter* sebesar $0,5 \mu\text{m}$. Untuk diameter *cladding*, untuk panjang gelombang kerja 1310 nm dan 1550 nm memiliki besar yang sama yaitu $2 \mu\text{m}$.

Untuk atenuasi maksimum tergantung dari panjang gelombang kerja yang digunakan. Jika panjang gelombang kerja yang digunakan 1310 nm, maka besar atenuasi maksimum adalah 0,4 dB/km. Jika panjang gelombang kerja yang digunakan 1550 nm, maka besar atenuasi maksimum adalah 0,25 dB/km. Sedangkan untuk rugi-rugi sambungan yang diijinkan adalah 0,2 dB. Untuk rugi-rugi konektor yang diijinkan adalah 0,5 dB.

Tabel 3.1 Spesifikasi Teknis Serat Optik yang Digunakan PT. TELKOM

Karakteristik	Nilai
Tipe Kabel	Single mode
Mode Field Diameter (1310 nm)	0,5 μm
Mode Field Diameter (1550 nm)	0,5 μm
Diameter Cladding (1310 nm)	2 μm
Diameter Cladding (1550 nm)	2 μm
Attenuasi maksimum pada 1310 nm	0,4 dB/km
Attenuasi maksimum pada 1550 nm	0,25 dB/km
Rugi-rugi sambungan	0,2 dB
Rugi-rugi konektor	0,5 dB

BAB 4
ANALISIS PENGGUNAAN TEKNOLOGI DWDM PADA JARINGAN
BACKBONE JAWA BARAT

4.1 Analisis Pemilihan Jenis Serat Optik

Dalam jaringan *backbone* salah satu poin terpenting adalah pemilihan jenis serat optik. Pada jaringan *backbone* jawa barat serat optik yang digunakan adalah G.652 dan G.655. Berikut adalah penjelasan pemilihan serat optik G.652 dan G.655 dari berbagai parameter.

Berdasarkan panjang gelombang kerja yang berada pada Gambar 2.3 terlihat bahwa untuk mendapatkan kinerja yang optimal, serat optik yang digunakan adalah yang bekerja pada *O-band* yaitu 1310 nm dan yang bekerja pada *C-band* yaitu 1550 nm. Sebab pada panjang gelombang kerja dibawah *O-band*, diantara *O-band* dan *C-band* terdapat *OH absorption*. *OH absorption* adalah absorpsi cahaya oleh kabel serat optik yang diakibatkan adanya senyawa hydroxyl (OH) pada serat optik. Adanya senyawa hydroxyl ini disebabkan karena saat proses fabrikasi adanya ketidakmurnian pada bahan yang digunakan. Lalu berdasarkan *fiber loss*,

Tabel 4.1 *Fiber Loss*

<i>Window</i>	I	II	III	IV	V
<i>Mark (nm)</i>	850	1310 (<i>O band</i>)	1550 (<i>C band</i>)	1600 (<i>L band</i>)	1360~1530 (<i>E+S band</i>)
<i>Panjang Gelombang (nm)</i>	600-900	1260-1360	1530-1565	1565-1625	1360-1530
<i>Jenis Fiber</i>	MMF	MMF/G.652/G.653	G.652/G.653/G.655	G.652/G.653/G.655	<i>Full-wave fiber</i>
<i>Aplikasi</i>	Jarak dekat dan <i>low rate</i>		Jarak jauh dan <i>high rate</i>		

terlihat bahwa jenis serat optik yang bekerja pada *O-band* dan *C-band* adalah MMF, G.652, dan G.653 untuk *O-band* serta G.652, G.653, dan G.655 pada *C-band*.

Untuk jaringan *backbone* jawa barat, penggunaan serat optik *single mode* lebih baik sebab *singlemode* mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Memiliki redaman yang sangat kecil.

- Memiliki *bandwidth* yang lebar.
- Digunakan untuk transmisi data dengan *bit rate* tinggi.
- Dapat digunakan untuk transmisi jarak dekat, menengah dan jauh.

Berdasarkan penjelasan di atas maka jenis serat optik MMF dieliminasi dari pemilihan kabel untuk jaringan *backbone* Jawa Barat. Maka pilihan serat optik untuk *backbone* Jawa Barat adalah G.652, G.653, dan G.655.

Berdasarkan karakteristik jenis-jenis single mode fiber :

1. G.652

Juga disebut *dispersion non-shifted SMF (Single Mode Fiber)*, digunakan pada *window* 1310 nm dan 1550 nm. Pada *window* 1310 nm memiliki nilai dispersi mendekati nol. Sedangkan pada *window* 1550 nm memiliki *loss* terkecil.

Window 1310 nm hanya digunakan pada sistem SDH, sedangkan pada *window* 1550 nm digunakan pada sistem SDH dan DWDM.

2. G.653

Memiliki *loss* terkecil dan dispersi terkecil pada *window* 1550 nm oleh karena itu bekerja pada *window* 1550 nm. Diaplikasikan pada *high-rate* dan sistem komunikasi jarak jauh. Jika teknologi DWDM yang digunakan, masalah *non-linear Four Wave Mixing* akan terjadi yang mengakibatkan atenuasi/redaman yang besar pada *multiplexing channel* dan *channel crosstalk*.

3. G.655

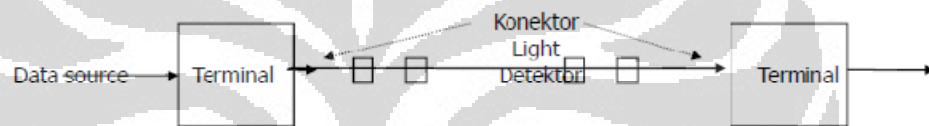
Pada *window* 1550 nm memiliki nilai *loss* terkecil dan dispersi terkecil. Diaplikasikan pada *high-rate* dan komunikasi jarak jauh. Jenis serat optik ini paling baik untuk diaplikasikan pada teknologi DWDM.

Berdasarkan karakteristik jenis-jenis single mode yang dijelaskan maka serat optik yang baik untuk digunakan pada jaringan *backbone* Jawa Barat adalah G.652 dan G.655. Pemilihan G.652 ini disebabkan serat optik ini memiliki nilai dispersi yang mendekati nol dan memiliki nilai *loss* terkecil. Sedangkan untuk

pemilihan G.655 ini disebabkan karena selain memiliki nilai *loss* dan dispersi yang kecil, juga sangat baik untuk komunikasi jarak jauh serta memiliki *high-rate* sehingga dapat memenuhi *demand* dari *user* yang terus meningkat.

4.2 Analisis Jarak Antara Terminal

Penentuan jarak terminal juga merupakan poin terpenting dalam *backbone*, jika jarak antar terminal terlalu jauh maka sinyal yang dikirim akan mengalami atenuasi atau redaman yang besar dan informasi yang terkirim tidak memiliki kualitas yang baik. Sedangkan jika jarak antar terminal terlalu dekat maka akan terjadi ketidakefektifan dari segi ekonomis atau pemborosan. Terlihat pada konfigurasi antar terminal yang dijelaskan pada Gambar 4.2 jarak antar terminal berkisar di bawah 100 km hal ini berdasar perhitungan berikut



Gambar 4.2 Transmisi Antar Terminal

Pada terminal penerima minimal *power* adalah kurang 37 dB dari terminal pengirim, atenuasi yang terjadi selama transmisi antara lain :

- Konektor di kedua sisi (1 dB di setiap sisi) = 2dB
- Margin penyambungan jika putus = 6 dB
- Redaman serat optik = 0,3 dB/km

Maka jarak antar terminal maksimal :

$$\frac{(37-2-6) \text{ dB}}{0,3 \text{ dB/km}} = 97 \text{ km}$$

Tapi jarak sebesar 97 km ini tidak dapat selalu menjadi patokan, ada beberapa hal yang dapat yang dapat mempengaruhi jarak terminal :

- Kondisi geografis (daratan, pegunungan, dll)
- Kemudahan lokasi untuk pemasangan komponen terminal
- Kepadatan penduduk
- Biaya pemasangan

Tetapi walaupun ada pengaruh dari 4 faktor di atas tetap jarak antar terminal tidak boleh lebih dari 97 km.

4.3 Analisis Pemilihan Teknologi DWDM

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2 terdapat berbagai jenis *multiplexing* yaitu PDH, SDH, TDM, SDM, CWDM, dan DWDM. Berikut adalah alasan pemilihan teknologi DWDM dibandingkan teknik *multiplexing* yang lain :

a. PDH

PDH adalah teknik *multiplexing* sinyal digital *low-rate* menjadi sinyal berkecepatan tinggi. Standar untuk PDH ini adalah E1 untuk eropa dan T1 untuk amerika dan jepang. Teknologi PDH tidak dapat digunakan untuk backbone jawa barat sebab :

- Tidak adanya standar internasional untuk teknologi ini sehingga tidak dapat mengaplikasikan *multivendor*, terutama jika satu *vendor* dari eropa dan *vendor* lainnya dari amerika atau jepang
- PDH hanya dapat baik untuk transmisi *short haul*
- Tidak dapat memenuhi *rate* dari *backbone* jawa barat sebesar $n \times 10G$
- Satu komponen PDH hanya dapat mengakomodir satu layanan karena satu komponen PDH hanya dapat menggunakan satu kapasitas

b. SDH

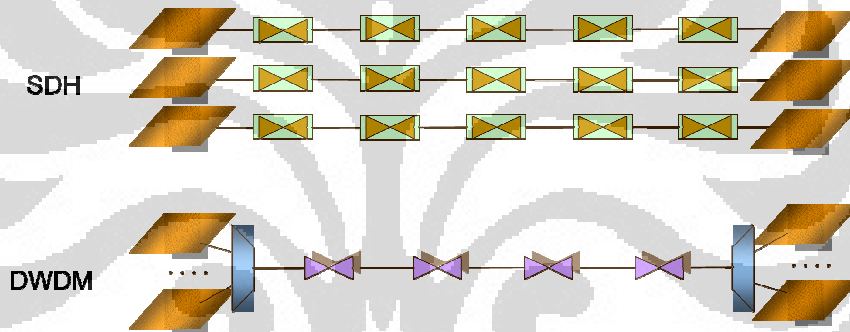
SDH adalah suatu standar internasional sistem transport pada telekomunikasi berkecepatan tinggi melalui jaringan optik/elektrik, yang dapat mengirimkan sinyal digital dalam kapasitas yang beragam. Teknologi SDH ini tidak tepat untuk diaplikasikan untuk jaringan jawa backbone karena *bit rate* maksimal adalah STM-64 yaitu 10Gbps. Sedangkan untuk jaringan *backbone* jawa barat bit rate yang dibutuhkan adalah $n \times 10G$. Tetapi teknologi SDH ini yang menjadi dasar dari teknologi DWDM.

c. WDM (CWDM dan DWDM)

Teknologi WDM pada dasarnya adalah teknologi transport untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara, dan *video*) dengan menggunakan

panjang gelombang yang berbeda-beda dalam suatu *fiber* tunggal secara bersamaan. Teknologi WDM ini dibagi menjadi 2, yaitu CWDM dan DWDM. CWDM kurang tepat diaplikasikan pada jaringan *backbone* Jawa Barat karena CWDM hanya memiliki kapasitas maksimal 40 Gbps sedangkan pada jaringan *backbone* Jawa Barat membutuhkan kapasitas lebih dari 40 Gbps. Selain itu daya jangkau CWDM rendah oleh karena itu CWDM hanya diaplikasikan untuk transmisi internal gedung atau antar gedung.

Dibandingkan dengan beberapa teknik *multiplexing* yang dijelaskan sebelumnya, teknologi DWDM adalah teknologi yang tepat karena teknologi DWDM memiliki biaya instalasi yang rendah karena dapat menggunakan perangkat SDH, dari komponen SDH ini lalu dimultiplexkan supaya menjadi DWDM.



Gambar 4.3 SDH menjadi DWDM

Teknologi DWDM juga baik untuk transmisi jarak jauh, karena DWDM memiliki jangkauan lebih dari 100 km sehingga dapat memenuhi syarat jarak antar terminal yang sebesar 97 km.

Selain itu dari kapasitas, teknologi DWDM dapat memenuhi kapasitas yang dibutuhkan oleh jaringan *backbone* Jawa Barat, jaringan Jawa *backbone* sekarang membutuhkan kapasitas lebih dari 400 G, dengan DWDM kapasitas ini dapat dipenuhi sebab DWDM memiliki kapasitas $n \times 10G$. Bahkan dengan teknologi DWDM dengan menggunakan komponen ZXWM-900 ini dapat mengakomodir kapasitas hingga $160 \times 10 G$. Terakhir, teknologi ini dapat mengakomodir layanan terbaru untuk ke depan karena teknologi DWDM ini memungkinkan untuk proses rekonfigurasi dan *transparency*.

BAB 5

KESIMPULAN

- Berdasarkan panjang gelombang kerja, *fiber loss*, *bandwidth*, *rate* yang tinggi, dan jarak transmisi, serat optik yang paling tepat digunakan untuk jaringan *backbone* jawa barat adalah G.652 dan G.655
- Jarak antar terminal untuk jaringan *backbone* jawa barat maksimal 97 km
- Penggunaan DWDM pada jaringan *backbone* jawa barat dapat memenuhi *rate* yang tinggi dan terus berkembang serta fleksibel untuk mengakomodir layanan baru.



DAFTAR REFERENSI

- [1] Chinlon Lin. (2006). *Broadband Optical Access Network and Fiber-to-the-Home*. Hongkong: John Wiley & Sons,Ltd
- [2] Dutton, J. R. Harry. (1998). *Understanding Optical Communication*. PTR: Prentice Hall
- [3] *DWDM Training Manual* (2nd ed.). (2009). Shenzhen: Print General
- [4] Gustopo, Iwan Utomo. (2010). *Analisa Implementasi Jaringan Akses FTTx Untuk Mendukung Layanan Triple Play Bagi Pelanggan PT. Telekomunikasi Indonesia, TBK*. Depok: Departemen Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [5] Madhow, Upamanyu. (2008). *Fundamental of Digital Communication*. Cambridge University: Press
- [6] Massa, Nick. (2000). *Fiber Optic Telecommunication*. In *Fundamentals of Photonics* (pp. 301-304, 313-318. Massachusets: University of Connecticut
- [7] Mukherjee, B. (2006). *Optical WDM Network*. Springer
- [8] Randy. (2008). *DWDM Principle Training manual*. Shenzhen: Print General
- [9] Sadiku, Matthew N. O. (2002). *Optical and Wireless Communication*. Florida: CRC Press
- [10] Saydam, Gauzali. (1997). *Prinsip Dasar Teknologi Jaringan Telekomunikasi*. Bandung: Angkasa