

14328/H/02



**ANALISA PENGARUH DISPERSI KROMATIK PADA
SISTEM KOMUNIKASI OPTIK DENGAN
TEKNIK WDM**

TUGAS AKHIR



RSF
621.3827
Dap
9-1
2002

Oleh :

LITA DARMAWANTI

NRP. 2497 100 012

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2002

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	19-2-2002
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	215004

**ANALISA PENGARUH DISPERSI KROMATIK PADA
SISTEM KOMUNIKASI OPTIK DENGAN
TEKNIK WDM**

TUGAS AKHIR

Oleh :

LITA DARMAWANTI
NRP. 2497 100 012

Surabaya, Januari 2002

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing



Ir. SUPRIYANTO, MSc.
NIP. 131 803 693

Ketua Jurusan

Teknik Fisika FTI - ITS



Ir. YA'UMAR, MT.
NIP. 130 937 708

Abstrak

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan informasi, perusahaan-perusahaan yang bergerak bidang telekomunikasi membutuhkan suatu jaringan yang berkapasitas besar dan laju data yang cepat. Kebutuhan akan hal itu dapat dipenuhi dengan mengaplikasikan serat optik dan sistem WDM pada komunikasi antar STO.

Telah dirancang suatu sistem komunikasi serat optik WDM, berupa jaringan yang akan difungsikan sebagai backbone sistem komunikasi antar STO, dengan kapasitas total 10 Gbps. Yang terbagi menjadi empat kanal dengan masing-masing kanal mempunyai kapasitas data 2,5 Gbps. Perancangan dilaksanakan dengan meninjau dari segi kualitas sinyal yaitu dengan melakukan analisa dispersi kromatik dan bit rate akibat dispersi kromatik.

Hasil rancangan berupa jaringan serat optik yang terdiri atas susunan sumber Laser diode DFB dengan panjang gelombang 1528,77 nm – 1563,86 nm, multiplexer/demultiplexer tipe FBG, detektor APD, serat optik NZDSF, *wavelength conversion* dan *wavelength routing*. Sistem yang dirancang menggunakan WDM tipe *wavelength routing*, topologi ring, dengan 10 terminal. Sedangkan panjang gelombang yang digunakan adalah 1530 nm, 1530,8 nm, 1531,6 nm dan 1532,4 nm dengan dispersi kromatik minimal 5,538 ps/nm.km dan maksimal 5,65 ps/nm.km. Bit rate total hasil perancangan 9.998591 Gbps.

Abstract

By the increasing of information requisites, companies which concern in telecommunication need a network with a fast data speed and huge capacity communications line. This need can be fulfilled by applying fiber optic and WDM system as inter-STO communications.

It has been designed a fiber optic system backbone WDM between STO with total capacity of 10 Gbps, divided into four channel and each channel has capacity of 2.5 Gbps. The design was conducted by performing signal quality from chromatic dispersion and bit rate consequence of chromatic dispersion analysis.

The result of the design will be a fiber optic network consists of DFB Laser Diode source with optical wavelength between 1528.77 nm and 1563.86 nm, multiplexer/demultiplexer type FBG, APD detector, NZDSF fiber optic, *wavelength conversion* dan *wavelength routing*. The designed systems with WDM type *wavelength routing* has a ring topology with 10 terminal. The optical wavelength used in systems are 1530 nm, 1530,8 nm, 1531,6 nm dan 1532,4 nm with minimum chromatic dispersion 5.538 ps/nm.km and maximum 5.65 ps/nm.km. Total bit rate from the design is 9.998591 Gbps.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul :

ANALISA PENGARUH DISPERSI KROMATIK PADA SISTEM KOMUNIKASI OPTIK DENGAN TEKNIK WDM

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk mengikuti ujian sarjana pada jenjang strata satu yang juga merupakan syarat bagi kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana pada jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dengan penuh ketulusan hati Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Ya'Umar, MT; selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika
2. Bapak Ir. Supriyanto, MSc; selaku dosen pembimbing, atas bimbingan dan waktu yang telah disediakan bagi penulis
3. Bapak Ir. Heru Setijono, Msc; selaku dosen wali selama perkuliahan
4. Bapak, Ibu serta kedua adikku, Reny dan Tutuk, dan Masku Dhenny yang telah memberikan dorongan dan semangat dan do'a yang telah dipanjatkan kepada Allah SWT, untuk saya

5. Bapak Nur Cholis, UPNR PT.Telkom Divre V, dan Bapak Nyoman Sosiadi, Bangnis PT.Telkom Divre V, yang telah memberikan informasi untuk pelaksanaan Tugas Akhir
6. Ibu Lilik, SDM PT.Telkom Divre V, atas kesempatan yang diberikan bagi penulis untuk melakukan Tugas Akhir di PT Telkom Divre V
7. Wicak, yang telah menjadi sahabat yang banyak mendorong semangat saya dan Indra, atas bantuannya tentang Delphi
8. Mei, N'doeks, DJ, Lastri, Kamto, Bayu , Tony; teman-teman lab Fotonik, Wulan, Kriting, Riris, Inez, Endang, Dini, Nur, Ika, Yun, Ira, Nurul, mbak Diah, Nana, teman-teman lab Fisis, Buser, Qonik, Kriwul, Sugeng, Adi,Ucuk, Mpret, Anjar teman-teman lab Instrument, Amien, Landung, Sammi, Didik, Made, Ucok, Rathon, Didin,
9. Semua pihak yang telah banyak membantu Tugas Akhir ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Surabaya, January 2002

Penulis

DAFTAR ISI

		hal
Lembar Judul		i
Lembar Pengesahan		ii
Abstrak		iii
Kata Pengantar		iv
Daftar Isi		vi
Daftar Gambar		ix
Daftar Tabel		x
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan	2
1.3	Tujuan	2
1.4	Batasan Masalah	3
1.5	Sistematika Penulisan	3
BAB II	DASAR TEORI	
2.1	Pendahuluan	5
2.2	Prinsip Dasar Teknologi WDM	5
2.3	Pemakaian Serat Optik	16
2.4	Sumber Cahaya	19
2.5	Filter Cahaya	22

2.6	Degradasi Sinyal Pada Serat Optik	
2.6.1	Attenuasi (Pelempahan Sinyal)	23
2.6.2	Dispersi Mode Polarisasi	24
2.6.3	Dispersi (Pelebaran pulsa)	25
2.6.4	Hubungan antara Dispersi Kromatik dengan Bit Rate	32
BAB III	PERANCANGAN SISTEM KOMUNIKASI SERAT	
	OPTIK WDM	
3.1	Perencanaan Perancangan Sistem Komunikasi WDM	34
3.2	Perancangan Sistem Komunikasi WDM	39
3.3	Perancangan Perangkat Lunak	46
3.4	Analisa Dispersi Kromatik dan Bit Rate Akibat Dispersi Kromatik	49
BAB IV	ANALISA DATA HASIL PERANCANGAN	
4.1	Analisa Dispersi Kromatik Pada Jaringan WDM	52
4.2	Analisa Bit Rate Akibat Dispersi Pada Jaringan WDM	56
4.3	Analisa Topologi Jaringan	61
BAB V	KESIMPULAN	64
	Daftar Pustaka	65
	Lampiran A	A-1
	Lampiran B	B-1

Lampiran C	C-1
Lampiran D	D-1
Lampiran E	E-1
Lampiran F	F-1
Lampiran G	G-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem WDM	6
Gambar 2.2 Struktur dasar untuk tipe grating Littrow	8
Gambar 2.3 Demultiplekser tipe DTF	10
Gambar 2.4 Jaringan WDM dua arah	13
Gambar 2.5 Konfigurasi WDM <i>Broadcast-and-Select</i>	14
Gambar 2.6 Konfigurasi WDM <i>Wavelength-Routing</i>	15
Gambar 2.7 Daerah operasi sistem serat optik	16
Gambar 2.8 Dispersi kromatik pada tiga jenis serat optik	19
Gambar 2.9 Konsep dasar filter optik yang dapat disetel	22
Gambar 2.10 Dispersi moda polarisasi	25
Gambar 2.11 Pelebaran pulsa akibat dispersi	25
Gambar 2.12 Skema spectra sumber yang menunjukkan panjang gelombang rata-rata λ_s dan lebar $\Delta \lambda$ (FWHM atau rms)	27
Gambar 2.13 Delay pulsa terhadap panjang gelombang	30
Gambar 2.14 Hubungan antara lebar spektral dan bit rate	33
Gambar 3.1 Pemakaian ulang panjang gelombang pada rancangan jaringan	43
Gambar 3.2 Flowchart perhitungan dispersi kromatik	47
Gambar 4.1 Tampilan perhitungan dispersi kromatik dan bit rate.....	53
Gambar 4.2 Pulsa Gaussian	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber optik pada WDM	21
Tabel 2.2 Karakteristik <i>tunable filter</i>	23
Tabel 3.1 Karakteristik sumber laser diode	37
Tabel 3.2 Data mengenai kebutuhan Komunikasi WDM	42
Tabel 3.3 Komponen untuk sistem yang dirancang	45
Tabel 4.1 Dispersi Kromatik pada λ alternatif pertama	54
Tabel 4.2 Dispersi Kromatik pada λ alternatif kedua	54
Tabel 4.3 Lebar pulsa λ alternatif pertama	58
Tabel 4.4 Lebar pulsa λ alternatif kedua	59
Tabel 4.5 Lebar pulsa λ alternatif pertama dengan lebar spektral 0,6 nm.....	60
Tabel 4.6 Lebar pulsa λ alternatif kedua dengan lebar spektral 0,6 nm.....	60
Tabel 4.7 Posisi Sambungan antar node	62
Tabel 4.8 Penempatan panjang gelombang pada jaringan	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan akan komunikasi sekarang ini, dipicu dengan adanya jaringan internet yang dapat melakukan koneksi hanya dari intra – bangunan ke seluruh dunia. Pertumbuhan yang pesat menuntut pula adanya peningkatan kapasitas data. Teknologi komunikasi serat optik mampu bertahan dengan adanya penggunaan teknologi Wavelength Division Multiplexing (WDM), yang mampu mentransmisikan beberapa kanal data pada panjang gelombang yang berbeda melalui serat optik tunggal.

Namun kelemahan dari teknologi WDM ini adalah terjadinya pelebaran pulsa akibat dari dispersi kromatik dari serat optik yang digunakan. Pelebaran pulsa tersebut berpengaruh pada *bit rate* yang ditransmisikan. Semakin besar dispersi kromatik maka akan semakin berkurang *bit rate* atau kapasitas data yang akan ditransmisikan. Berkurangnya *bit rate* atau kapasitas data tentunya akan mempengaruhi sistem komunikasi itu sendiri sehingga hasilnya menjadi tidak maksimal.

Dispersi kromatik terjadi karena adanya perbedaan kecepatan perambatan saat transmisi, pada serat optik dengan panjang gelombang yang berbeda. Namun hal ini diatasi dapat dengan penggunaan jenis serat optik yang tepat. Karena pada dasarnya dispersi kromatik terjadi karena pengaruh dari serat optik

itu sendiri. Maka dalam tugas akhir ini, dengan bantuan software komputer akan dianalisa besar dispersi kromatik dan pengaruhnya pada sistem komunikasi serat optik WDM melalui penurunan model matematis untuk simulasinya.

1.2 Permasalahan

Jaringan komunikasi serat optik WDM merupakan suatu teknologi alternatif yang mampu menyediakan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi SDH (Synchronous Digital Hierarchy) dimana kapasitas yang dapat ditransmisikan hanya terbatas hingga STM-64 atau sekitar 10 Gbps. Untuk itu digunakan sistem WDM sebagai pengganti sistem SDH. Adapun permasalahan yang timbul dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh dari dispersi kromatik terhadap sistem yang dirancang yaitu sistem komunikasi serat optik WDM terhadap kapasitas data atau *bit rate*.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

- Menganalisa besar dispersi kromatik dan pengaruhnya pada rancangan jaringan komunikasi serat optik WDM.
- Mensimulasikan hasil perhitungan melalui komputer dengan bantuan software Borland Delphi 5 untuk mengetahui besar dispersi kromatik dan besar bit rate akibat dispersi kromatik.

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

- Sistem komunikasi serat optik yang akan dirancang meliputi penentuan sumber cahaya, serat optik, komponen multiplekser/demultiplekser dan detektor.
- *Channel spacing* yang akan digunakan tergantung pada spesifikasi dari sumber cahaya dengan panjang gelombang yang akan digunakan antara 1529 nm hingga 1570 nm dan multiplekser/demultiplekser.
- Jenis serat optik yang digunakan adalah serat optik singlemode NZDSF.
- Sistem dirancang untuk pengembangan dari sistem SDH yang telah digunakan sebelumnya.
- Analisa dititikberatkan pada analisa dispersi kromatik. Diasumsikan link power budget sistem yang dirancang telah terpenuhi.

1.5 Sistematika Penyusunan Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari 5 bab, meliputi Bab I Pendahuluan; membahas tentang hal-hal yang berkaitan dengan latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah dan sistematika penyusunan laporan.

Bab II Dasar Teori, membahas tentang teori mengenai sistem komunikasi serat optik WDM, komponen penunjang WDM serta degradasi sinyal yang terjadi pada sistem WDM. Bab III Perancangan Sistem Komunikasi Serat Optik WDM, berisi langkah-langkah perencanaan perancangan sistem komunikasi WDM, perancangan sistem komunikasi WDM, perancangan perangkat lunak serta analisa dispersi kromatik dan bit rate akibat dispersi kromatik yang akan digunakan untuk

menganalisa rancangan WDM. Bab IV Analisa Data Hasil Perancangan, meliputi analisa dispersi kromatik pada jaringan WDM, analisa bit rate akibat dispersi pada jaringan WDM dan analisa topologi. Bab V Kesimpulan, berisi hal-hal yang dapat disimpulkan dari analisa yang telah dilakukan dan saran.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

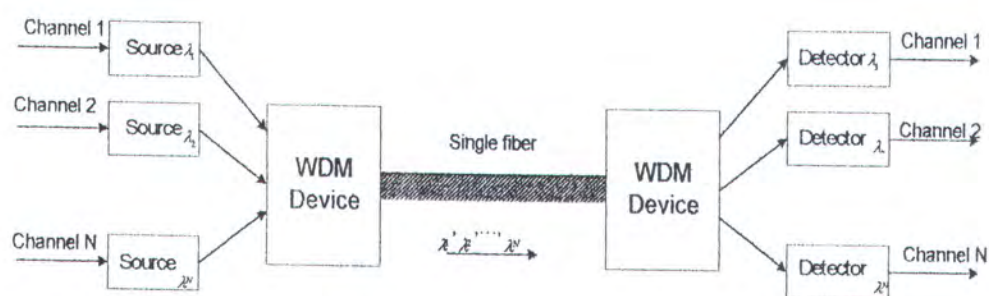
Wavelength-division multiplexing telah dikenal sebagai aplikasi teknologi yang menjanjikan dimana teknologi ini mampu meningkatkan besarnya sistem jumlah bit rate. Seiring dengan berkembangnya kebutuhan akan jaringan serta pertumbuhan trafik data maka penggunaan WDM dalam mekanisme jaringan berbasis panjang gelombang menandai adanya era baru pada komunikasi optik. Untuk memungkinkan berkembangnya teknologi ini maka perlu diketahui segala sesuatu yang berhubungan dengan WDM, baik perangkat misalnya *tunable source*, *tunable filter*, *amplifier*, *wavelength converter* maupun *splitter (combiner)*; subsistem serta arsitektur jaringan. Sehingga dengan mengetahui ketiga hal diatas diperoleh hasil maksimal yang meliputi unsur *scalabilitas*, *modularitas* dan *survivabilitas*. Namun teknologi WDM mempunyai kelemahan dalam hal sinyal optik yang ditransmisikan yaitu terjadinya dispersi kromatik pada serat optik.

2.2 Prinsip Dasar Wavelength Division Multiplexing (WDM)

Teknologi wavelength-division multiplexing adalah suatu teknologi jaringan transport yang mentransmisikan trafik dengan kecepatan $n \times 2,4$ Gbps (jumlah panjang gelombang (n) maksimal adalah 16)^[10]. WDM mampu mentransmisikan beberapa kanal optik secara simultan pada panjang gelombang

yang berbeda-beda melalui serat optik tunggal. Pada dasarnya WDM melewati beberapa sinyal dalam serat yang sama. Teknologi WDM mampu mengkombinasikan beberapa sistem spasi kanal (*channel spacing*) yang cukup besar. Spasi kanal untuk WDM adalah sekitar 10 – 100 nm (1,3 – 13 THz) pada domain frekuensi dengan daerah panjang gelombang 1500 nm. Jika spasi kanal lebih sempit, sekitar 0,1 – 1 nm (13 – 130 GHz) dengan daerah panjang gelombang 1500 nm, transmisi multikanal ini disebut dengan *dense wavelength division multiplexing* (DWDM).

Sistem WDM secara umum ditunjukkan melalui gambar 2-1. Sinyal-sinyal dengan jarak panjang gelombang yang sangat sempit kemudian dimultipleks dengan menggunakan multiplekser optik, lalu ditransmisikan melalui serat tunggal. Pada titik penerima, sinyal-sinyal yang berbeda didemultiplekser kemudian difilter sehingga hanya melewati satu panjang gelombang dan akhirnya diterima oleh penerima optik.



Gambar 2.1: Sistem WDM^[6]

2.21 Prinsip dari Divais Multiplekser/ Demultiplekser Pada WDM

Divais multipleks dan demultipleks merupakan komponen penting dalam pengembangan teknologi WDM. Divais dengan kemampuan spektral resolusi yang baik, losses insertion yang rendah, kemudahan konfigurasi serta *alignment* merupakan komponen penting untuk komunikasi yang akan datang. Dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu divais mikrooptikal dan divais *coupled-fiber*. Divais mikrooptikal terbagi menjadi dua jenis yaitu divais angular dispersi dan divais interferen filter.

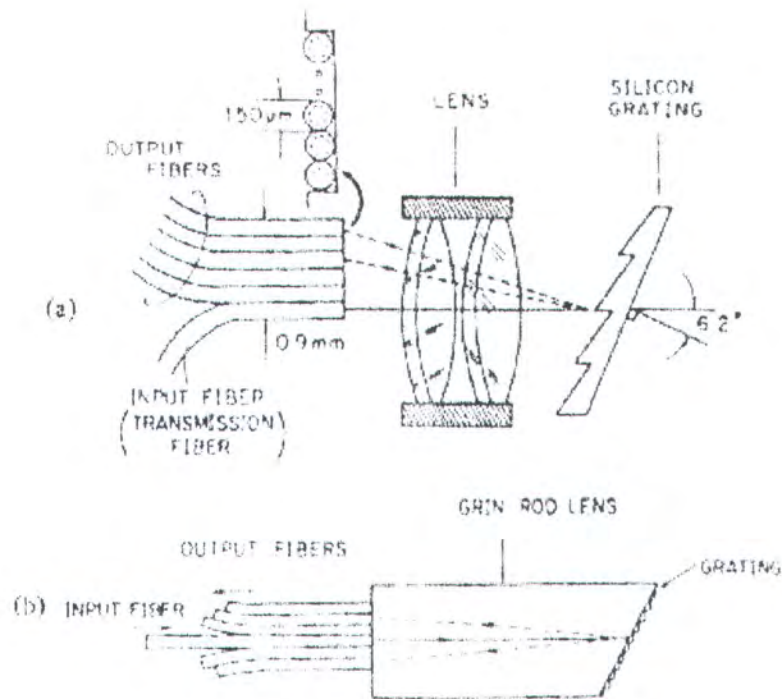
❖ Divais Angular Dispersion

Dapat digunakan sebagai multiplekser atau demultiplekser WDM (Mux/Demux) dengan pemisahan panjang gelombang yang cukup lebar, semacam prisma dan grating. Umumnya blazed grating secara efisien mampu membelokkan cahaya menuju daerah pembelokkan yang spesifik, namun dapat digunakan sebagai elemen angular dispersive.

Terdapat beberapa contoh divais angular dispersive yaitu linear grating dan elemen focus, grating self-focusing, lensa GRIN-rod serta prisma dan grating. Secara umum yang digunakan adalah grating Littrow. Strukturnya grating terdapat dua jenis yaitu tipe lensa konvensional dan tipe lensa GRIN-rod seperti tampak pada gambar 2-2a dan 2.2b.

Tipe lensa GRIN-rod lebih baik dibanding dengan tipe lensa konvensional. Sebagai demux, lensa GRIN-rod dijelaskan sebagai berikut. Serat input dan beberapa serat output disusun pada bidang fokal lensa. Panjang gelombang yang berasal dari cahaya yang dimultipleks dari serat input dikolimasi oleh lensa

hingga mencapai grating difraksi. Cahaya terdispersi secara angular berdasarkan panjang gelombang yang berbeda dan dipantulkan pada saat yang bersamaan.



Gambar 2-2: Struktur dasar untuk tipe grating Littrow^[5]

Performansi dari demultiplekser tipe Littrow meliputi: ^[5]

Jumlah kanal	:	3 – 20
Rugi penempatan	:	1 – 4 dB
Spasi panjang gelombang	:	20 – 40 nm
Pelemahan crosstalk	:	20 – 30 dB

❖ Divais Interferen Filter

Filter interferensi yang digunakan untuk multiplekser dan demultiplekser pada WDM dapat berupa film tipis, struktur banyak lapis berdasarkan lapisan

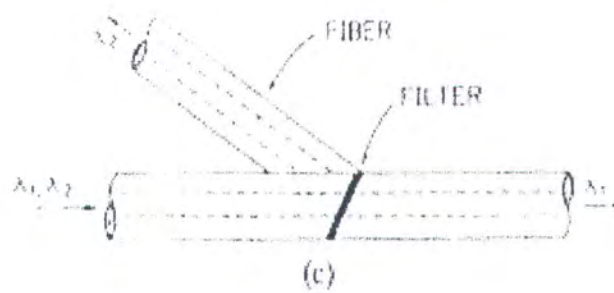
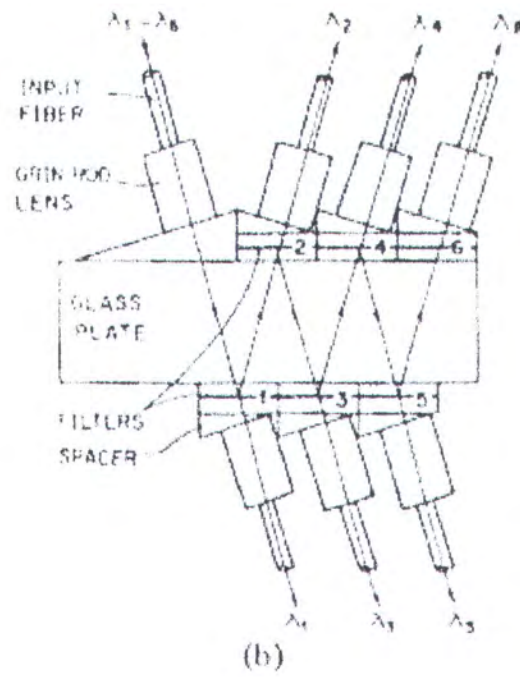
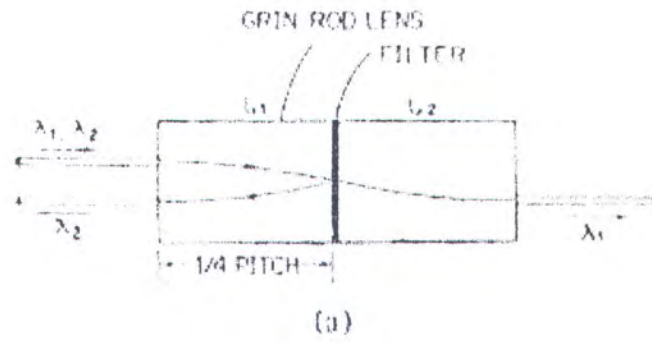
indeks bias tinggi dan rendah. Perambatan melalui struktur ini, menghasilkan banyak pantulan mengakibatkan efek interferensi yaitu interferensi konstruktif dan deduktif tergantung panjang gelombang.

Filter ini dikenal dengan dielektrik thin film, dimana pada tipe demultiplekser terdiri dari indeks bias tinggi dan rendah dari film dielektrik pada lapisan lain. Parameter utama yang paling penting dari tipe ini adalah *loss passband*, lebar *passband* dan *attenuasi rejection band*. Contoh demultiplekser DTF adalah tipe lensa GRIN-rod, tipe *multireflection* dan tipe serat akhir. Seperti tampak pada gambar.2-3a 2.3b dan 2.3c.

Tipe lensa GRIN-rod mempunyai keuntungan tersusun rapat, tetapi tidak mudah digunakan pada kanal lebih dari 3, akibat masalah alignment. Sedangkan tipe *multireflection*, mempunyai struktur yang lebih komplet dan kesulitan alignment. Tetapi mampu memultipleks maupun mendemultipleks lebih dari 6 kanal. Tipe terakhir lebih mudah strukturnya, tetapi sulit untuk memultipleks/mendemultipleks lebih dari 3 kanal.

Performansi dari divais tipe DTF meliputi:^[5]

Jumlah kanal	:	2 – 6 kanal
Rugi penempatan	:	1 – 5 dB
Spasi panjang gelombang	:	30 – 100 nm
Pelemahan crosstalk	:	20 – 70 dB



Gambar.2-3: Demultiplekser tipe DTF^[5]

❖ **Divais Coupled Fiber**

Teknologi ini biasa digunakan untuk multiplekser dan demultiplekser serat optik single mode. Inti (core) dari dua atau lebih serat diletakkan cukup dekat untuk membolehkan medan yang overlap dipandu oleh serat berdekatan atau berbatasan. Pada konfigurasi kopling, transfer periodik spasial dari daya yang dipandu terbawa antara serat yang berdekatan tersebut. Ketika panjang gelombang bervariasi, maka diameter *mode-field* akan bervariasi pula. Hal ini mengakibatkan perbedaan overlap dari medan pada core serat yang berdekatan. Sehingga mengubah koefisien kopling sejumlah power yang ditransmisikan ke pemandu yang lain.

2.22 Komponen Penunjang Teknik WDM

Terdapat beberapa komponen penunjang untuk teknik WDM^[14], yaitu:

◆ *Optical Amplifier*

Secara umum optical amplifier dapat dipasang pada jarak setiap 80 – 120 km. Kemampuan untuk transmisi melalui serat optik tanpa error adalah 800 – 1000 km. Namun penggunaan ataupun penambahan optical amplifier ada batasnya, jika terlalu sering akan menyebabkan error.

◆ *Add Drop Multiplekser*

Melakukan *cross connect* di tingkat optik dari tingkat aggregate ke tingkat tributary atau sebaliknya.

◆ *Optical cross-connect*

Untuk melakukan *cross-connect* di tingkat optik untuk tingkat aggregate yang sama yaitu untuk N input dan N output port.

◆ *Dispersion Compensator*

Mempunyai fungsi yang hampir sama dengan amplifier, memperbaiki kualitas sinyal setelah jarak jauh.

◆ *Wavelength Converter*

Untuk melakukan perubahan sinyal tertentu dari λ satu ke λ yang lainnya, untuk menjaga agar kualitas sinyal tetap terjamin.

◆ *Routing Module*

Untuk routing sesuai dengan pengalamatan tertentu.

2.23 Sistem WDM

Terdapat dua hal yang mempengaruhi sistem WDM yaitu:

❖ **Prinsip Transmisi Optik**

Sistem WDM memiliki lapisan photonik utama yang bertanggung jawab pada transmisi data optik melalui jaringan. Adapun prinsip dasarnya meliputi :

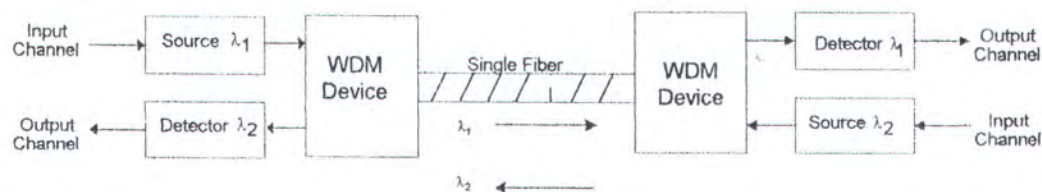
a. *Channel Spacing*

Channel spacing merupakan pembagian frekuensi minimum antara dua sinyal yang berbeda yang telah dimultipleks. Jika λ dari operasi berbanding terbalik dengan frekuensi, hubungan bedanya dikenal dalam masing-masing sinyal. Faktor yang mengontrol channel spacing ini adalah bandwidth dari optical amplifier dan kemampuan receiver mengidentifikasi 2 set λ yang lebih rendah dalam *channel spacing*. Kedua faktor tersebut membatasi jumlah λ yang melewati amplifier.

b. Arah Sinyal

Pada teknologi WDM, terdapat dua jenis susunan jaringan yaitu jaringan satu arah (unidirectional) dan jaringan dua arah (bidirectional). Pada jaringan satu arah, terdapat divais yang digunakan untuk mengkombinasikan beberapa sinyal carier yang berbeda berupa panjang gelombang menuju serat tunggal dan memisahkannya menuju detektor masing-masing pada transmisi akhir. Jaringan satu arah (unidirectional) digambarkan seperti pada gambar 2-1.

Sedangkan jaringan dua arah mampu mengirimkan informasi pada satu arah dengan panjang gelombang tertentu dan secara simultan pada arah yang berlawanan pada panjang gelombang yang berbeda pada saat pengiriman. Dengan jaringan dua arah dimungkinkan adanya transmisi balik yang lebih cepat dibanding dengan jaringan satu arah. Adapun konfigurasi jaringan dua arah WDM digambarkan sebagai berikut.



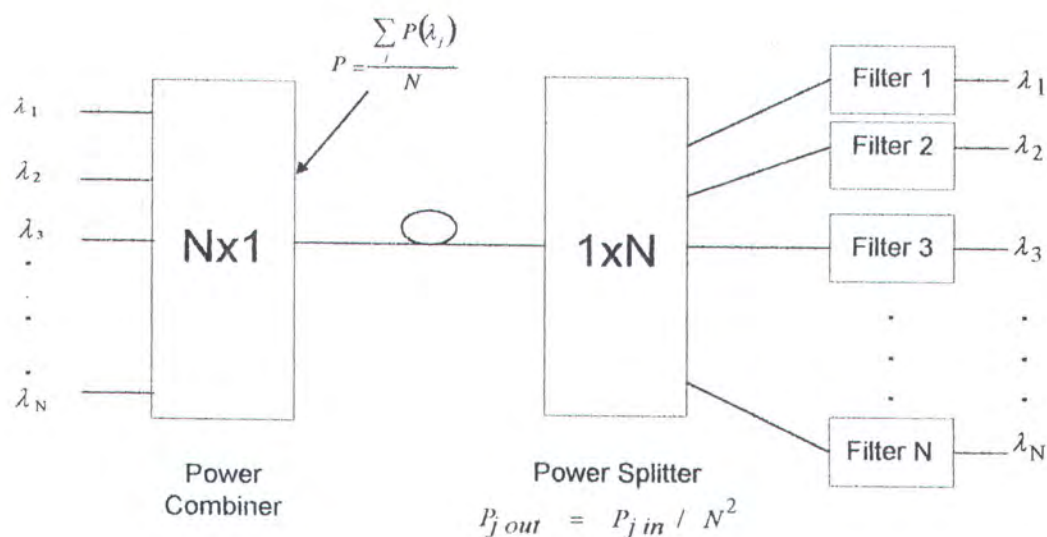
Gambar 2-4: Jaringan WDM dua arah^[6]

❖ Arsitektur Jaringan WDM

Jaringan WDM dibedakan menjadi dua jenis arsitektur, yaitu *broadcast-and-select* dan *wavelength routing*. Kedua jenis arsitektur jaringan ini dibedakan menurut cara transfer informasi.

a. Jaringan WDM *Broadcast-and-select*

Secara umum, teknik *broadcast-and-select* menggunakan pasif optik star, bus atau wavelength router untuk aplikasi jaringan lokal. Gambar 2-5 menunjukkan teknik *broadcast-and-select*. Jenis ini banyak digunakan karena mempunyai kontrol yang cukup baik. Daya dari sumber bergabung pada transmitter akhir lalu membagi jumlah seluruhnya, dan menggabungkan dengan sinyal daya pada akhir receiver. Setiap transmitter mempunyai panjang gelombang tertentu dan setiap receiver mempunyai masing-masing filter yang berbeda untuk memisahkan kanal-kanal.

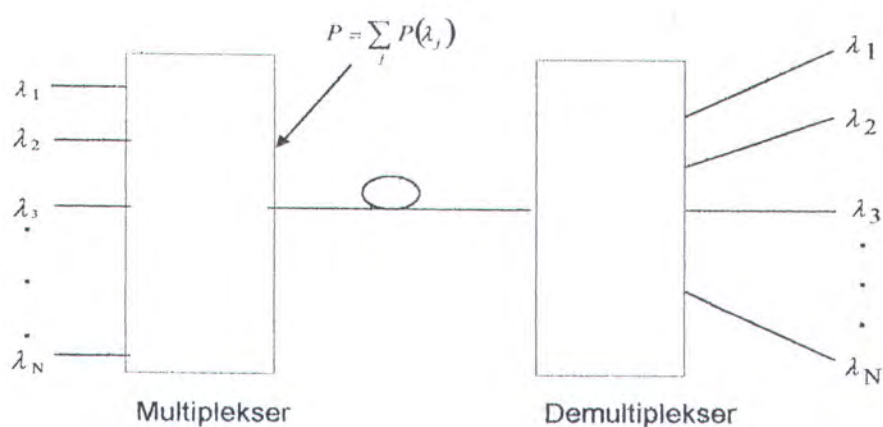


Gambar.2-5: Konfigurasi WDM *Broadcast-and-Select*^[3]

Teknik WDM membutuhkan sumber dengan pengoperasian panjang gelombang yang dapat diatur dengan panjang gelombang yang spesifik. Adapun sumber yang dapat digunakan misalnya LED yang telah difilter, laser resonator Fabry-Perot, laser diode DFB dan laser diode frekuensi tertentu.

b. Jaringan WDM *Wavelength Routed*

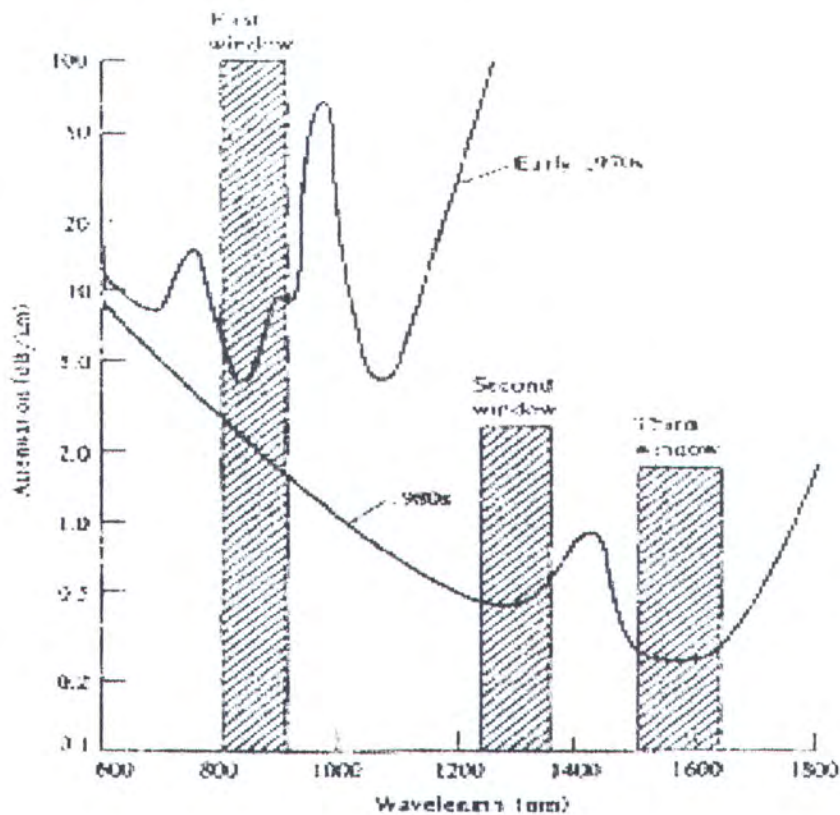
Bila *broadcast-and-select* menggunakan komponen pasif maka komponen optik aktif merupakan dasar dari konstruksi jaringan *wavelength-routing* untuk daerah yang luas. Setiap sumber bekerja secara terpisah, berdasarkan panjang gelombang masing-masing. Daya dari seluruh sumber digabungkan oleh multiplexer. Demultiplexer pada penerimaan akhir merupakan pemilih gelombang, komponen ini akan memisahkan setiap panjang gelombang dengan daerah yang berbeda menuju ke receiver masing-masing. Gambar 2.6 menunjukkan teknik WDM *wavelength-routing*.



Gambar 2-6: Konfigurasi WDM Wavelength-Routing¹³¹

2.3 Pemakaian Serat Optik

Pada proses transmisi serat optik digunakan tiga jendela optik yaitu jendela 850 nm (*first window*), jendela 1310 nm (*second window*) dan jendela 1550 nm (*third window*). Seperti tampak pada gambar 2-7. Adapun untuk teknologi WDM maupun DWDM digunakan jendela ketiga dengan range panjang gelombang antara 1480–1580 nm. Tidak semua serat optik dapat digunakan untuk teknologi WDM, untuk memperoleh hasil maksimal maka digunakan serat optik single mode.



Gambar.2-7: Daerah operasi sistem serat optik^[6].

Adapun jenis serat optik single mode adalah sebagai berikut :

a. Dispersion-Unshifted fiber

Merupakan jenis serat yang paling mudah pembuatannya, tidak mensyaratkan indeks profile yang spesifik. Dapat berupa *matched-cladding* atau *depressed-cladding*. Serat *matched-cladding* mempunyai indeks bias tetap pada seluruh cladding. Dimana perbedaan indeks bias antara core dengan cladding hanya sebesar 0,35 persen. Sedangkan serat *depressed-cladding*, pada cladding yang dekat core mempunyai indeks bias yang lebih kecil dibanding dengan cladding pada daerah luar.

Mempunyai besar dispersi kromatik maksimum 3,5 ps/nm.km pada panjang gelombang 1310 nm, dan 20 ps/nm.km pada panjang gelombang 1550 nm. Biasa digunakan untuk sistem komunikasi jarak jauh baik analog maupun digital serta beroperasi pada daerah panjang gelombang 1300 nm. Dapat juga dioperasikan pada daerah panjang gelombang 1500 nm dengan bit rate yang rendah.

b. Dispersion shifted fiber (DSF)

Waveguide dispersion merupakan fungsi radius core, perbedaan indeks bias dan bentuk indeks bias profile. Dispersi ini dikurangi dengan mengubah desain serat. Dengan menggeser dispersi waveguide menuju panjang gelombang yang lebih panjang dan mengasumsikan dispersi material konstan, akan dihasilkan dispersi total yang kecil. Diikuti dengan berkembangnya komponen penguat yaitu EDFA yang bekerja pada daerah 1550 nm, maka dihasilkan suatu jenis serat yang mempunyai dispersi nol secara simultan dan minimum attenuasi pada 1550 nm.

Jenis serat optik ini mensyaratkan adanya efek dispersi pemandu gelombang yang besar untuk mengimbangi dispersi material pada daerah 1550 nm. Sehingga dioptimalkan pada panjang gelombang 1550 nm, dengan ciri utama redaman kecil namun dispersi relatif besar. Adapun besar dispersi kromatik maksimum adalah 3,5 ps/nm.km pada panjang gelombang 1550 nm.

c. 1550 nm wavelength loss-minimised fiber (single)

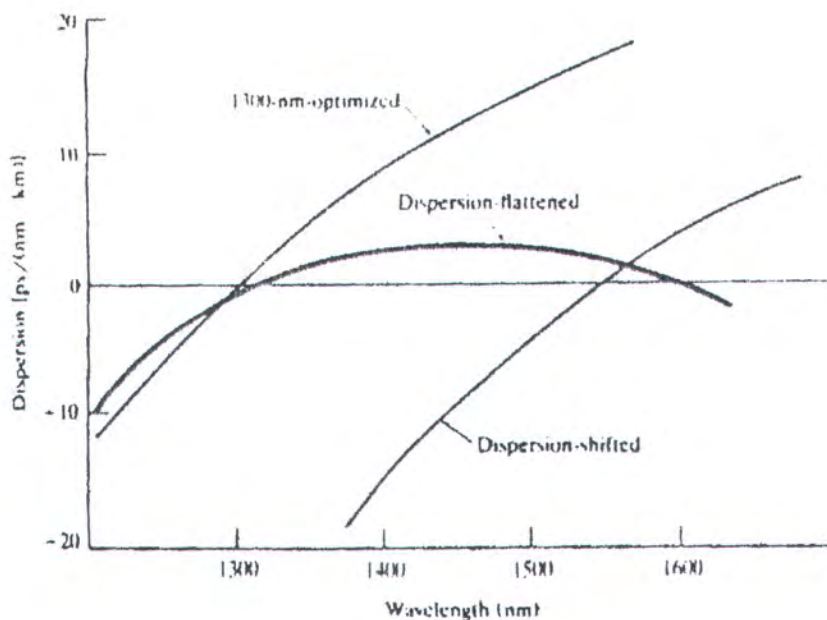
Cara lain untuk mengurangi besar dispersi serat adalah dengan menyebar dispersi minimum melebihi lebar range. Hal ini dikenal dengan *dispersion flattening*. Dioptimalkan pada jendela ketiga dengan daerah panjang gelombang 1550 nm, namun belum optimal untuk diterapkan pada teknologi WDM. Besar dispersi kromatik maksimum untuk jenis serat ini adalah 3,5 ps/nm.km pada panjang gelombang 1310 nm dan 20 ps/nm.km pada panjang gelombang 1550 nm.

d. Non zero dispersion shifted fiber (NZDSF)

Panjang gelombang dengan dispersi nol pada DSF melebihi daerah operasi dari EDFA menyebabkan kemampuan DSF terbatas pada jaringan jarak jauh dengan teknologi WDM. Untuk itu dikembangkan jenis NZDSF yang mempunyai daerah efektif lebih luas, BER yang rendah serta kapasitas yang lebih besar tentunya. Terlebih NZDSF mampu mengurangi besarnya efek nonlinieritas (Four Wave Mixing, Stimulated Brillouin Scattering, Stimulated Raman Scattering) lebih baik dibanding dengan DSF. Berdasarkan CCITT rekomendasi G.655, NZDSF dapat diterapkan pada teknologi WDM dengan kemampuan yang lebih

baik serta kapasitas yang lebih besar. Dimana besar dispersi kromatik maksimum adalah 6 ps/nm.km pada panjang gelombang 1565 nm dan dispersi kromatik minimum 0,1 ps/nm.km pada panjang gelombang 1530 nm.

Gambar dibawah ini menunjukkan besarnya dispersi kromatik pada jenis serat optik standart, dispersion shifted dan dispersion flattened.



Gambar.2-8: Dispersi kromatik pada tiga jenis serat optik^[6]

2.4 Sumber Cahaya

Banyak jenis laser yang dianjurkan untuk menghasilkan spectrum panjang gelombang sesuai untuk WDM. Adapun tiga jenis dasar laser ini adalah rangkaian laser DFB atau DBR yang berbeda-beda, laser panjang gelombang yang dapat diatur atau susunan laser dengan banyak panjang gelombang.

Jenis pertama merupakan jenis yang paling mudah. Karena setiap laser beroperasi pada panjang gelombang yang berbeda namun membutuhkan biaya yang banyak untuk pengoperasiannya. Sedangkan jenis kedua, hanya membutuhkan satu buah laser serta jenis ini yang paling sering digunakan untuk WDM. Dan jenis yang terakhir, mampu menghasilkan kualitas yang baik pada jaringan WDM yang besar.

Pada teknologi WDM, diperlukan suatu sumber yang mempunyai stabilitas dan tunabilitas yang bagus. Adapun karakteristik dari segi tunabilitas meliputi kecepatan penyetelan (mikrosekon atau nanosekon), lebar daerah penyetelan (30 – 40 nm) untuk sistem yang dikombinasikan dengan EDFA, konsumsi daya yang rendah dan harga yang murah. Sumber optik diatas dapat dibedakan berdasarkan mekanisme prinsip kerjanya, yaitu:^[2]

a. Mechanically Tuned Laser

Jenis ini menggunakan modulator eksternal yaitu rongga Fabry-Perot. Daerah penyetelan dari laser ini hampir semuanya adalah daerah dari laser semikonduktor aktif. Dan waktu penyetelan cukup lama dengan orde milisekon.

b. Acousto-Optically and Electro-Optically Tuned Laser

Tunable filter eksternal digunakan bila efek akusto-optik dan elektro-optik berfungsi mengubah indeks bias rongga luar. Perubahan indeks bias ini lalu secara selektif melewatkan cahaya sesuai panjang gelombang yang disetel. Pada jenis akusto-optik mempunyai waktu penyetelan 10 μ s dan daerah penyetelan dibatasi oleh daerah frekuensi yang dihasilkan oleh laser dan

daerah panjang gelombang yang dapat dipilih oleh filter. Sedangkan jenis elektro-optik mempunyai waktu penyetelan mencapai nanosekon.

c. *Injection Current Tuned Laser*

Menggunakan grating difraksi pada daerah lasing, contohnya adalah distributed feedback (DFB) laser. Injeksi arus mengubah indeks bias grating serta mengakibatkan tuning. Jika grating berada di luar daerah region, laser ini dinamakan distributed Bragg reflector (DBR) laser.

d. *Multiple Quantum Well Photonic Integrated Circuit Switched Laser*

Salah satu cara untuk mengatasi masalah waktu *switching* dan tunabilitas adalah dengan menggunakan konfigurasi transmitter dua arah dengan dua laser yang dapat disetel serta divais *switching* kecepatan tinggi. Dalam hal ini laser yang dapat disetel misalnya DBR (penyetelan pelan).

e. *Array Sources*

Disebut juga laser banyak frekuensi, terdiri dari semikonduktor amplifier optik sejumlah N digabungkan dengan multiplexer optik 1 x N. Jenis ini lebih cocok digunakan untuk jaringan dengan kecepatan transfer rendah dan kanal dengan jumlah yang besar.

Tabel.2-1: Sumber optik pada WDM^[2]

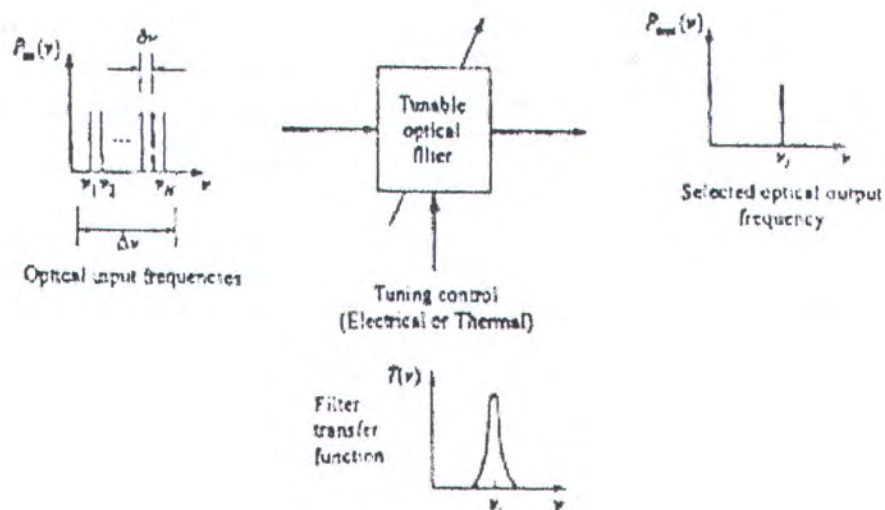
Kategori sumber	Tuning range	Tuning time
<i>Mechanically Tuned Laser</i>	Range penuh dari laser (10 – 20 nm)	100 – 500 ms
<i>Acousto-Optically and Electro-Optically Tuned Laser</i>	Range penuh dari laser (10 – 20 nm)	10 μ s
<i>Injection Current Tuned Laser</i>	4 nm	0.5 – 10 ns
<i>Switched Laser</i>	Ditentukan sendiri	< 65 ps
<i>Array Sources</i> (dengan AWG)	16 kanal, dipisahkan 100 GHz	100 – 200 ms
<i>Array Sources</i> (DFB)	Dibatasi jumlah elemen pada susunan	1 – 10 ns

2.5 Filter Cahaya

Filter optik yang dapat disetel secara dinamik melalui pita frekuensi optik mampu meningkatkan fleksibilitas dari jaringan WDM. Hampir seluruh filter optik yang dapat disetel mempunyai cara kerja yang sama dengan divais pasif.

Gambar 2-9, menunjukkan konsep dasar dari filter optik yang dapat disetel. Parameter sistem yang berhubungan dengan hal tersebut meliputi:

- Daerah penyetelan $\Delta\nu$, dimana filter dapat disetel.
- Spasi kanal $\delta\nu$, dimana frekuensi minimum dipisahkan antara kanal untuk menghasilkan minimum crosstalk.
- Jumlah maksimal kanal N , yaitu nilai maksimum yang sama dengan kanal terpisah yang dapat dikumpulkan pada daerah penyetelan.
- Kecepatan penyetelan, menunjukkan betapa cepat filter dapat reset dari frekuensi satu ke frekuensi yang lain.



Gambar.2-9: Konsep dasar filter optik yang dapat disetel^[7]

Dibawah ini adalah tabel beberapa jenis filter berdasarkan cara kerja.

Tabel.2-2 : Karakteristik *tunable filter* ^[2]

Kategori filter	Tuning range	Tuning time
<i>Fabry-Perot</i>	500 nm	1-10 ms
<i>Acousto-optic</i>	250 nm	10 μ s
<i>AWG Tunable Filter</i>	40 nm	10 ms
<i>Liquid Crystal Fabry Perot</i>	30 nm	0,5 – 10 μ s
<i>Fiber Bragg grating</i>	10 nm	1-10ms
<i>Cascade Mach-Zender interferometer filter</i>	4 nm	50 ns
<i>Tunable Filter</i> berdasarkan struktur semikonduktor atau laser	5 nm	0,1 – 1 ns

2.6 Degradasi Sinyal Pada Serat Optik

Serat optik mempunyai keterbatasan dalam aplikasinya, begitu pula pada jaringan WDM. Serat optik pada jaringan tersebut akan mengalami degradasi sinyal yang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

- attenuasi (pelemahan sinyal)
- dispersi mode polarisasi (PMD)
- dispersi kromatik (pelebaran pulsa)

2.6.1 Attenuasi (Pelemahan Sinyal)

Pelemahan sinyal didefinisikan sebagai perbandingan antara daya optik keluaran, P_{out} , dari serat sepanjang L , dengan daya optik masukan P_{in} . Perbandingan daya ini merupakan fungsi panjang gelombang. Simbol yang dipergunakan untuk menyatakan *attenuasi (rugi daya)* adalah α , dengan satuan dB/km. Persamaan yang menunjukkan besarnya rugi daya^[5] ini adalah:

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \quad (2.1)$$

Terjadi pelemahan sinyal disebabkan oleh absorpsi, *scattering* (hamburan) dan *bending* (pembengkokan). Absorpsi disebabkan karena molekul bahan serat, akibat adanya ketidakmurnian maupun akibat karakteristik molekul bahan serat itu sendiri. Pelemahan sinyal akibat absorpsi adalah pelemahan sinyal minimum yang terjadi dalam serat.

Sedangkan hamburan terjadi karena adanya variasi mikroskopis pada kepadatan bahan yang timbul saat serat dibuat. Variasi kepadatan menyebabkan adanya variasi indeks bias sehingga mempengaruhi arah rambatan cahaya. Pada bending ada dua jenis, yaitu: *macrobending* dan *microbending*. *Macrobending* terjadi bila jari-jari pembengkokan, jauh lebih besar dari diameter serat. Dan *microbending* terjadi bila pembengkokan berada pada inti dan selubung.

2.62 Dispersi Mode Polarisasi

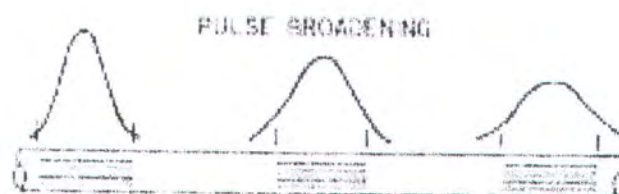
Dispersi jenis ini biasa terjadi pada jaringan optik karena sinyal optik berjalan atau merambat dengan dua jenis moda, dimana berkisar pada sudut yang benar antara satu sama lain. Namun dua moda tersebut menyebar saat lewat melalui serat, akibat variasi dari diameter serat. Pada penerima akhir, delay antara kedatangan dua jenis moda dari sinyal optik ini dikatakan sebagai dispersi. Sehingga menjadi sulit bahkan mustahil untuk dapat mengetahui mana sinyal optik yang sesungguhnya. Gambar 2-10 menunjukkan dispersi mode polarisasi.



Gambar 2-10: Dispersi moda polarisasi^[4]

2.63 Dispersi (Pelebaran Pulsa)

Sinyal optik akan mengalami distorsi selama proses pentransmisian melalui serat optik. Distorsi ini merupakan konsekuensi dari efek dispersi intramoda dan delay intermoda. Efek tersebut dapat dijelaskan dengan menentukan kecepatan group suatu moda yang dipandu, diman kecepatan tersebut adalah kecepatan saat energi berada pada moda tertentu merambat melalui serat. Sehingga menyebabkan terjadinya pelebaran pulsa pada sisi penerima dan menyebabkan kesalahan pendeteksian pulsa dari sinyal transmisi. Pelebaran pulsa akibat dispersi ditunjukkan pada gambar 2-11.



Gambar 2-11: Pelebaran pulsa akibat dispersi^[6]

Dispersi intramoda adalah pelebaran pulsa yang terjadi ketika kecepatan group V_g , merupakan fungsi dari panjang gelombang λ pada serat optik single-mode. Karena tergantung pada panjang gelombang maka efek dari distorsi sinyal akan semakin meningkat dengan semakin besar lebar spektral dari sumber optik. Adapun dua hal yang menyebabkan dispersi intramoda adalah:

- *Material dispersion*, muncul sebagai akibat variasi indeks bias pada bahan core atau inti serat optik terhadap fungsi panjang gelombang. Terjadi karena kecepatan group suatu pulsa adalah fungsi dari variasi indeks bias dengan panjang gelombang. Pulsa melebar ketika panjang gelombang berada pada lintasan yang sama.
- *Waveguide dispersion*, terjadi karena daya pada serat optik single-mode dibatasi hanya 80 persen pada core atau inti. Dispersi ini muncul ketika 20 persen dari daya optik yang berada di cladding merambat lebih cepat dibanding cahaya pada core.

Faktor lain yang menyebabkan pelebaran pulsa adalah delay intermoda, akibat setiap moda mempunyai besar kecepatan group yang berbeda pada frekuensi tunggal. Dari kedua faktor tersebut, delay intermoda terjadi pada serat optik multimode.

Begitu pula perambatan sinyal optik melalui jaringan dengan teknologi WDM, juga mengalami perubahan akibat adanya kelemahan fisik yang menyebabkan degradasi sinyal dan membatasi performansi sistem. Hal ini diakibatkan karena penggunaan banyak panjang gelombang.

▪ **Dispersi Bahan (*Material dispersion*)**

Ketika sinyal cahaya merambat melalui suatu medium, sinyal tersebut akan mengalami pelebaran. Berdasarkan teori bahwa indeks bias suatu medium tergantung pada panjang gelombang dan sumber cahaya yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal. Perbedaan spektral pada sumber menyebabkan perbedaan waktu perambatan.

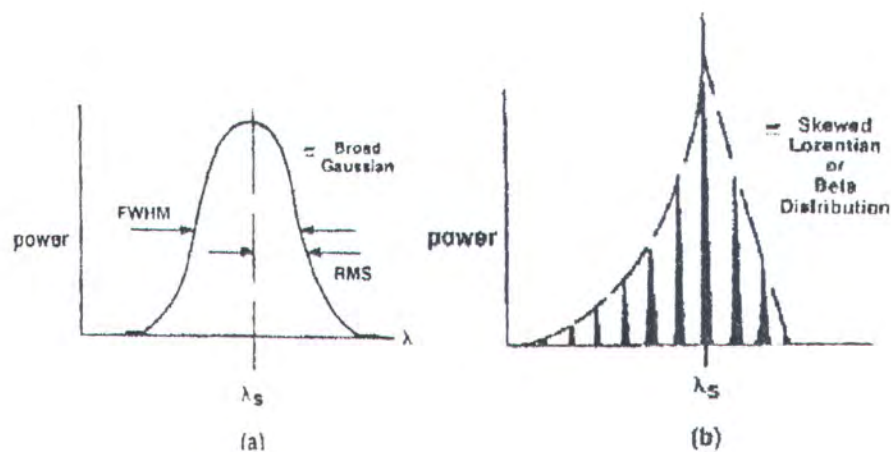
Group delay untuk setiap satuan panjang serat^[3] adalah :

$$\tau(\lambda) = N(\lambda)/c \quad (2.2)$$

dimana $\tau(\lambda)$: group delay,

$N(\lambda)$:

c : kecepatan cahaya, m/s.



Gambar 2-1: Skema spectra sumber yang menunjukkan panjang gelombang rata-rata λ_s dan lebar $\Delta \lambda$ (FWHM atau rms). (a) Spektrum LED kontinyu; (b) Spektrum LD mode longitudinal.^[4]

Pada gambar diatas ditunjukkan adanya spektrum suatu sumber dengan panjang gelombang puncak λ_s dan lebar penuh pada maksimum setengah (FWHM –Full Width Half Maximum) atau lebar rms $\Delta \lambda$ (nm). Sepanjang serat sebesar L (km), dua panjang gelombang dipisahkan oleh lebar $\Delta \lambda$ akan mempengaruhi perbedaan delay waktu atau pulsa melebar. Dimana persamaan berikut menunjukkan adanya koefisien dispersi material^[3],

$$M(\lambda) = \frac{d\tau}{d\lambda} = \frac{dN}{cd\lambda} \quad (2.3)$$

dimana; $M(\lambda)$: koefisien dispersi material,

Sedangkan *spectral group delay* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan Sellmeier sehingga diperoleh bentuk^[3]

$$\tau(\lambda) = \tau(\lambda_0) + \frac{S(\lambda_0)}{8} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right)^2 \quad (2.4)$$

yang mana berasal dari,

$$M(\lambda) = S_0 \frac{\lambda}{4} \left(1 - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \right) \quad (2.5)$$

dimana;

λ_0 adalah *zero-dispersion wavelength* dimana $M(\lambda_0) = 0$; $S_0 = S(\lambda_0)$ merupakan *zero-dispersion slope*. Sehingga nilai dispersi slope adalah $S = dM / d\lambda$ pada λ_0 .

- **Dispersi Pemandu Gelombang (*Waveguide dispersion*)**

Efek dari dispersi ini pada pelebaran pulsa dapat diperkirakan dengan mengasumsikan indeks bias suatu bahan adalah tidak tergantung panjang gelombang. Terjadi karena adanya hubungan antara moda perambatan dengan panjang gelombang.

- **Distorsi Sinyal pada Serat Optik Single-mode**

Pelebaran pulsa pada serat optik single-mode disebabkan karena pengaruh dari bahan (material) dan pemandu gelombang. *Dispersi material* terjadi karena kecepatan group suatu pulsa adalah fungsi variasi indeks bias terhadap panjang gelombang. Sedangkan pengaruh *waveguide dispersion* tergantung pada indeks bias permukaan core dan indeks bias permukaan cladding. Kondisi permukaan dapat diubah ketipisan untuk memperoleh minimum dispersi yang diinginkan pada panjang gelombang tertentu. Dispersi total atau penjumlahan dari dispersi material (material dispersion) dan dispersi pemandu gelombang (waveguide dispersion) yang lebih dikenal dengan dispersi intramoda disebut pula dispersi kromatik.

Dispersi kromatik adalah perubahan pada pelebaran pulsa^[3] dengan panjang gelombang yang ditunjukkan pada berikut,

$$D(\lambda) = \frac{1}{L} \frac{\partial \tau}{\partial \lambda} \quad (2.6)$$

Dispersi kromatik dinyatakan dalam satuan ps/(nm.km). Sedangkan pelebaran pulsa^[3] dinyatakan oleh persamaan,

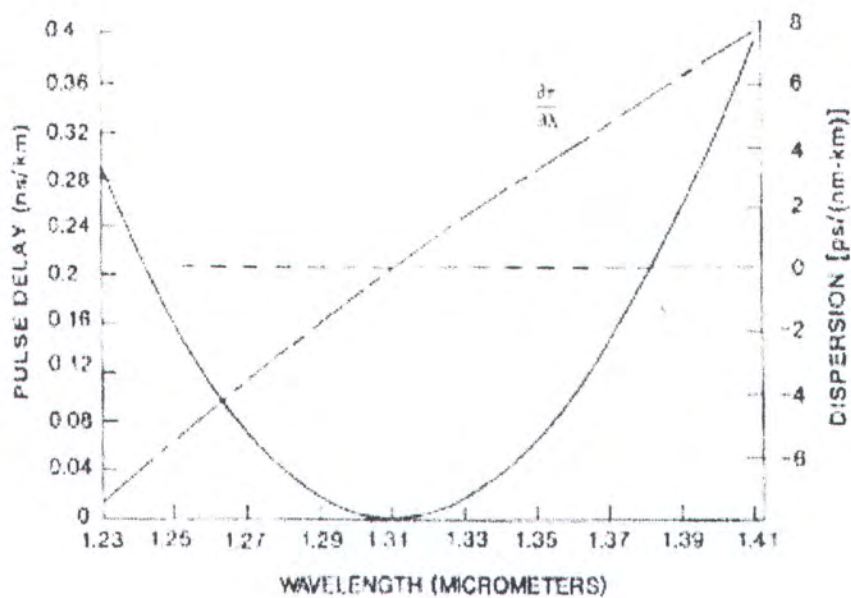
$$\Delta\tau = D(\lambda)L\Delta\lambda \quad (2.7)$$

dimana D : dispersi kromatik

L : panjang serat optik

$\Delta\lambda$: lebar spektral panjang gelombang sumber cahaya

Hubungan antara delay pulsa dengan panjang gelombang serta dispersi ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar.2.13: Delay pulsa terhadap panjang gelombang. Serta dispersi (garis putus-putus) sebagai turunan dari delay pulsa.^[4]

Besar dispersi kromatik untuk serat optik jenis *unshifted*^[10.a] berdasarkan CCITT rekomendasi ITU-G.652 ditunjukkan pada persamaan berikut,

$$D_1(\lambda) = \frac{S_0 \max}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4 \min}{\lambda^3} \right] \quad (2.8)$$

$$D_1(\lambda) = \frac{S_0 \max}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4 \max}{\lambda^3} \right] \quad (2.9)$$

ket: λ_0 : *zero-dispersion wavelength*, nm.

S_0 : *zero-dispersion slope*, ps/(nm².km).

$D(\lambda)$: dispersi kromatik, ps/(nm.km).

λ : panjang gelombang yang digunakan, nm.

Besar $\lambda_0 \max$ dan $\lambda_0 \min$ masing-masing adalah 1324 nm dan 1300 nm serta S_0 sebesar 0,093 ps/(nm².km). Digunakan pada jendela 1310 nm dengan range panjang gelombang 1260 – 1360 nm. Namun dapat juga digunakan pada jendela 1550 nm, meskipun nilai dispersi kromatik cukup besar dibanding dengan dispersi kromatik pada jendela 1310 nm.

Sedangkan besar dispersi kromatik untuk serat optik single-mode jenis *dispersion shifted*^[10.b] berdasarkan CCITT rekomendasi ITU-G.653 ditunjukkan pada persamaan berikut,

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0 \quad (2.10)$$

dengan besar λ_0 ^[10.b] ditunjukkan persamaan berikut,

$$1550 - \Delta\lambda_0 \text{ max} < \lambda_0 < 1550 + \Delta\lambda_0 \text{ max} \quad (2.11)$$

dimana besar $\Delta\lambda_0 \text{ max}$ adalah 50 nm, sehingga didapatkan besar $\lambda_0 \text{ min}$ adalah 1500 nm dan $\lambda_0 \text{ max}$ 1600 nm. Besar $S_0 \text{ max}$ adalah 0,085 ps/(nm².km). Digunakan pada jendela 1550 nm dengan range panjang gelombang 1480 – 1580 nm. Namun dapat juga digunakan pada jendela 1310 nm, meskipun nilai dispersi kromatik cukup besar dibanding dengan dispersi kromatik pada jendela 1550 nm.

2.64 Hubungan antara Dispersi Kromatik dengan Bit Rate

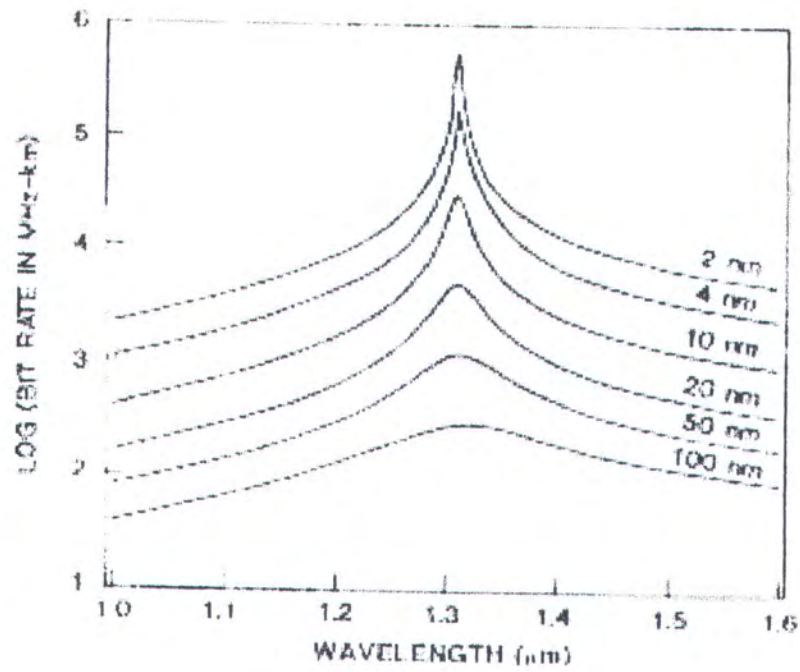
Apabila besar dispersi kromatik telah didapatkan, maka dapat ditentukan pula besar bit rate (kapasitas informasi yang dibawa) suatu serat optik. Bit rate merupakan fungsi lebar spektral sumber input dan dispersi kromatik suatu serat. Perhitungan bit rate serat optik single-mode lebih menuju ke *zero-dispersion wavelength* tak terbatas, kecuali pada orde tinggi yang disebut *dispersion slope*, maka itulah batas dari bit rate.

Persamaan batas bit rate^[11] adalah sebagai berikut,

$$B = \frac{1}{4\sigma} \quad (2.12)$$

dimana σ adalah lebar pulsa rms, ps/km.

Hubungan serta ketergantungan terhadap lebar spektral sumber ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2-14: Hubungan antara lebar spektral dan bit rate^[4]

BAB III

PERANCANGAN SISTEM KOMUNIKASI

SERAT OPTIK WDM

Dalam merancang suatu sistem komunikasi serat optik WDM, diperlukan suatu perencanaan yang didahului dengan penetapan parameter dari jaringan dan kebutuhan pengguna, dilanjutkan dengan penetapan arsitektur jaringan. Setelah arsitektur jaringan ditetapkan, langkah selanjutnya adalah memilih serta menentukan jenis laser, multiplekser/demultiplekser dan jenis serat optik. Dalam sistem komunikasi serat optik WDM, terdapat tiga hal yang dianalisa. Selain analisa loss-power budget, diperlukan juga analisa terhadap dispersi kromatik dan analisa terhadap dispersi mode polarisasi (PMD). Dalam tugas akhir ini yang akan dibahas adalah dispersi kromatik terhadap sistem yang telah dirancang. Dimana perancangan berpedoman pada perencanaan.

3.1 Perencanaan Perancangan Sistem Komunikasi Serat Optik

Dalam merancang suatu sistem komunikasi perlu diketahui terlebih dahulu besarnya kebutuhan pengguna. Setelah mengetahui besar kebutuhan pengguna maka perencanaan diawali dengan penetapan letak node. Hal tersebut digunakan untuk memilih komponen yang akan digunakan selanjutnya.

3.11 Kebutuhan Pengguna dan Letak Node

Kebutuhan pengguna berhubungan dengan laju data yang akan mempengaruhi pemilihan komponen baik komponen aktif maupun pasif. Besarnya laju data mempengaruhi pemilihan sistem yang akan dirancang serta panjang gelombang kerja yang akan digunakan. Pemilihan sistem dan panjang gelombang kerja akan mempengaruhi pula pemilihan komponen utama sistem komunikasi serat optik.

Dalam komunikasi serat optik, panjang gelombang yang dapat digunakan terbagi menjadi tiga jendela optik (optical window) yaitu 850 nm, 1310 nm dan 1550 nm. Namun dalam perkembangannya, hanya dua jendela optik yang digunakan untuk komunikasi serat optik yaitu 1310 nm dan 1550 nm. Untuk komunikasi jarak jauh lebih banyak digunakan jendela optik yang terakhir, karena panjang gelombang pada daerah ini mempunyai range panjang gelombang yang lebih rendah, attenuasi yang rendah serta dipergunakannya optical amplifier. Oleh karena itu semakin tinggi laju data maka panjang gelombang yang akan digunakan semakin besar yaitu pada jendela optik 1550 nm.

Sedangkan letak node-node merupakan hal utama dalam perencanaan sistem komunikasi serat optik. Letak node meliputi jarak antar node dan jumlah node. Jarak antar node menentukan panjang kabel serat optik yang akan digelar. Sedangkan jumlah node menunjukkan seberapa besar daerah yang dapat dilayani oleh serat optik ini. Kedua hal tersebut akan menentukan bagaimana bentuk dari sistem yang akan dirancang.

3.12 Pemilihan Komponen

Komponen utama pada sistem komunikasi serat optik meliputi transmitter (sumber cahaya), multiplexer/demultiplexer, serat optik dan receiver (detektor). Selain komponen diatas, pada sistem komunikasi serat optik WDM terdapat beberapa komponen penunjang. Komponen penunjang tersebut diantaranya adalah *optical amplifier*, *wavelength routing*, *wavelength converting*, maupun *optical add-drop multiplexer* (OADM). Pemilihan komponen dititikberatkan pada komponen utama (inti) terlebih dahulu. Pemilihan komponen utama ini merupakan hal penting dalam perancangan suatu sistem komunikasi. Pemilihan ini akan banyak dipengaruhi oleh fungsi dari sistem yang akan dirancang.

▪ Pemilihan Komponen Transmitter

Dalam transmitter terdapat sumber cahaya serta modulator untuk memodulasikan sinyal informasi dengan sinyal dari sumber. Sumber cahaya yang digunakan pada sistem komunikasi serat optik adalah LED dan Laser Diode. Namun untuk sistem komunikasi dengan laju data yang tinggi serta jarak jauh dibutuhkan sumber cahaya yang mempunyai daya keluaran yang tinggi serta respon yang lebih cepat. Maka digunakan sumber cahaya berupa laser diode yang mempunyai spektrum keluaran lebih sempit dibandingkan dengan LED.

Laser diode terdiri dari beberapa jenis diantaranya yang sering digunakan adalah laser Fabry Perot dan laser *distributed feedback* (DFB). Laser diode mempunyai dua jenis keluaran spektral yaitu *single-longitudinal mode* (SLM) dan *multi-longitudinal mode* (MLM). Untuk itu pemilihan sumber cahaya dilakukan

antara sumber cahaya laser diode DFB (Distributed FeedBack) dan laser diode Fabry Perot. Dibawah ini adalah karakteristik dari sumber laser diode.

Tabel 3-1: Karakteristik Sumber Laser diode^[9]

Property	LED	Laser Diode	Single-mode Laser Diode
Spectral width(nm)	20-100	1-5	<0.2
Rise time(ns)	2-250	0.1-1	0.05-1
Modulation bandwidth(MHz)	<300	2000	6000
Coupling Efficiency ^a	Very low	Moderate	High
Compatible Fiber	Multimode SI ^b Multimode GRIN ^c	Multimode GRIN Singlemode	Single-mode
Temperature Sensitivity	Low	High	High
Circuit Complexity	Simple	Complex	Complex
Lifetime(hours)	10 ⁵	10 ⁴ - 10 ⁵	10 ⁴ - 10 ⁵
Costs	Low	High	Highest
Primary Use	Moderate paths Moderate data rates	Long paths High data rates	Very long paths Very high rates

^a Coupling Efficiency can be improved with lenses.

^b First window system.

^c Second window system.

▪ Pemilihan Komponen Multiplekser / Demultiplekser

Pemilihan komponen multiplekser maupun demultiplekser berdasarkan pada sistem yang akan digunakan. Untuk penggunaan sistem WDM, dapat digunakan beberapa jenis yaitu angular dispersive, interferensi filter maupun *coupled fiber*. Hal ini telah dijelaskan pada sub bab 2.1. Pada sistem WDM

pemilihannya berdasarkan pada kemampuan spektral resolusi yang baik, losses insertion yang rendah, kemudahan konfigurasi serta *alignment* dari komponen tersebut. Komponen yang banyak digunakan secara umum, adalah *Fiber Bragg Grating* yang menggunakan prinsip angular dispersive. Selain itu jenis multiplexer lain pada sistem WDM cukup sulit untuk diaplikasikan dalam sistem. Untuk penggunaan sistem yang lain misalnya TDM (PCM) mempunyai cara kerja yang cukup berbeda dibandingkan dengan sistem WDM. Hal ini karena adanya perbedaan variabel yang akan ditransmisikan. Jika pada WDM yang dimultiplekser atau yang didemultiplekser adalah panjang gelombang sedangkan pada sistem TDM khususnya PCM maka yang akan dimultiplekser atau didemultiplekser adalah kode pulsa digital berdasarkan waktu.

▪ **Pemilihan Komponen Serat Optik**

Pemilihan serat optik hanya memiliki dua pilihan yaitu *singlemode* atau *multimode*. Pemilihan spesifikasi serat optik didasarkan pada panjang gelombang kerja yang akan digunakan. Selain itu pemilihan didasarkan pada kemampuannya dalam menyalurkan informasi dengan distorsi yang minimal serta pelemahan yang kecil. Serat optik *singlemode*, mempunyai core yang kecil dimana hanya satu moda cahaya saja yang dapat lewat melalui serat pada waktu tertentu. Serat *singlemode* lebih banyak digunakan untuk jarak jauh dan bandwidth yang besar termasuk dense WDM. Kestabilan sinyalnya dapat terus dipertahankan walau melalui jarak yang panjang, modal dispersi berkurang, kapasitas informasi yang dibawa lebih besar serta loss intrinsik yang rendah.

Serat singlemode terdiri dari beberapa jenis, yaitu *singlemode* standart (SSMF), dispersion shifted (DSF), *1550 nm λ loss-minimized*, dan non zero dispersion shifted (NZDSF). Jenis yang terakhir yaitu NZDSF merupakan penyempurnaan dari serat-serat sebelumnya. Jenis SSMF dioptimalkan untuk jendela optik 1310 nm. Sedangkan ketiga jenis lainnya dioptimalkan pada jendela optik 1550 nm. Adapun perbedaan yang cukup penting antara jenis serat singlemode adalah jenis NZDSF mempunyai nilai dispersi kromatik yang cukup rendah, sehingga dapat digunakan untuk transmisi multikanal yaitu WDM.

▪ Pemilihan Komponen Receiver

Dalam komunikasi serat optik secara umum dapat digunakan detektor PIN atau APD. Karena lebih sensitif dibandingkan dengan PIN, dalam hal responsivitas dan efisiensi kuantum, APD lebih banyak digunakan untuk komunikasi jarak jauh. Sedangkan PIN digunakan untuk komunikasi jarak pendek. Setelah tipe detektor ditetapkan, maka yang harus dipilih kemudian adalah jenis bahan dari detektor tersebut. pemilihan bahan detektor pun tergantung dari pemilihan panjang gelombang yang akan digunakan. Karena bahan yang berbeda akan menyerap panjang gelombang yang berbeda pula. Setelah diterima oleh detektor maka diadakan proses demodulasi oleh demodulator yang terdapat pada komponen receiver.

3.2 Perancangan Sistem Komunikasi WDM

PT.Telkom sebagai salah satu perusahaan yang bergerak di bidang jasa telekomunikasi membutuhkan suatu jaringan yang berkapasitas besar dengan laju

data yang cepat pula. Saat ini PT.Telkom Divre V menggunakan sistem SDH (Synchronous Digital Hierarchy) untuk jaringan komunikasi antar STO (Sentral Telepon Otomat). Untuk jaringan SDH di Jawa Timur yang dilayani oleh PT.Telkom terbagi menjadi tiga jaringan yaitu Metro Surabaya SDH Transport Network, Metro Malang SDH Transport Network dan SDH Transport Network. Metro Surabaya SDH Transport Network yang menghubungkan STO-STO di Surabaya mempunyai jumlah pengguna dan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan dua jaringan SDH lainnya. Mengingat Surabaya merupakan pusat perekonomian di Jawa Timur, tentunya kebutuhan akan informasi semakin meningkat pula. Hal ini dapat diatasi dengan meningkatkan kapasitasnya atau mengubah ke sistem yang lain.

Metro Surabaya SDH Transport Network saat ini menggunakan STM (Synchronous Transfer Module)-4 dan STM-16 yang mempunyai kapasitas data masing-masing 622 Mbps dan 2,5 Gbps. Untuk meningkatkan kapasitas dapat menggunakan cara yaitu meningkatkan menjadi STM-32 dengan kapasitas 5 Gbps atau STM-64 dengan kapasitas 10 Gbps. Namun peningkatan besar kapasitas hanya akan terbatas pada STM-64 saja. Untuk itu dapat digunakan alternatif lain yaitu penggunaan sistem WDM. Dengan menggunakan sistem WDM, maka masalah jumlah pengguna serta kapasitas data dapat teratasi. Untuk itu akan digunakan sistem WDM sebagai pengganti sistem SDH.

3.21 Kebutuhan Pengguna

Jaringan WDM ini nantinya akan melayani jaringan yang sama dengan jaringan SDH. Jaringan WDM akan menghubungkan 10 STO, dimana terdapat

dua STO yang digunakan sebagai pusat pengawasan jaringan transmisi selain tentunya sebagai penyalur data informasi ke pelanggan. Dua STO tersebut adalah STO Kebalen dan STO Rungkut. Jarak masing-masing STO tidak sama sehingga panjang kabel yang digelar pun berbeda pula.

Kebutuhan ditinjau dari kapasitas tiap STO, dimana setiap STO mempunyai kapasitas sebesar STM-16 atau 2,5 Gbps. Dimana kapasitas data tersebut merupakan kapasitas data pada sinyal optis. Untuk langkah awal, kapasitas data ditingkatkan menjadi 10 Gbps setara dengan STM-64. Kapasitas data ini menggunakan sistem transmisi 2,5 Gbps dengan jumlah kanal 4 buah. Sistem serat optik yang akan dirancang ini, merupakan jaringan backbone WDM baik untuk suara maupun data.

Panjang gelombang kerja yang akan digunakan pada sistem WDM ada 3 daerah yaitu *band-S* (short) yang mempunyai range panjang gelombang 1485 – 1520 nm, *band-C* (center) yang mempunyai range panjang gelombang 1530 – 1565 nm dan *band-L* (long) yang mempunyai range panjang gelombang 1565 – 1620 nm. Pada perancangan jaringan WDM ini, panjang gelombang yang akan digunakan terdapat dua alternatif yaitu pada band-C dan band-L. Untuk mengetahui panjang gelombang yang akan digunakan, dapat ditentukan dengan mengetahui besar dari dispersi kromatik. Setelah itu kita dapat membandingkannya antara alternatif pertama dengan alternatif kedua. Namun panjang gelombang dari dua band ini dapat digunakan semua apabila jumlah kanal yang digunakan lebih banyak. Kebutuhan secara keseluruhan ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel.3-2: Data Mengenai Kebutuhan Komunikasi WDM

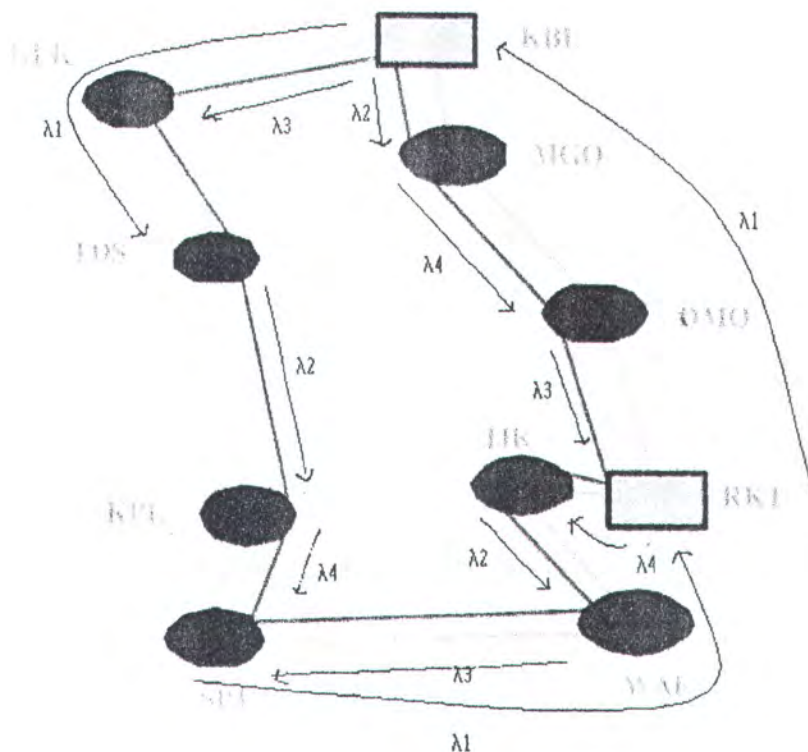
Jenis Kebutuhan	Spesifikasi
Bit Rate total	10 Gbps
Jumlah Kanal	4
Lebar Spasi Kanal	100 GHz (0,8 nm)
Panjang gelombang kerja	1530 – 1565 nm (band-C)
	1565 – 1620 nm (band-L)

3.22 Analisa Topologi

Berdasarkan jumlah STO yang ada, dimana diperlukan 1 node untuk 1 STO, sehingga jumlah node yang dibutuhkan secara keseluruhan adalah 9 node. Kesembilan STO tersebut adalah Kebalen (KBL), Mergoyoso (MGO), Darmo (DMO), Injoko (IJK), Rungkut (RKT), Waru (WAR), Sepanjang (SPJ), Karangpilang (KPL), Tandes (TDS) dan Kalianak (KLK). Jaringan SDH Metro Surabaya yang akan digunakan seperti pada lampiran A.

Berdasarkan letak node serta kabel yang telah digelar sebelumnya, maka jaringan WDM ini akan tetap menggunakan topologi ring. Hal ini dikarenakan jaringan ini merupakan jaringan backbone komunikasi serat optik. Sedangkan untuk transmisi ke pelanggan langsung, baru digunakan topologi star. Sehingga pada dasarnya perancangan jaringan WDM ini tidak mengubah jaringan fisik sebelumnya, karena yang diubah sebenarnya adalah sistemnya.

Dengan menggunakan topologi ring ini, maka tipe WDM yang digunakan adalah tipe *wavelength-routing*. Kelebihan dari tipe *wavelength-routing* adalah jumlah panjang gelombang yang digunakan tidak sebanyak bila digunakan tipe *broadcast and select*. Dimana pada tipe *broadcast and select*, jumlah panjang gelombang yang digunakan sama dengan jumlah node yang ada. Namun jaringan *wavelength-routing* dapat mengatasinya melalui pemakaian ulang panjang gelombang (*wavelength reuse*), *wavelength conversion* dan *optical switching*. Topologi fisik dari jaringan ini, terdiri dari *optical wavelength router* yang dihubungkan dengan sepasang jaringan serat point to point pada konfigurasi ring, seperti tampak pada gambar.3.1.



Gambar.3-1: Pemakaian ulang panjang gelombang pada rancangan jaringan

Jumlah panjang gelombang yang akan digunakan untuk jaringan serat optik WDM tipe *wavelength-routing* adalah sebanyak empat panjang gelombang. Hal ini dikarenakan jumlah kapasitas data total atau sistem berdasarkan kebutuhan pengguna pada perancangan jaringan komunikasi serat optik WDM adalah 10 Gbps. Dimana setiap satu panjang gelombang mentransmisikan kapasitas sebanyak 2,5 Gbps. Sehingga masing-masing node mentransmisikan 2,5 Gbps sebanyak 4 kanal pada serat tunggal. Setiap sambungan mampu membawa beberapa panjang gelombang, yang dapat diarahkan menuju jalur keluaran yang berbeda pada 1 node. Setiap node memungkinkan mempunyai sambungan yang sama dengan node lain pada jaringan tersebut. Sambungan dari node 1 ke node 2 dan node 2 ke node 3 digunakan panjang gelombang yang sama dan seterusnya seperti tampak pada gambar 3.1. tersebut.

3.23 Pemilihan Komponen

Setelah kebutuhan dan sistem yang digunakan telah ditetapkan, maka perancangan dilanjutkan dengan pemilihan komponen dengan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, pemilihan komponen disesuaikan dengan sistem yang digunakan yaitu sistem WDM, dimana jaringan ini berfungsi sebagai jaringan komunikasi backbone antar STO.

Pemilihan komponen diawali dengan pemilihan sumber cahaya, hal ini dikarenakan sumber mempunyai peran yang penting dalam sistem WDM sehingga dibutuhkan sumber dengan keluaran tunggal (SLM) dengan jenis sumber adalah laser DFB. Sedangkan detektor yang digunakan adalah jenis APD, karena jarak transmisi yang cukup jauh antar node, BER dan kapasitas data yang tinggi

pada sistem WDM. Untuk multiplexer/demultiplexer yang digunakan adalah jenis Fiber Bragg Grating (FBG). Sebagai demultiplexer, FBG mampu memisahkan panjang gelombang dengan skala yang cukup besar selain itu banyak digunakan di pasaran.

Sedangkan serat yang digunakan sama dengan serat pada jaringan sebelumnya, yaitu serat *singlemode* jenis NZDSF. Jenis ini memang dioptimalkan untuk pemakaian pada sistem WDM. Serat optik singlemode non-zero dispersion shifted (NZDSF) dioptimasikan untuk transmisi dengan banyak kanal pada daerah 1550 nm dengan panjang gelombang cut-off yang dapat digeser diatas daerah 1310 nm. Koefisien dispersi disyaratkan untuk tidak bernilai nol pada pita dari 1530 nm sampai dengan 1565 nm, tetapi bernilai positif atau negatif. Spesifikasi dari keempat komponen ini ditunjukkan pada lampiran B,C D dan E. Berikut ini data komponen yang digunakan untuk sistem yang akan dirancang.

Tabel 3-3: Komponen untuk sistem yang dirancang

Jenis Komponen	Tipe Komponen
Sumber Cahaya	Laser DFB
Multiplexer/Demultiplexer	Fiber Bragg Grating (FBG)
Detektor	APD
Serat optik	Singlemode tipe NZDSF

Dalam penempatannya setiap node akan dilengkapi dengan satu buah komponen pengirim atau transmitter yang terdiri dari laser DFB dan modulator, satu buah multiplexer dan demultiplexer serta satu buah komponen penerima atau receiver yang terdiri dari detektor APD dan demodulator. Selain itu masih dilengkapi pula dengan komponen *wavelength converter*, *wavelength router*, *optical switching* dan *optical amplifier*.

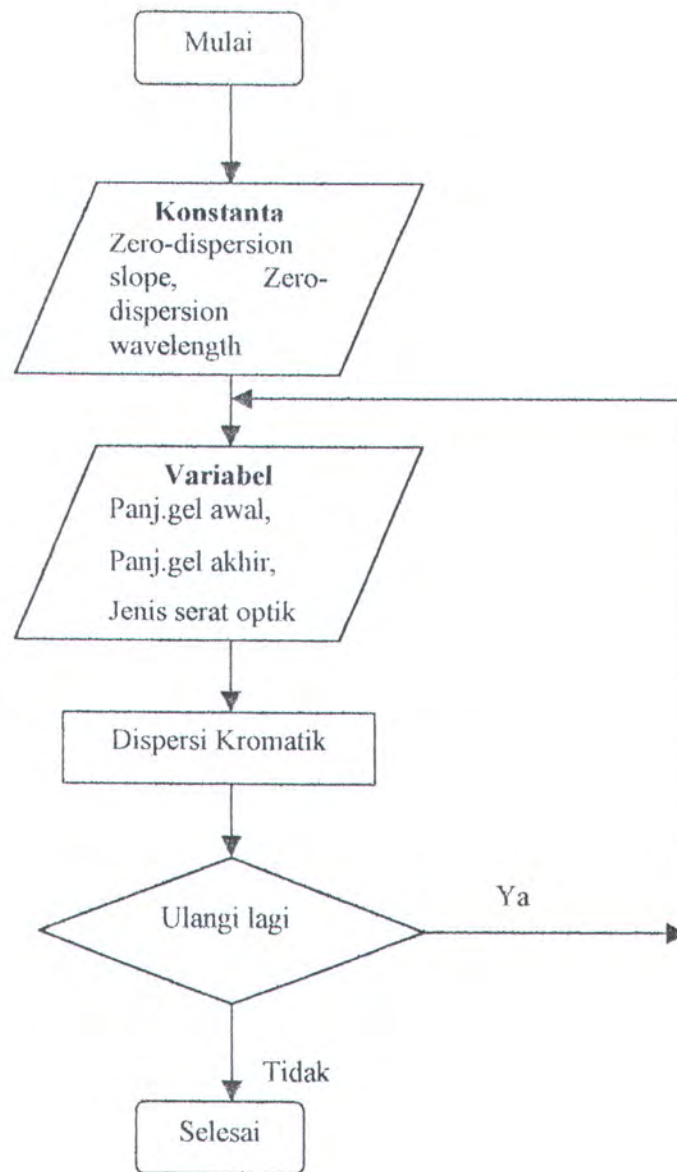
3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Dalam menganalisa besarnya dispersi kromatik yang terjadi pada rancangan sistem komunikasi serat optik WDM, maka digunakan alat bantu berupa perangkat lunak (software) yaitu Delphi. Gambar 3.2 merupakan bagan atau flow chart untuk menghitung besarnya dispersi kromatik pada jenis serat optik singlemode NZDSF.

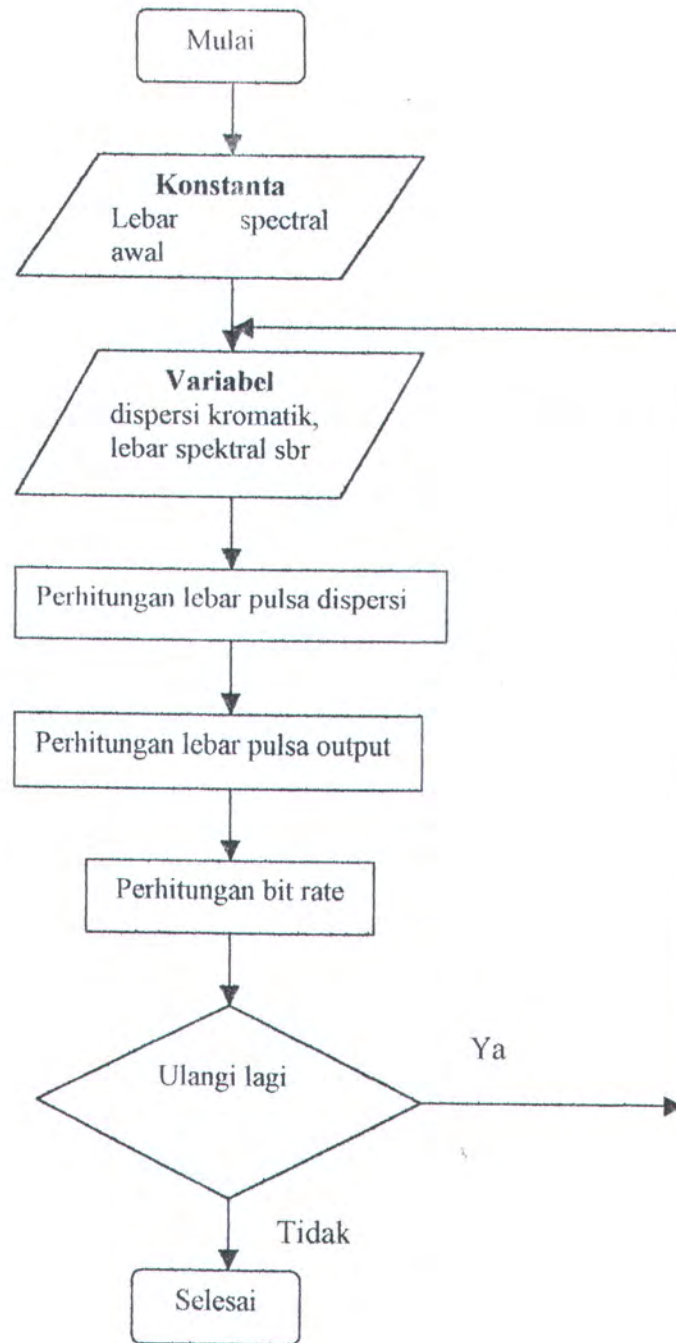
Akibat dari dispersi kromatik adalah adanya pelebaran pulsa informasi. Pelebaran ini akan menyebabkan berkurangnya kapasitas data atau *bit rate* suatu sistem. Untuk mengetahui berapa besar pulsa tersebut melebar dapat diketahui pula melalui suatu simulasi. Adapun bagan atau flowchartnya pada gambar.3.3.

Adapun variabel yang dibutuhkan untuk perhitungan besar dispersi kromatik pada serat optik NZDSF meliputi besar *zero dispersion slope* dimana berdasarkan karakteristik pada spesifikasi serat optik Alcatel 6910 "Tera Light" adalah $0,058 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ dan *zero dispersion wavelength* lebih kecil dari 1440 nm. Sedangkan untuk pelebaran pulsa, memerlukan data karakteristik dari spesifikasi transmitter (laser DFB) Alcatel 1926 SDH, yaitu lebar spektral diketahui nilainya

adalah 0,3 – 0,6 nm dan panjang gelombang keluaran antara 1528,77 nm hingga 1563,86 nm. Sedangkan data dari perancangan berupa jumlah kanal yaitu 4 kanal dan besar dispersi kromatik yang terjadi. Listing program untuk perhitungan dispersi kromatik dan bit rate pada lampiran F.



Gambar 3-2: Flowchart perhitungan dispersi kromatik



Gambar 3.3: Flowchart perhitungan bit rate

3.4 Analisa Dispersi Kromatik dan Bit Rate Akibat Dispersi Kromatik

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari besar dispersi kromatik pada sistem komunikasi serat optik WDM, dengan sebelumnya mengetahui besar dispersi kromatik pada panjang gelombang yang berbeda-beda. Parameter yang perlu diperhatikan pada dispersi kromatik adalah panjang gelombang yang digunakan, λ , lebar spektral yang digunakan, $\Delta \lambda$, serta jenis serat optik yang digunakan. Jenis serat optik mempengaruhi besarnya dispersi kromatik karena masing-masing serat optik tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda. Besar dispersi kromatik untuk *non zero dispersion shifted fiber* (nzdsf)^[10,a], dinyatakan pada persamaan berikut,

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \quad (3.1)$$

dimana S_0 bernilai $0,058 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ dan λ_0 tergantung dari panjang gelombang yang digunakan.

Akibat dispersi kromatik tersebut, maka akan mempengaruhi kapasitas data, *bps*. Penggambaran pelebaran pulsa dapat menunjukkan besar kapasitas data setelah mengalami dispersi, sehingga diperoleh hubungan antara besar kapasitas data dengan dispersi kromatik. Adapun hubungan antara kapasitas data dengan lebar pulsa rms seperti pada persamaan (2.12). Sedangkan hubungan antara lebar pulsa rms dengan besar dispersi kromatik adalah sebagai berikut. Diketahui persamaan dispersi kromatik^[7] adalah:

$$\sigma_k = \sigma_\lambda \frac{d\tau}{d\lambda} \quad (3.2)$$

dimana, $\frac{d\tau}{d\lambda} = D$

σ_k : lebar pulsa dispersi

σ_λ : lebar spektral sumber

maka,
$$\sigma_k = \sigma_\lambda D \quad (3.3)$$

Pelebaran pulsa yang terjadi saat transmisi akibat dispersi kromatik dipengaruhi oleh lebar pulsa awal dan lebar pulsa dispersi. Kedua hal tersebut mengakibatkan perubahan lebar pulsa keluaran yang terjadi setelah transmisi melalui serat optik. Lebar pulsa total setelah transmisi ditunjukkan oleh persamaan^[11] berikut,

$$\sigma_2^2 = \sigma_0^2 + \sigma_1^2 \quad (3.4)$$

dimana σ_2 : lebar pulsa total saat transmisi, ps/km.

σ_0 : lebar pulsa awal sebelum transmisi, ps/km.

σ_1 : lebar pulsa dispersi, ps/km.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, pelebaran pulsa ini mengakibatkan terjadinya perubahan berkurangnya kapasitas data, *bit rate*, yang ditransmisikan. Dimana persamaan bit rate^[11] adalah,

$$B = \frac{1}{4\sigma} \quad (3.5)$$

dengan σ adalah lebar pulsa saat transmisi dengan satuan ps/km. Sehingga semakin besar lebar pulsa total yang terjadi, maka semakin besar pula berkurangnya bit rate transmisi.

Apabila sistem yang telah dirancang telah memenuhi persyaratan pengujian penggunaan panjang gelombang berupa dispersi kromatik dan kapasitas data, *bit rate*, dari sistem tersebut, maka telah dihasilkan suatu hasil rancangan awal.

BAB IV

ANALISA DATA HASIL PERANCANGAN

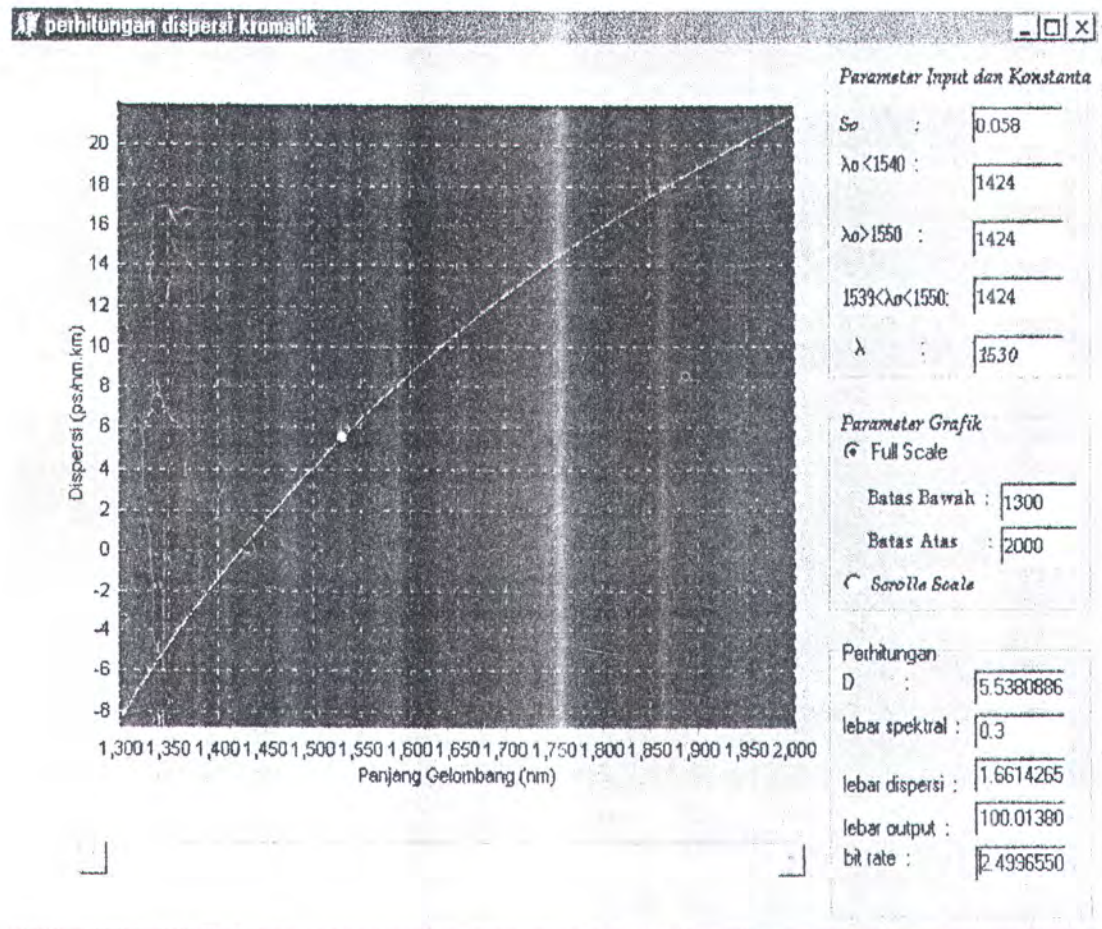
4.1 Analisa Dispersi Kromatik Pada Jaringan WDM

Berdasarkan hasil perencanaan dan pemilihan komponen diperoleh jaringan komunikasi serat optic WDM seperti pada gambar 3.1. untuk mengetahui system ini dapat berjalan dengan baik, ada tiga cara untuk menganalisa, yaitu analisa link power budget, analisa pada dispersi kromatik dan analisa pada dispersi moda polarisasi (PMD). Pada analisa dispersi kromatik ini, akan diketahui besar dispersi kromatik terhadap jaringan serat optik WDM.

Analisa pada dispersi kromatik dilakukan pada setiap panjang gelombang, yaitu panjang gelombang yang digunakan pada rancangan jaringan WDM. Pada sistem WDM, penentuan besar panjang gelombang akan menentukan pula besar dispersi kromatik yang tentunya akan mempengaruhi kualitas sinyal pula. Untuk itu akan dianalisa beberapa panjang gelombang yang akan digunakan dengan spasi kanal 0,8 nm antar panjang gelombang yang lain. Dengan menggunakan data spesifikasi komponen serat (lampiran A), yaitu: zero dispersion slope, S_0 dan zero dispersion wavelength, λ_0 , dapat dihitung dispersi kromatik dari serat tersebut.

Dengan menggunakan software Delphi, program perhitungan dispersi kromatik, yang tampak pada gambar 4.1. Pada gambar tersebut, akan

diperlihatkan juga grafik hubungan antara dispersi kromatik dengan panjang gelombang.



Gambar 4-1: Tampilan perhitungan dispersi kromatik dan bit rate

Empat panjang gelombang yang akan digunakan sebagai alternatif pertama adalah panjang gelombang pada band-C yaitu: 1530 nm, 1530,8 nm, 1531,6 nm dan 1532,4 nm. Dimulai dari panjang gelombang 1530 nm, karena pada band-C panjang gelombang tersebut mempunyai besar dispersi kromatik yang paling

kecil. Dari perhitungan dengan menggunakan software berdasarkan persamaan (3.1) diperoleh besar dispersi kromatik pada tabel 4.1.

Tabel 4-1: Dispersi kromatik pada λ alternatif pertama.

Panjang gelombang yang digunakan (nm)	Dispersi kromatik (ps/nm.km)
1530	5,538
1530,8	5,58
1531,6	5,61
1532,4	5,65

Untuk alternatif kedua adalah penggunaan panjang gelombang pada band-L yaitu: 1565 nm, 1565,8 nm, 1566,6 nm dan 1567,4 nm. Diawali dengan panjang gelombang 1565 nm, karena mempunyai besar dispersi kromatik yang paling kecil pada band-L. Dari perhitungan dengan menggunakan software berdasarkan persamaan (3.1) pula, diperoleh besar dispersi kromatik pada tabel 4.2.

Tabel 4-2: Dispersi kromatik pada λ alternatif kedua.

Panjang gelombang yang digunakan (nm)	Dispersi kromatik (ps/nm.km)
1565	7,527
1565,8	7,562
1566,6	7,5968
1567,4	7,6315

Penentuan zero dispersion wavelength mempengaruhi hasil dispersi kromatik. Terdapat dua daerah pembagian zero dispersion wavelength, λ_0 , yaitu 1424 nm untuk panjang gelombang 1530 nm – 1565 nm dan 1415 untuk panjang gelombang antara 1565 sampai dengan 1620 nm. Dengan menggunakan persamaan (3.1), besar dispersi kromatik tersebut dapat diperoleh. Karena panjang gelombang yang digunakan mempunyai selisih yang sangat kecil sehingga besar dispersi kromatik antar panjang gelombang juga mempunyai selisih yang kecil pula.

Dari hasil pada tabel 4.1, besar dispersi kromatik antara masing-masing panjang gelombang mempunyai selisih yang kecil. Begitu pula untuk tabel 4.2, selisih dispersi kromatik antara masing-masing panjang gelombang juga kecil. Diperoleh hasil bahwa pada alternatif kedua mempunyai besar dispersi kromatik yang lebih besar dibandingkan dengan hasil dari alternatif pertama. Dimana selisih dari rata-rata dispersi kromatik antara alternatif pertama dengan alternatif kedua adalah 1,9943. Selisih yang cukup besar ini menunjukkan bahwa alternatif pertama yang akan digunakan untuk aplikasi pada jaringan. Namun alternative kedua dapat digunakan apabila semua panjang gelombang pada band-C telah digunakan untuk aplikasi jaringan. Hasil dari dispersi kromatik pada tabel diatas, dapat digunakan sebagai salah satu acuan pemilihan panjang gelombang untuk perancangan jaringan komunikasi serat optik WDM.

4.3 Analisa *Bit Rate* Akibat Dispersi Pada Jaringan WDM

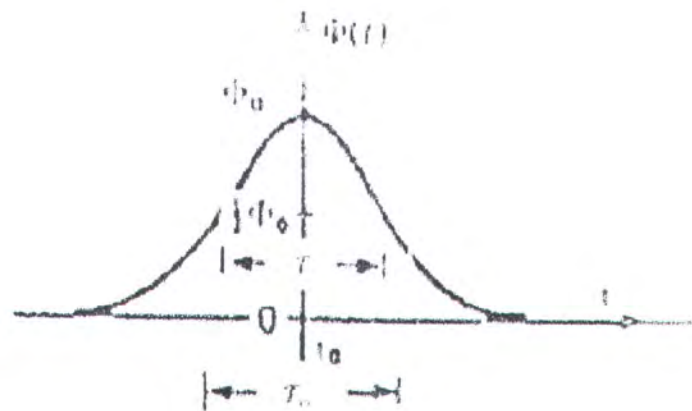
Dalam menganalisa dispersi kromatik suatu jaringan WDM, selain tergantung dari panjang gelombang yang digunakan juga tergantung pada jumlah

panjang gelombang yang digunakan. Semakin banyak jumlah panjang gelombang yang digunakan, maka akan semakin besar pelebaran pulsa yang terjadi akibat dispersi kromatik.

Untuk mengetahui pengaruh dari dispersi kromatik terhadap pelebaran pulsa, perlu diketahui terlebih dahulu lebar pulsa sebelum transmisi melalui serat optik.

- Lebar pulsa Gaussian sebelum transmisi

Pulsa Gaussian digunakan karena output dari sumber dan serat optik berupa pulsa Gaussian. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4-2: Pulsa Gaussian^[10].

Untuk mengetahui lebar pulsa sebelum transmisi, dapat menggunakan cara yaitu mengetahui terlebih dahulu kapasitas data yang akan ditransmisikan. Diketahui persamaan (3.5) merupakan persamaan kapasitas data (bit rate), sehingga lebar pulsa awal sebelum transmisi dapat diketahui. Kapasitas data yang akan ditransmisikan oleh setiap panjang gelombang adalah 2,5 Gbps.

$$B = \frac{1}{4\sigma} \quad (3.5)$$

$$\sigma = 1 / 4B$$

$$= 1 / (4.2,5.10^9) = 100 \text{ ps/km}$$

Sehingga diketahui lebar pulsa awal sebelum transmisi adalah 100 ps/km.

- Lebar pulsa Gaussian setelah transmisi

Lebar pulsa setelah transmisi meliputi lebar pulsa awal dan lebar pulsa dispersi. Besarnya lebar pulsa akibat dispersi kromatik, dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (3.3),

$$\sigma_1 = \sigma_\lambda \cdot D \quad (3.3)$$

Lebar pulsa dispersi mengakibatkan perubahan lebar pulsa keluaran yang terjadi setelah transmisi melalui serat optik. Lebar pulsa total setelah transmisi ditunjukkan oleh persamaan (3.4) berikut,

$$\sigma_2^2 = \sigma_0^2 + \sigma_1^2 \quad (3.4)$$

Adapun besar pelebaran pulsa dapat diketahui dengan menggunakan software Delphi perhitungan bit rate seperti pada gambar 4.1.

Selain lebar pulsa, dari perhitungan dapat diperoleh besar dari kapasitas data (bit rate) setelah transmisi melalui serat optik untuk tiap-tiap panjang gelombang. Lebar pulsa dispersi dan bit rate dipengaruhi pula oleh parameter lebar spektral sumber dan dispersi kromatik pada serat. Adapun lebar spektral yang digunakan pada tabel dibawah adalah 0,3 nm. Yaitu untuk keadaan keluaran laser DFB ideal atau maksimum. Semakin besar lebar spektral maka akan semakin besar lebar pulsa dispersi dan lebar pulsa output. Tabel 4.3 menunjukkan besar lebar pulsa dan kapasitas data setelah transmisi untuk penggunaan panjang gelombang alternatif pertama.

Tabel.4-3: Lebar pulsa λ alternatif pertama.

Panjang gelombang yang digunakan (nm)	Dispersi kromatik (ps/nm.km)	Lebar pulsa dispersi (ps/km)	Bit rate (Gbps)
1530	5,538	1,6614	2,499655
1530,8	5,58	1,674	2,499649
1531,6	5,61	1,683	2,499646
1532,4	5,65	1,695	2,499641
Bit rate total			9,998591

Sedangkan untuk panjang gelombang alternatif kedua, ditunjukkan pada tabel.4.4.

Tabel.4-4: Lebar pulsa λ alternatif kedua.

Panjang gelombang yang digunakan (nm)	Dispersi kromatik (ps/nm.km)	Lebar pulsa dispersi (ps/km)	Bit rate (Gbps)
1565	7,527	2,258	2,4993628
1565,8	7,562	2,2686	2,4993569
1566,6	7,5968	2,279	2,4993509
1567,4	7,6315	2,289	2,4993453
Bit rate total			9,9974159

Dari hasil pada tabel 4.3, besar lebar pulsa antara masing-masing panjang gelombang mempunyai selisih yang kecil. Begitu pula untuk tabel 4.2, selisih lebar pulsa antara masing-masing panjang gelombang juga kecil. Diperoleh hasil bahwa pada alternatif kedua mempunyai besar lebar pulsa yang lebih besar dibandingkan dengan hasil dari alternatif pertama. Dimana selisih dari rata-rata lebar pulsa antara alternatif pertama dengan alternatif kedua adalah 0,5982. Sedangkan dari segi besarnya bit rate antara alternatif pertama dan kedua perbedaannya sangat kecil. Namun dalam pengaplikasiannya sulit untuk mendapatkan lebar spektral laser yang stabil. Sehingga lebar spektral sumber tersebut dapat melebar. Lebar spektral maksimum yang dihasilkan laser DFB berdasarkan spesifikasi lampiran C adalah 0,6 nm. Sehingga nilai bit rate total pada kondisi minimal ditunjukkan pada tabel dibawah. Semakin besar lebar spektral maka semakin besar pula berkurangnya bit rate yang ditransmisikan.

Tabel.4-5: Lebar pulsa λ alternatif pertama dengan lebar spektral 0,6 nm.

Panjang gelombang yang digunakan (nm)	Dispersi kromatik (ps/nm.km)	Lebar pulsa dispersi (ps/km)	Bit rate (Gbps)
1530	5,538	3,3228	2,498621
1530,8	5,58	3,348	2,498600
1531,6	5,61	3,366	2,498585
1532,4	5,65	3,39	2,4985647
Bit rate total			9,9943707

Untuk panjang gelombang alternatif kedua ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel.4-6: Lebar pulsa λ alternatif kedua dengan lebar spektral 0,6 nm.

Panjang gelombang yang digunakan (nm)	Dispersi kromatik (ps/nm.km)	Lebar pulsa dispersi (ps/km)	Bit rate (Gbps)
1565	7,527	4,516	2,4974544
1565,8	7,562	4,537	2,4974307
1566,6	7,5968	4,558	2,497407
1567,4	7,6315	4,5789	2,4973833
Bit rate total			9,9896754

Dari perbandingan antara lebar spektral 0,3 nm dengan 0,6 nm, diperoleh selisih sebesar 0,004 – 0,01 Gbps. Berkurangnya nilai bit rate ini cukup kecil namun diperlukan suatu kestabilan agar tidak mempengaruhi proses transmisi data.

Dari kedua tabel tersebut, alternatif pertama yang akan digunakan untuk aplikasi jaringan WDM. Namun penggunaan alternatif kedua memungkinkan apabila panjang gelombang pada alternatif pertama telah terpakai semua.

4.3 Analisa Topologi Jaringan

Berdasarkan hasil perhitungan dispersi kromatik dan bit rate tiap panjang gelombang, maka dapat ditentukan penempatan panjang gelombang pada jaringan WDM yang disesuaikan dengan jarak tempuh transmisi. Sehingga untuk panjang gelombang yang mempunyai dispersi kromatik relatif lebih besar ditempatkan pada jarak transmisi yang cukup dekat. Hal ini untuk menghindari terjadinya berkurangnya bit rate semakin besar. Sebaliknya untuk panjang gelombang dengan dispersi kromatik yang relatif kecil dapat ditempatkan pada jarak transmisi yang cukup jauh. Namun jarak transmisi dalam hal ini diasumsikan sebagai jumlah ketika melewati node. Maksudnya semakin banyak node yang dilewati maka semakin jauh jarak transmisi.

Berdasarkan pada jaringan yang terdapat pada gambar 3.1, diketahui untuk jarak transmisi terjauh antara node G – node D dan node D – node A. Pada node tersebut melewati dua node yang lain. Lalu node A –node I, karena melewati satu node saja. Sedangkan node-node yang lain berupa jaringan *point to point*, antar node yang berdekatan. Adapun bentuk selengkapnya dari jarak transmisi, ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4-7: Posisi sambungan antar node

Jumlah node	Posisi node	Sambungan antar STO
Dua node	Node A – B	STO KBL – MGO
	Node B – C	STO MGO – DMO
	Node C – D	STO DMO – RKT
	Node D – E	STO RKT – IJK
	Node E – F	STO IJK – WAR
	Node F – G	STO WAR – SPJ
	Node A – J	STO KBL – KLK
	Node I – H	STO TND – KPL
	Node H – G	STO KPL – SPJ
	Tiga node	Node A – I
Empat node	Node G – D	STO SPJ – RKT
	Node D – A	STO RKT – KBL

Sehingga penempatan panjang gelombang yang akan digunakan pada jaringan dengan berdasarkan pada besar dispersi kromatik dan sambungan antar node ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4-8: Penempatan panjang gelombang pada jaringan.

No	Posisi node	Panjang gelombang (nm)
1	Node A – B	1531.6
2	Node B – C	1532.4
3	Node C – D	1531.6
4	Node D – E	1532.4
5	Node E – F	1530.8
6	Node F – G	1531.6
7	Node A – J	1530.8
8	Node I – H	1530
9	Node H – G	1530.8
10	Node A – I	1530.8
11	Node G – D	1530
12	Node D – A	1530

Setelah pemilihan dan analisa, didapatkan suatu hasil perancangan, berupa skema system serat optik WDM dan spesifikasi komponen yang telah ditetapkan. Skema dan daftar komponen ditunjukkan pada bagian lampiran.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melalui dua analisa yang dilaksanakan pada bab sebelumnya, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut,

- Telah dirancang suatu system serat optik WDM yang berfungsi sebagai backbone sistem komunikasi antar STO, dengan susunan komponen sebagai berikut: sumber Laser DFB dengan panjang gelombang keluaran 1528,77 – 1563,86 nm (10 buah); detektor APD (10 buah); serat optik NZDSF; multiplexer/demultiplexer tipe FBG (10 buah); wavelength conversion (10 buah) dan wavelength router (10 buah).
- Panjang gelombang yang digunakan untuk sistem serat optik WDM adalah 1530 nm, 1530,8 nm, 1531,6 nm dan 1532,4 nm dengan nilai dispersi kromatik minimal 5,538 ps/nm.km dan maksimal 5,65 ps/nm.km. Serta lebar pulsa dispersi akibat dispersi kromatik minimal 1,65 ps/km dan maksimal 1,695 ps/km. Dan nilai bit rate rata-rata dengan lebar spektral 0,3 nm adalah 2.49964875 Gbps tiap panjang gelombang. Sedangkan bit rate totalnya sebesar 9.998591 Gbps.

5.2 Saran

- Penempatan panjang gelombang didasarkan pada jarak antar node dengan nilai dispersi kromatik dan lebar pulsa. Sehingga kemungkinan terjadinya berkurangnya bit rate dapat diminimalkan.

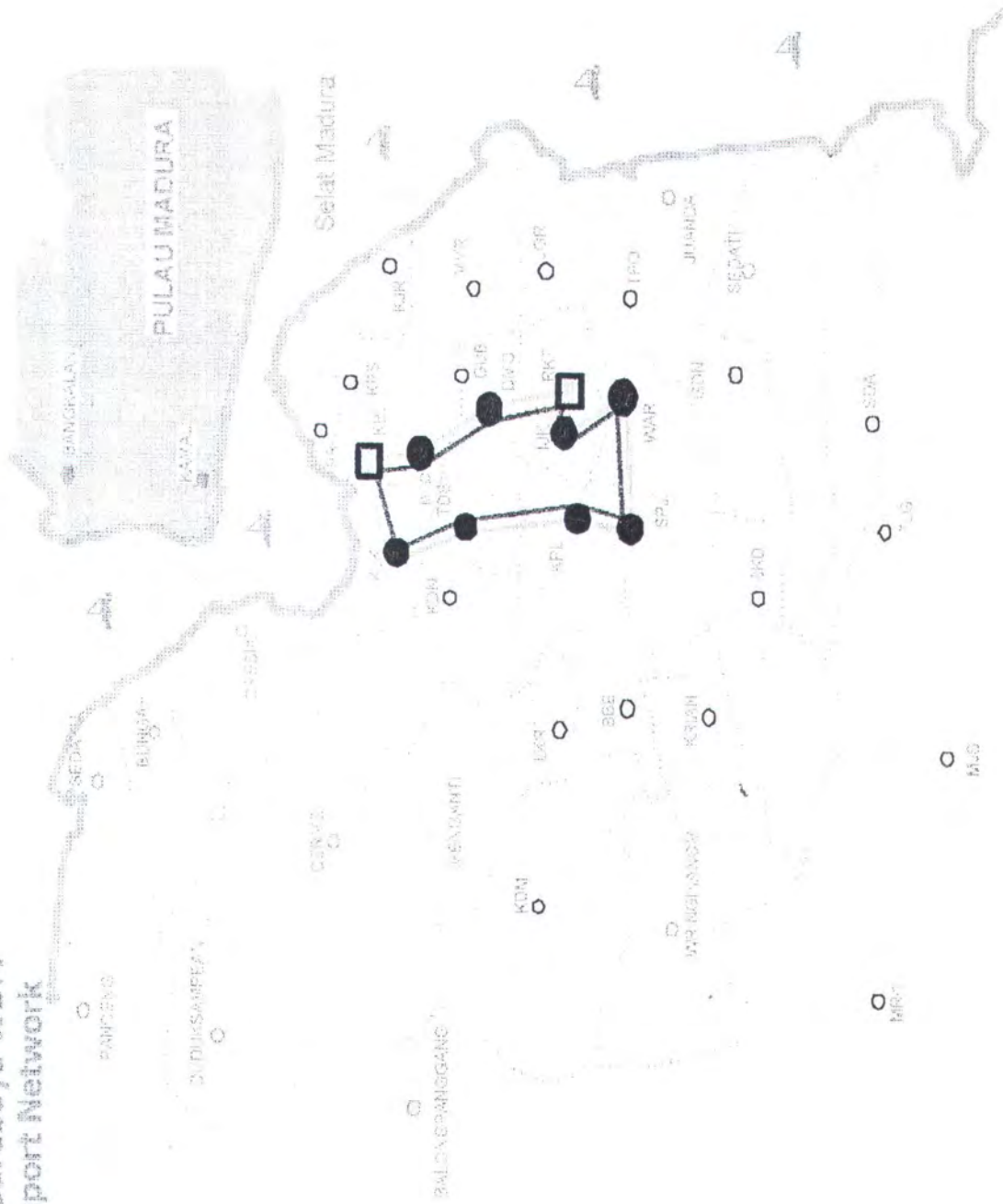
DAFTAR PUSTAKA

1. Kuznetzov, Mark., Froberg, Nan.M., Henion, Scott., Rao, Hemonth., Korn, Jeff., Rauschenbach, K., Modiano, E., and Chan, Vincent.W.S.; A Next – Generation Optical Regional Acces Network; IEEE Communication Magazine; Jan 2000.
2. M.H.Elmirghani., Jaafar, T.Mouftah., Hussein; Technologies and Architectures for Scalable Dynamic Dense WDM Networks; IEEE Communication Magazine; Feb 2000.
3. Powers, Jhon.; An Introduction To Fiber Optic Systems; 2nd edition; Irwin, 1997.
4. Lin, Chinlon.; Optoelectronic Technology and Lightwave Communications Systems; 1st edition; Van Nostrand Reinhold; New York; USA; 1989.
5. Midwanter, J.E., Guo, Y.L.; Optoelectronics and Lightwave Technology; 1st edition; Jhon Wiley & Sons; 1992
6. Keiser., Gerd; Optical Fiber Communications; 2nd edition; McGraw Hill; Singapore; 1991.
7. Jeunhome, Luc.B.; Single-mode Fiber Optics; 2nd edition; Marcel Dekker Inc; 1990.
8. Einarsson, Goran.; Principles of Lightwave Communications; Jhon Wiley & Sons; 1996.

9. Maclean, D.J.H.; *Optical Line System*; 1st edition; Jhon Wiley & Sons; 1996.
10. Palais, Joseph.C.; *Fiber Optic Communications*; 3rd edition; Prentice Hall Int,Inc; New Jersey; 1992.
11. International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), <http://www.itu.int>
 - a. ITU-T Recommendation G.652, *Characteristics of Single-mode Optical Fiber*, 1993.
 - b. ITU-T Recommendation G.655, *Characteristics of Dispersion Shifted Single-mode Optical Fiber*, 1993.
 - c. ITU-T Recommendation G.655, *Characteristics of Non-zeroDispersion Shifted Single-mode Optical Fiber*, 1996.
12. Gowar, John; *Optical Communication Systems*; 1st edition; Prentice Hall; India;1987.
13. Astuti, Retno First; *Studi Perencanaan Jaringan Komunikasi Optik dengan Teknik DWDM di PT. Caltex*; Tugas Akhir; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS; 2000.
14. ----; *FTP 2000 PT.Telkom Tbk*; Juni 2000.

Lampiran A

Metro Surabaya WDM Transport Network



OPTICAL SPECIFICATIONS

Attenuation (cabled)

Attenuation @ 1550nm	≤ 0.25 dB/km
Attenuation @ 1620nm	≤ 0.28 dB/km
Attenuation @ 1383nm	≤ 1.5 dB/km

Attenuation Uniformity

No point discontinuity greater than 0.1 dB at 1550nm

Wavelength vs. Attenuation

Maximum attenuation change over the window.

Wavelength (nm)	Attenuation (dB/km)
1525-1550	≤ 0.03
1550-1575	≤ 0.03
1550-1620	≤ 0.05

Wavelength vs. Dispersion

Wavelength (nm)	Dispersion (ps/nm ² ·km)
1440	> 0.1
1530-1565	5.5 - 10.0
1565-1620	7.5 - 13.8

Attenuation with Bending

100 turns, 60mm diameter @ 1550 & 1620nm:	≤ 0.05 dB
1 turn, 32mm diameter @ 1550 & 1620nm:	≤ 0.5 dB

Wavelength

Cutoff Wavelength (cabled)	≤ 1300nm
Zero Dispersion Wavelength	< 1440nm

PMD (cabled)

PMD Link Design Value:	≤ 0.08ps/√km*
------------------------	---------------

DIMENSIONAL SPECIFICATIONS

Mode Field Diameter @ 1550nm	9.2±0.5µm
Fiber Outside Diameter:	125.0±1.0µm
Fiber Non-Circularity:	< 1.0%
Colored Coating Outside Diameter:	242±7µm
Colored Coating/Clad Concentricity Error:	≤ 12µm
Fiber Curl (radius):	> 4 meters

TeraLight™ is fully compliant with ITU G.655 and IEC 60793 - 2

*Calculated according to IEC SCB6A, WG1 method 1, 1997 (Q=0.1%, N=20). PMD link design value provides a statistical upper limit for PMD over concatenated fibers.

Cable specifications apply to Alcatel manufactured cables and are tested or characterized in compliance to international standards.

Only Cabled TeraLight Fiber is available in the USA. Alcatel reserves the right to change specifications without prior notice.

Rev. 4, Oct. 01

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Proof Test of AFC™ ColorLock™ Coated

The entire length is subjected to a tensile proof stress > 100 Kpsi (0.7 GN/m²); 1% strain equivalent

Tensile Strength

Dynamic Tensile Strength (0.5 meter gauge length):
Aged* & Unaged: median ≥ 550 Kpsi (3.8GN/m²)

Dynamic and Static Fatigue

Dynamic Fatigue, Tensile: N_d=20 unaged and aged*
Dynamic Fatigue, 2 Point Bend: N_d=20 unaged and aged*
Static Fatigue: N_s ≥ 20 aged*

Coating Strip Force

Coating Strip Force: 2.0lbf (8.9N) max, 0.3 lbf (1.3N) min.
23°C, 0°C, and 45°C
Aged: 30 days at 85°C and 85% relative humidity
14 days water immersion at 23°C
Wasp spray exposure (Telcardia Spec)

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Induced Attenuation Change @ 1550nm	(dB/km)
Temperature Cycling Performance, -60°C to 85°C	≤ 0.05
Temperature Humidity Cycling, -10°C to 85°C, 4-98%RH:	≤ 0.05
Water Immersion, 23°C:	≤ 0.05
Heat Aging, 85°C:	≤ 0.05

TYPICAL FIBER CHARACTERIZATION VALUES

Attenuation @ 1550nm:	0.205 dB/km
Attenuation @ 1620nm:	0.22 dB/km
Effective Area:	63µm ²
Nominal Dispersion Slope @ 1550nm:	0.058 ps/nm ² ·km
Effective Group Index @ 1550nm:	1.4692
Dynamic Tensile Strength (Aged*): (0.5m gauge length)	median 750 Kpsi (5.26GN/m ²)
Dynamic Fatigue (Aged*):	N _d =22
Static Fatigue:	N _s ≥ 25 aged*
Dispersion @ 1550nm:	8.0 ps/nm ² ·km
Dispersion @ 1620nm:	10.9 ps/nm ² ·km

*Aged for 30 days at 85°C, 85% relative humidity

For additional information visit Alcatel online or call your nearest Optical Fiber Sales Representative.

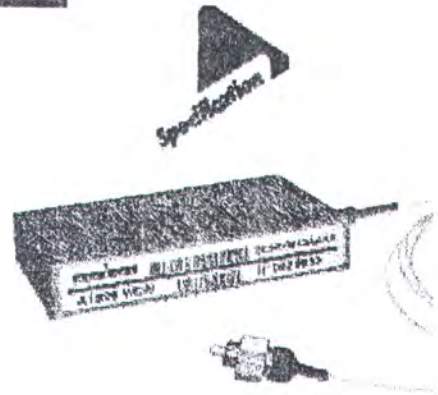
www.alcatel.com/opticalfiber

Brazil.....	+55 11 3068 9993
France	+33 1 55 51 51 51
France (HQ).....	+33 1 39 19 12 00
Germany.....	+49 2166 27 2164
India.....	+91 11 335 9650
Spain.....	+34 942 247 111
UK.....	+44 1633 413 600
North America.....	+1 828 459 9787 800 879 9862



ARCHITECTS OF AN INTERNET WORLD

Alcatel 1926 SDH STM-16 / OC-48 SDH / SONET integrated modules Compact High Power DWDM Transmitter



Description

These transmitters are intended to be used in Dense Wavelength Division Multiplexed (DWDM) at SDH and SONET bit rates. The modules are housed in a space-saving 24-pin package, providing the same electrical access for overall DWDM applications. These transmitter modules contain an in-house cooled DFB laser with a laser driver and temperature control loop. Selectable functions are provided as wavelength selection and reference clock for retiming. The Alcatel 1926 SDH family is a range of transmitter and receiver modules, providing convenient and flexible optical interfaces for SDH / SONET systems operating from 100 Mbit/s to 2.7 Gbit/s and exceeding the applicable ITU-T G.957, ITU-T G.783, ITU-T G.691, ITU-T G.692 and Telcordia GR-253-CORE standards. Upward compatibility is guaranteed between Alcatel 1926 SDH single channel and Alcatel 1926 SDH WDM multi-channel modules.

Features

- * New International Standard
- * Multisource Optical Interfaces
- * Upward compatibility with the different features
- * DWDM Transmitter for Long-Haul 1 800 ps/nm (> 90 km)
- * From 100 Mbit/s to 2.7 Gbit/s (FEC) bit rate
- * Operating at 1.5 μm wavelength
- * Full performance in operating case temperature from -5 to + 70 °C
- * Space-saving package 37 cm²
- * Alcatel Reliability and Qualification Program for built in quality

- * High optical output power
10 mW typical
- * 2 wavelengths selectable ITU-T G.692;
100 GHz grid ($\pm 0.1\text{nm}$)
- * Clocked or Non-Clocked mode selectable
- * Ultra low jitter generation
- * Digital laser degraded alarm
- * Temperature Deviation Alarm
- * Monitoring for back facet PD current
- * Power supplies: + 5 V and + 3.3 V
- * Power consumption: 3 W typical

Applications

Used in transmission systems for Long Haul, Metro, Enterprise and Access markets, the Alcatel 1900 SDH family operates at SONET OC-48 and OC-192 rates as well as at ITU-T SDH rates of STM-16 and STM-64. Covering all types of SDH / SONET optical interfaces (tributaries and aggregates) the Alcatel 1900 SDH modules are suitable for line systems, local loop systems, Add Drop Multiplexers and digital cross-connects as well as ATM systems.

As part of the global Alcatel 1900 SDH family, the Alcatel 1926 SDH WDM high optical power module is the first version for all types of DWDM STM-16 (Long-Haul and Ultra-Long-Haul) and DWDM OC-48 (Long-Reach and Ultra-Long-Reach) optical interfaces. These modules ensure ease of use and offer new flexibility to system designers.

Contents

Description.....	1
Features.....	1
Applications.....	1
Absolute Maximum Ratings.....	2
Optical Characteristics.....	2
Electrical characteristics.....	3
Pin out.....	4
Mechanical details.....	4
I2C COMMUNICATION PROTOCOL.....	4
Pin description.....	4
Qualification and Reliability.....	5
Device marking.....	5
Shipment packing.....	5
Deliverable data.....	5
Laser Safety information.....	5
Handling.....	5
Ordering information.....	6



Absolute Maximum Ratings

Exposing the device to stresses above those listed in absolute maximum rating could cause permanent damage. The device is not meant to operate under conditions outside the limits described in the operational sections of this specification. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may adversely affect device reliability.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Storage temperature	Tstg	-40	85	°C
Operating temperature	Top	-5	70	°C
Soldering temperature (10 seconds maximum)			250	°C
Axial pull force on fiber	10 N coaxial direction with fiber feed trough for 10 second.			
Fiber bend radius from package	30 mm (1.2 in.) minimum.			
Positive supply voltage	V _{CC}	-0.3	+6	V
TEC supply voltage	V _{TEC}	-0.3	+3.5	V
HF single ended input voltage	V _{in}		2	V _{pp}
Control input voltage		-0.3	VCC	V
Alarm output voltage		-0.3	VCC	V
Alarm output current		-0.5	+20	mA

Optical Characteristics

Minimum and maximum parameters are specified End-of-Life within the overall relevant operating temperature range unless otherwise stated.

Typical values are referenced to +25 °C, nominal power supply, beginning of life.

Optical characteristics are guaranteed with up to -24dB Line optical return loss.

Parameter	Test conditions	Sym	Min	Typ	Max	Unit
Optical source type			Direct Modulated Laser			
Dispersion	Note 1		1800			ps/nm
Average optical output power	Operating	P _{AVG}	6	8	9	dBm
Center wavelength range	See Ordering Information part	λ _c	1528.77		1563.86	nm
Spectral width	Under modulation @ -20dB	Δλ		0.3	0.6	nm
Wavelength deviation over temperature	BOL (Note 2)	Δλ _T	-50		50	pm
Wavelength deviation aging	EOL (Note 2)	Δλ _{EOL}	-100		100	pm
Side Mode Suppression Ratio		SMSR	30			dB
Dispersion penalty at BER 10 ⁻¹⁰	1800ps/nm	ΔS			2	dB
Shutdown optical power	idle (Note 3)	P _{idle}			-40	dBm
Extinction ratio	Note 4	E _r	8.2			dB
Eye opening	According to ITU-T Rec. G957, FIGURE 2					
	Pigtail characteristics					
Pigtail length	end of body to the end of the connector		890		1090	mm
			35		43	in.
Fiber type	According to ITU-T G652, Single mode fiber, tight buffer (ϕ=900 μm)					
Connector type	FC/PC or SC/PC or MU					

Note 1 : Based on ITU-T G.692 section 6.4.2.

Note 2 : Limits are based on Telcordia 2918 section 7.

Note 3 : Measured at the connector interface.

Note 4 : $E_r = 10 \cdot \log \left(\frac{P(1)}{P(0)} \right)$ where P(1) is the power emitted during a light on state and P(0) is the power emitted during a light off state on the fiber.



Alcatel 1901 RBF

WDM Fiber Bragg Grating

Reflective Band Pass Filter

Description

The Alcatel 1901 RBF can be used to select and isolate the different wavelengths of the ITU grid for 25 to 100GHz channel spacing and is building block for multi-wavelength systems in WDM applications (conventional configuration uses with optical circulator).

Alcatel Optronics offers FBGs in a temperature compensated package that reduces thermally induced wavelength shifts by a factor greater than 10 (0.05nm over the full operating temperature range). These exceptionally stable gratings are ideal for telecommunication systems operating in demanding environmental conditions.

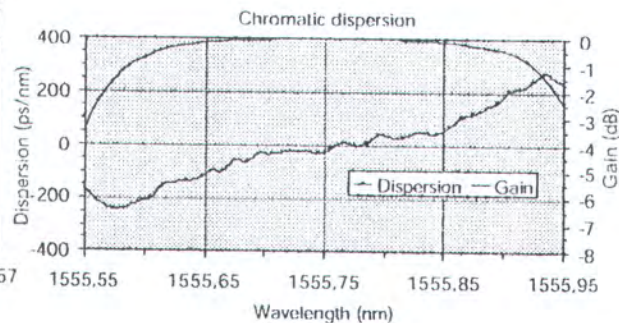
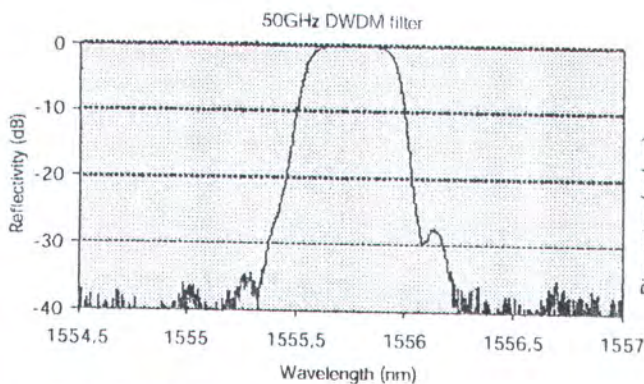
Alcatel Optronics provides a flexible product and manufacturing capability, which enables rapid design to production cycle times. Through the use of proprietary fiber, custom-grating designs to meet specific customer applications are available on request.

Features

- Flat top response with sharp edges (up to 30dB channel isolation)
- All fiber composition
- Customized versions

Applications

- Filtering applications (transmission, reception,...)
- WDM Mux/Demux applications
- Integration into OADM devices



Specifications

Standard parameters	Symbol	Value	Unit	Comments
Center Wavelength ⁽¹⁾		1525-1605	nm	
FWHM		25-100	GHz	
Out of band isolation		30	dB	
Insertion Loss	IL	<0.1	dB	
Cladding mode losses		0.2-0.5	dB	
Polarization Dependent Loss	PDL	<0.05	dB	
Reflectivity		90-99	%	
In-band chromatic dispersion		50-100	ps/nm	
Temperature sensitivity		<1	pm/°C	
Fiber Type				Single mode fiber
Pigtail length		1	m	
Size (length X diameter)		55 X 5.25	mm	A-thermal package

(1) Extended wavelength ranges are available upon request



Alcatel 1916 SDH
SDH / SONET integrated modules
Receiver STM-16 / OC-48 for D-WDM



Description

These integrated modules are intended for use Dense Wavelength Division Multiplex (D-WDM) of SDH and SONET bit rates with a lot of noise on the optical links with several EDFAs. The receiver contains an in-house III-V APD (Avalanche Photodiode) detector with preamplifier in a front-end module, a main amplifier ASIC, a clock and data recovery function with accurate decision circuit. The modules are housed in a space-saving 30-pin package, providing the same electrical access for overall applications. The Alcatel 1916 SDH family is a range of transmitter and receiver modules, providing convenient and flexible optical interfaces for SDH / SONET systems operating at 2.488 Gbit/s & 2.666 Gbit/s and exceeds the applicable ITU-T G.957, ITU-T G.783, ITU-T G.691 and Bellcore GR-253 standards.

Features

- D-WDM receivers for Ultra-Long-Haul :
6 400 ps/nm (320 km)
12 800 ps/nm (640 km)
- Bit rate 2.488 Gbit/s & 2.666 Gbit/s (FEC)
- Operate with high noise :
up to S/N = 14 dB / 0.1 nm at 2.666 Gbit/s (FEC)
up to S/N = 19 dB / 0.1 nm at 2.488 Gbit/s
- Operating 1.5 μm wavelength
- Full performance in operating case temperature from 0 to + 70 °C
- Low power consumption
- Small size less than 100 cm²

- Data Reshaping
- Clock recovery & Data Retiming
- Convenient digital alarms to minimise external circuitry
- Analog information for flexible integration
- Common pin-out for all modules
- Alcatel Reliability and Qualification Program for built in quality

Applications

Used in transmission systems from medium to high-speed for intermediate-reach to long-reach applications, the Alcatel 1900 SDH family operates at SONET OC-3, OC-12 and OC-48 rates as well as at ITU-T SDH rates of STM-1, STM-4 and STM-16. Covering all types of SDH / SONET optical interfaces (tributaries and aggregates) the Alcatel 1900 SDH modules are suitable for line systems, Add Drop Multiplexers and digital cross-connects as well as ATM switches.

As part of the Alcatel 1900 SDH family, the Alcatel 1916 SDH module is suited for all types of STM-16 (Short-Haul, Long-Haul, Very-Long-Haul and Ultra-Long-Haul) and OC-48 (Intermediate-Reach, Long-Reach and Ultra-Long-Reach) optical interfaces. These modules ensure ease of use and offer new flexibility to system designers.



Optical characteristics

Parameter	Condition	Symbol	Y-16.2 WDM			Z-16.2 WDM			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Dispersion	Note 1		6400			12800			ps/nm
Center wavelength		λ_c	1530		1560	1530		1560	nm
Receiver sensitivity	Note 2	R_{csf}	-32		-28	-32		-28	dBm
	Note 3		-31		-27	-31		-27	
Receiver overload	Note 2	R_{ovt}	-8			-8			dBm
	Note 3		-8			-8			dBm
BER floor	Note 4	BER_{FB}	10^{-7}		10^{-5}	10^{-7}		10^{-5}	

Note 1: WDM transmitter with ER min > 12 dB with chirp compatible with the dispersion and fiber, with +7 dBm of all EDFAs output power and optical filter with equivalent noise bandwidth < 1.6nm.

Note 2: S/N = 19 dB / 0.1 nm; BER = 10^{-12} back to back.

Note 3: S/N = 19 dB / 0.1 nm; BER = 10^{-12} .

Note 4: S/N = 14 dB / 0.1 nm; BER = 10^{-5} at 2.646 Gbit/s bit rate with FEC function.

All parameters are specified End-of-Life within the overall relevant operating temperature range.

The typical values are referenced to +25 °C, nominal power supply, beginning of life.

Electrical characteristics

Parameter	Condition	Symbol	Min	Typical	Max	Unit
Positive supply voltage		V_{CC}	+4.75	5	+5.25	V
Positive supply current		I_{CC}		+380	+510	μ A
Negative supply voltage		V_{EE}	-5.45	-5.2	-4.94	V
Negative supply current		I_{EE}	-400	-340		mA
Power consumption		P_c			4.9	W
ECL output data & clock voltage	Note 5	DV	0.5	0.7	0.9	V _{isp}
Logic high level output	$I_{OH} = -150 \mu$ A	V_{OH}	3.5	4.7		V
Logic low level output	$I_{OL} < 4$ mA	V_{OL}		0.2	0.44	V
Alarm activation level	Note 6	A_{ac}			10^{-3}	
Alarm deactivation level	Note 6	A_{dc}			10^{-4}	
Alarm activation time		T_{ac}			95	μ s
Alarm deactivation time		T_{dc}			50	ms

Note 5: Internally AC coupled and externally loaded by 50 Ω .

Note 6: Input power sensitivity is considered at connector interface and related to BER with S/N > 19 dB / 0.1 nm.

All parameters are specified End-of-Life within the overall relevant operating temperature range. The typical values are referenced to +25 °C, nominal power supply, beginning of life.

Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Maximum optical input power		-5		dBm
Positive supply voltage	V_{CC}	0	+6	V
Negative supply voltage	V_{EE}	-6	0	V
Output current		-50	0	mA _{op}
Alarm output voltage		0	V_{CC}	V
Alarm output current		-0.5	+20	mA
Storage temperature	TSTG	-25	+70	°C
Storage 72h max		-40	+70	
Operating temperature	TOP	0	+70	°C



LISTING PROGRAM PERHITUNGAN DISPERSI DAN BIT RATE

```
unit Unit1;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Series, TeEngine, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, StdCtrls, math;

type
  TForm1 = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    Label1: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Label2: TLabel;
    Edit2: TEdit;
    GroupBox2: TGroupBox;
    RadioButton1: TRadioButton;
    Label3: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Label4: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    RadioButton2: TRadioButton;
    GroupBox3: TGroupBox;
    Label6: TLabel;
    Edit6: TEdit;
    ScrollBar1: TScrollBar;
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    Series2: TPointSeries;
    Label7: TLabel;
    Edit7: TEdit;
    Label8: TLabel;
    Edit8: TEdit;
    Label9: TLabel;
    Edit9: TEdit;
    Label5: TLabel;
    Edit5: TEdit;
    Label10: TLabel;
    Edit10: TEdit;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Edit11: TEdit;
    Edit12: TEdit;
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
    procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
    procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
    procedure ScrollBar1Change(Sender: TObject);
```



```

procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Edit9Change(Sender: TObject);
procedure Edit10Change(Sender: TObject);
procedure Edit11Change(Sender: TObject);
procedure Edit12Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  procedure perhitungan;
  procedure perhitungan1;
  procedure lebar_dispersi;
  procedure lebar_output;
  procedure bit_rate;
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;
  point:boolean;
implementation
{$R *.DFM}

procedure TForm1.perhitungan;
var D,So,l,lo:real;
    ba,bb:word;
begin
  if point=true then
    begin
      radiobutton1.checked:=false;
      scrollbar1.Position:=round(strtfloat(edit9.text))-6-strtoint(edit3.text);
      radiobutton2.Checked:=true;
    end;
  chart1.BottomAxis.Minimum:=0;
  series1.Clear;
  series2.Clear;
  So:=strtfloat(edit1.text);
  if radiobutton1.Checked=false then
    begin
      scrollbar1.Enabled:=true;
      scrollbar1.Max:=strtoint(edit4.text)-10-strtoint(edit3.text);
      bb:=Scrollbar1.Position+strtoint(edit3.text);
      ba:=bb+5;
      chart1.BottomAxis.Maximum:=ba;
      chart1.BottomAxis.Minimum:=bb;
    end
  else
    begin
      scrollbar1.Enabled:=false;
      bb:=strtoint(edit3.text);
      ba:=strtoint(edit4.text);
    end
  end;
end;

```



```

chart1.BottomAxis.Maximum:=ba;
chart1.BottomAxis.Minimum:=bb;
end;
l:=bb;
while l<ba do
begin
  if {(l>1530)and}(l<1540) then lo:=strtofloat(edit2.text)
  else if (l>1539) and (l<1551) then lo:=strtofloat(edit8.text)
  else if l=1530 then lo:=1424
  else if l=1550 then lo:=1388
  else if l=1620 then lo:=1386
  else lo:=strtofloat(edit7.text);
  D:= So/4*(1-(power(lo,4)/power(l,3)));
  series1.AddXY(l,D);
  l:=l+0.2;
end;
chart1.LeftAxis.Increment:=(chart1.LeftAxis.Maximum-chart1.LeftAxis.Minimum)/15;
perhitungan1;
point:=false;
end;

procedure TForm1.perhitungan1;
var l,lo,D,So:real;
begin
  So:=strtofloat(edit1.text);
  l:=strtofloat(edit9.text);
  if {(l>1530)and}(l<1540)then lo:=strtofloat(edit2.text)
  else if (1539<l) and (l<1551) then lo:= strtofloat(edit8.text)
  else if l=1530 then lo:=1424
  else if l=1550 then lo:=1388
  else if l=1620 then lo:=1386
  else lo:=strtofloat(edit7.text);
  D:=So/4*(1-(power(lo,4)/power(l,3)));
  edit6.text:=floattostr(D);
  series2.AddXY(l,D);
  chart1.LeftAxis.Increment:=(chart1.LeftAxis.Maximum-chart1.LeftAxis.Minimum)/15;
end;
procedure TForm1.lebar_dispersi;
var D,ld,ls:real;
begin
  D:=strtofloat(edit6.text);
  ls:=strtofloat(edit5.text);
  ld:=ls*D;
  edit10.text:=floattostr(ld);
end;

procedure TForm1.lebar_output;
var ld,lk,lk1,lo:real;
begin
  lo:=100;

```

```
ld:=strtofloat(edit10.text);  
lk1:= (power(lo,2)+power(ld,2));  
lk:=sqrt(lk1);  
edit11.text:=floattostr(lk);  
end;
```

```
procedure TForm1.bit_rate;  
var BR, lk:real;  
begin  
lk:=strtofloat(edit11.text);  
BR:=1000/(4*lk);  
edit12.text:=floattostr(BR);  
end;
```

```
procedure TForm1.RadioButton1Click(Sender: TObject);  
begin  
radiobutton1.Checked:=true;  
radiobutton2.Checked:=false;  
end;
```

```
procedure TForm1.RadioButton2Click(Sender: TObject);  
begin  
radiobutton2.Checked:=true;  
radiobutton1.Checked:=false;  
end;
```

```
procedure TForm1.ScrollBar1Change(Sender: TObject);  
begin  
perhitungan;  
end;
```

```
procedure TForm1.Edit9Change(Sender: TObject);  
begin  
point:=true;  
perhitungan;  
end;
```

```
procedure TForm1.Edit5Change(Sender: TObject);  
begin  
point:=true;  
perhitungan;  
end;
```

```
procedure TForm1.Edit10Change(Sender: TObject);  
begin  
lebar_dispersi;  
end;
```

```
procedure TForm1.Edit11Change(Sender: TObject);  
begin  
lebar_output;  
end;
```

```
procedure TForm1.Edit12Change(Sender: TObject);  
begin  
bit_rate;  
end;
```

```
procedure TForm1.FormActivate(Sender: TObject);  
begin  
perhitungan;  
perhitungan1;  
lebar_dispersi;  
lebar_output;  
bit_rate;  
end;  
end.
```