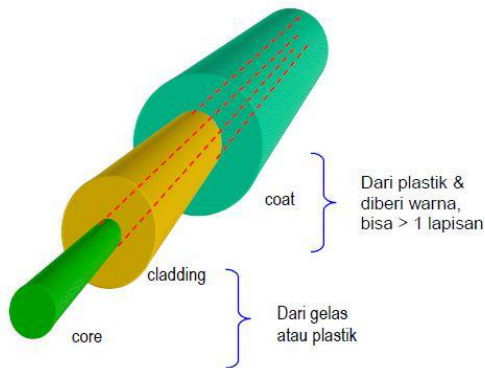


BAB II DASAR TEORI

1.1 Serat Optik^[1]

Serat optik merupakan helaian optik murni yang sangat tipis dan dapat membawa data informasi digital untuk jarak yang jauh. Serat optik tersusun di dalam kabel optik yang berfungsi untuk mentransmisikan atau mengirimkan cahaya, hampir tanpa kerugian. Cahaya yang berhasil dikirimkan dari satu tempat ke tempat lain hanya mengalami kehilangan sinyal dalam jumlah yang sangat sedikit. Karena bukan penghantar listrik, kabel serat optik kebal terhadap interferensi listrik.



Gambar 1.1 Serat Optik^[2]

Struktur pada serat optik, seperti yang ditampilkan pada gambar 2.1 terdiri dari:

1. *Core*

Bagian *core* atau inti kabel, bagian ini berada di tengah serat yang digunakan sebagai jalan cahaya. *Core* terbuat dari bahan kaca (*glass*) dengan diameter antara $2\mu\text{m}$ - $125\mu\text{m}$.

2. *Cladding*

Cladding atau selubung dari *core* memiliki fungsi yaitu sebagai cermin yang dapat memantulkan cahaya agar dapat merambat ke dalam *core* serat optik. *Cladding* terbuat dari bahan *glass* dengan diameter antara $5\mu\text{m}$ - $250\mu\text{m}$. Indeks bias pada *cladding* lebih kecil dari pada indeks bias *core*, hubungan antara indeks bias pada *core*

dan *cladding* mempengaruhi perambatan cahaya pada *core* yang berpengaruh terhadap besarnya nilai sudut kritis.

3. *Coating*

Coating atau jaket pada serat optik berfungsi sebagai pelindung mekanis serat optik dari kerusakan. Pelindung ini terbuat dari bahan plastik dan diberi warna sebagai identitas kode warna.

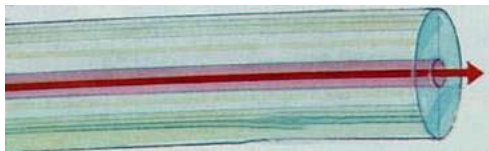
1.2 Jenis Serat Optik^[2]

Berdasarkan mode yang dirambatkan pada serat optik dibedakan ke dalam dua jenis optik yang berbeda, sebagai berikut:

1. *Single mode fiber*

Single mode fibers merupakan serat optik dengan *core* yang sangat kecil yaitu sekitar 8,3 mikron dan memiliki diameter inti yang sangat sempit mendekati dengan panjang gelombang, sehingga cahaya yang masuk ke dalam serat optik tidak terpantul ke dinding *cladding*. Bagian inti pada serat optik ini terbuat dari bahan kaca *silika*.

Gambar 2.2 menampilkan perambatan gelombang pada *single mode fibers*, cahaya yang merambat secara paralel di tengah meminimalkan terjadinya dispersi pulsa. Pada *single mode fiber*, untuk mendapatkan performa yang baik yaitu dengan ukuran *cladding* sekitar 15 kali dari ukuran inti atau sekitar 125 mikron. Serat optik jenis *single mode* ini memiliki pelemahan sekitar kurang dari 0,35 dB/km, sehingga memungkinkan transmisi data dengan kecepatan yang sangat tinggi dari jarak yang sangat jauh. Standar terbaru yang digunakan pada kabel ini adalah standar ITU-T G.652D, dan G.657.



Gambar 1.2 Perambatan Gelombang *Single-Mode Fibers*^[2]

2. *Multi mode fibers*

Multi mode fibers memiliki diameter *core* cukup besar, hal ini menyebabkan *laser* yang ada didalamnya akan terpantul di dinding *cladding* sehingga menyebabkan berkurangnya nilai *bandwidth* dari serat optik jenis *multi mode*.

Gambar 2.3 menampilkan perambatan gelombang yang terjadi pada *multi mode fibers*. Serat optik jenis ini digunakan untuk mentransmisikan banyak sinyal dalam setiap serat dan sering digunakan pada jaringan komputer dan *Local Area Network (LAN)*.



Gambar 1.3 Perambatan Gelombang *Multi Mode Fibers*^[2]

1.3 *Fiber To The Home (FTTH)*^[3]

Fiber to the Home (FTTH) merupakan suatu sistem transmisi sinyal optik dari penyedia layanan (*provider*) ke pengguna dengan penghantar yang digunakan berupa serat optik. Perkembangan teknologi ini berkaitan dengan perkembangan teknologi serat optik yang dapat menggantikan pada penggunaan kabel tembaga. Perkembangan teknologi ini di dorong dengan adanya layanan yang di kenal sebagai istilah *Triple Play Services* yaitu sebuah layanan dimana pelanggan dapat mengakses internet dengan cepat, suara (jaringan telepon, PSTN) dan *video* (TV Kabel) dalam satu infrastruktur. Gambar 2.4 merupakan infrastruktur jaringan FTTH secara umum dari sisi *transmitter (Optical Line Terminal /OLT)* hingga *receiver (Optical Network Unit/ONU)*.



Gambar 1.4 Gambaran Umum FTTH^[3]

Terdapat batasan maksimum jarak pada perancangan jaringan FTTH supaya layanan yang di terima oleh pelanggan tetap dapat di terima dengan baik yaitu 20 km. Jarak tersebut terukur dari sisi penyedia layanan yang terdapat di kantor utama atau disebut juga dengan *central office (CO)* , pada CO terdapat peralatan *Optical Line Terminal (OLT)* yang kemudian dihubungkan kepada ONT yang ditempatkan di rumah-rumah pelanggan.

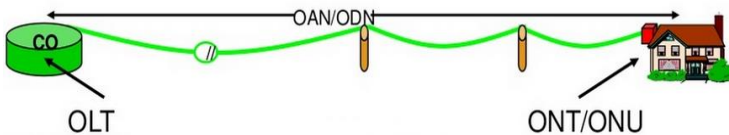
1.4 Gigabit Passive Optical Network (GPON)^[4]

GPON adalah teknologi pengembangan dari BPON yang dapat mengirimkan berbagai layanan melalui satu *core* serat optik. Standar Teknologi GPON mengacu pada ITU-T G.984. Tabel 2.1 merupakan spesifikasi teknologi GPON.

Tabel 2.1 Spesifikasi Teknologi GPON^[4]

Parameter	GPON
<i>Downstream Bandwidth</i>	2,4 Gbps
<i>Upstream Bandwidth</i>	1,2 Gbps
<i>MAC Layer Protocol</i>	<i>Flexible GPON Encapsulations Method (GEM) & ATM</i>
<i>Protocol Efisiensi</i>	High (>90%)
<i>Optical Reach</i>	20 km dengan splitter 1:32
<i>Standards Control</i>	FSAN/Operator (ITU-T G.984)

Konfigurasi jaringan GPON terdiri dari 3 bagian yaitu OLT, ODN, dan ONT. Gambar 2.5 merupakan gambaran sederhana dari teknologi GPON.



Gambar 1.5 Konfigurasi Jaringan GPON^[4]

Jaringan dengan teknologi GPON tersusun dari perangkat utama yang dinamakan OLT (*Optical Line Terminal*) yang terpasang di sentral *office*. Serta perangkat ODN (*Optical Distribution Network*). Perangkat ODC, ODP, Splitter, konektor dll termasuk perangkat yang ada didalam perangkat ODN. GPON mentransmisikan layanan *triple play* yaitu *voice*, *video*, dan data.

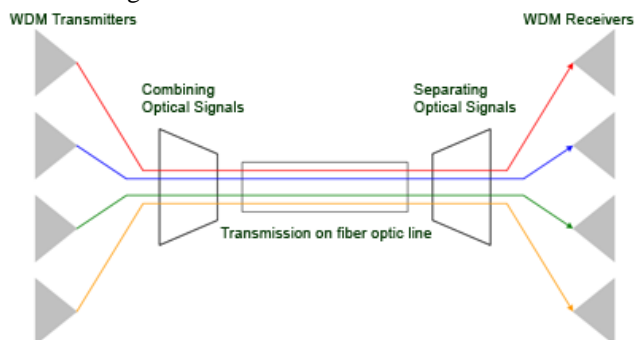
1.5 Wavelength Division Multiplexing (WDM)^[5]

WDM adalah suatu teknologi transmisi dalam sistem komunikasi serat optik yang memanfaatkan cahaya dari serat optik dengan panjang gelombang yang berbeda untuk ditransmisikan secara simultan melalui serat optik tunggal. Jumlah panjang gelombang yang

dapat ditransmisikan dalam jaringan pada suatu serat terus berkembang (4, 8, 16, 32 dan seterusnya), jenis serat yang direkomendasikan oleh ITU-T (*International Telecommunication Union*) adalah G.650 – G.655 dan yang sering digunakan saat ini adalah jenis serat G.655. Jenis serat ini sering mempunyai karakteristik umum *Non Zero Dispersion Shifted Fibre (NZDSF)* adalah serat yang memiliki koefisien dispersi kromatik lebih rendah (*dispersi optimal*). Keuntungan dari penggunaan teknologi WDM ini adalah kapasitas kanal bisa bertambah pada sistem komunikasi serat optik yang sudah ada tanpa perlu menginstallasi penggunaan serat yang baru sehingga secara signifikan akan menghemat biaya pada installasi, tapi secara signifikan akan menambah kapasitas kanal.

Secara umum terdapat dua jenis teknologi WDM yaitu *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* dan *Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)* perbedaan antara DWDM dan CWDM adalah dari spasi panjang gelombangnya dimana spasi panjang gelombang dari DWDM adalah antara 0,4 nm sampai 1,2 nm, sedangkan untuk CWDM spasi yang digunakan adalah berkisar diantara 20 nm. Sehingga DWDM akan lebih menghemat penggunaan spektral panjang gelombang dibanding CWDM. DWDM juga biasa digunakan untuk jaringan *backbone* atau *longhaul* sedangkan CWDM biasanya digunakan pada daerah metro atau jaringan akses. DWDM memuat banyak kanal optik.

Melalui pengiriman isyarat optik pada panjang gelombang yang berbeda, memungkinkan sebuah serat optik mengerjakan pengiriman banyak isyarat optik, sehingga kapasitas informasi yang dikirimkan sangat besar.



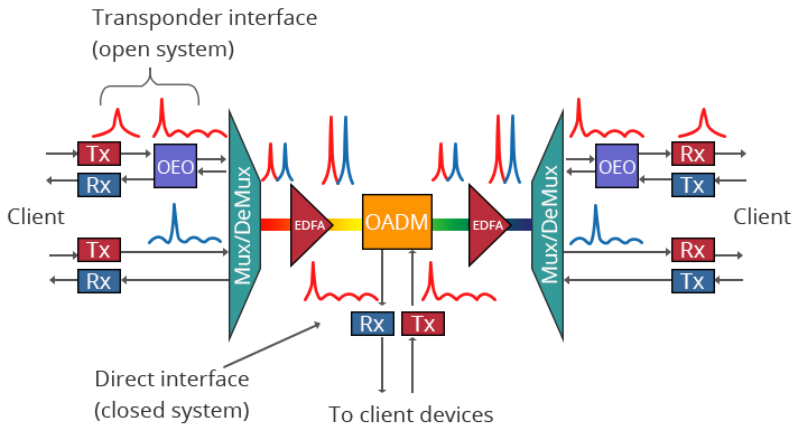
Gambar 1.6 Sistem WDM^[5]

Pada gambar 2.6 menampilkan bagaimana 4 panjang gelombang yang berbeda yang diintegrasikan dengan warna

yang berbeda, lalu digabung oleh perangkat *combining optical signals* atau dikenal sebagai *multiplexer* sehingga dalam satu serat akan dikirimkan beberapa panjang gelombang sekaligus dalam waktu yang bersamaan. Pada blok *separating optical signals* atau blok *demultiplexer* dipisahkan kembali panjang gelombang yang diinginkan, lalu selanjutnya akan dideteksi oleh *photodetector*.

1.6 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)^[6]

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu bentuk teknologi *multiplexing* dalam sistem transmisi jaringan optik yang umumnya digunakan untuk transmisi dengan jarak yang jauh antara satu titik terminasi (terminal) dengan titik terminasi lainnya. Jarak tersebut bervariasi antara ratusan hingga ribuan kilometer jauhnya.



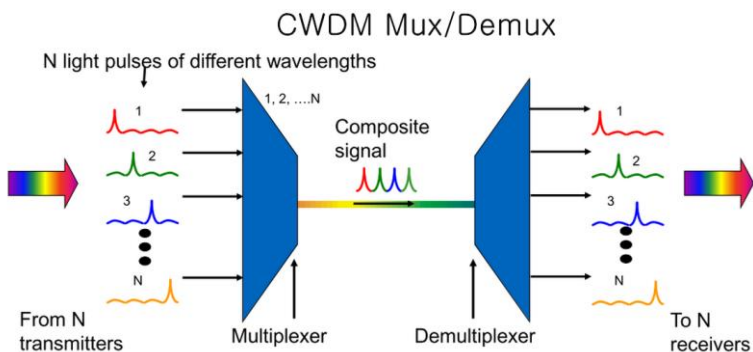
Gambar 1.7 Teknologi DWDM^[6]

Pada dasarnya, sistem DWDM terdiri dari sekumpulan *transmitter* sebagai sumber optik yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinyal tersebut kemudian mengalami proses *multiplexing* dan ditransmisikan secara simultan melalui medium serat optik yang sama. Di sisi *receiver*, sinyal tersebut kemudian di *demultiplexing* kembali dan dipisahkan berdasarkan panjang gelombang masing-masing. Teknologi DWDM memberikan solusi dari meningkatnya biaya untuk kapasitas yang tinggi serta untuk *switching* dan *routing* pada sistem komunikasi optik. Komponen DWDM seperti yang ditampilkan pada gambar 2.7 adalah:

1. *Wavelength Multiplexer/demultiplexer*, berfungsi untuk memultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang akan ditransmisikan. Sedangkan *demultiplexer* berfungsi sebaliknya.
2. *Optikal add/drop Multiplexer (OADM)*, berfungsi untuk melepas atau menambahkan jumlah lambda yang akan dilewatkan pada serat optik.
3. *Optical Cross Connect (OXC)*, berfungsi untuk melakukan proses *switching* tanpa melakukan proses konversi OEO.
4. *Optical Amplifier (OA)*, berfungsi untuk meningkatkan *gain* sehingga dapat mentransmisikan data pada jarak yang jauh tanpa melakukan perubahan sinyal cahaya menjadi sinyal elektrik terlebih dahulu.

1.7 Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)^[7]

Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) merupakan suatu teknologi *wavelength division multiplexing (WDM)* yang memiliki *channel spacing* lebih lebar dibandingkan dengan teknologi *DWDM*. Berbeda dari teknologi *WDM* lainnya, teknologi *CWDM* ini menggunakan spektrum *band* yang lebih luas, spektrum *band* yang digunakan tidak terbatas pada satu atau dua *band* saja. Selain itu, teknologi *CWDM* dapat juga digunakan pada serat optik jenis *multi mode* atau *single mode* walaupun teknologi *CWDM* memiliki jarak jangkauan sinyal yang lebih pendek dibandingkan dengan teknologi *DWDM*. Teknologi *CWDM* diimplementasikan sebagai pengembangan *transport* data pada proses transmisi untuk mempercepat transfer data dan meningkatkan *bandwidth*.



Gambar 1.8 Konfigurasi CWDM Secara Umum^[7]

Pada gambar 2.8 menampilkan konfigurasi CWDM secara umum, sistem *CWDM* merupakan sekumpulan *transmitter* sebagai sumber optik yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Penggunaan panjang gelombang yang berbeda ini merupakan bentuk sinyal dari berbagai *service* yang disalurkan melalui serat optik. Sebelum disalurkan ke serat optik, sinyal mengalami proses *multiplexing* di *transmitter*. Kemudian, pada sisi *receiver*, sinyal tersebut di *demultiplexing* kembali dan kemudian dipisahkan berdasarkan panjang gelombang masing-masing. Berikut komponen yang terdapat pada jaringan CWDM:

a. Serat

Pada perkembangan jaringan serat metro, teknologi metro CWDM dapat memakai teknologi terbaru serat ITU-T G.652.

b. *Laser*

Pemakaian *Direct Modulated CWDM Lasers* dengan bit rate 2,5 Gbit/s cukup optimal untuk digunakan pada jaringan CWDM. Desain pada CWDM berdasar pada percobaan dan pembuktian teknologi *Distributed Feedback Laser* (DFB laser), teknologi DFB ini memiliki keuntungan yaitu dengan lebar garis yang sempit dengan tekanan sisi yang tinggi, sehingga menimbulkan dispersi yang rendah. Hasilnya *laser* CWDM dapat mentransmisikan 2,5 Gbit/s sejauh 80 km pada serat ITU G.652.

c. *Receiver*

Receiver yang terdapat pada sistem CWDM membutuhkan lebar pita yang lebih besar sehingga dapat menerima semua *bit-rate* dan protokol yang ditetapkan. Bagian *receiver* pada umumnya menggunakan detektor *Positive-Intrinsic-Negative* (PIN) atau *Avalanche Photodiode Detectors* (APDs). Keuntungan detektor PIN dibandingkan APDs adalah rendah biaya dan desainnya lebih sederhana. Keuntungan menggunakan detektor ADP adalah perkembangan sensitivitas *receiver* lebih besar.

1.8 *Multiplexing*^[8]

Multiplexing merupakan sebuah teknik penggabungan beberapa sinyal secara bersama pada suatu saluran transmisi. Pada sisi penerima, pemisahan gabungan sinyal ke tujuan disebut dengan *demultiplexing*. Perangkat yang digunakan pada proses *multiplexing* disebut dengan *Multiplexer* atau istilah lainnya *Transceiver* atau *Mux*.

Perangkat yang digunakan untuk melakukan proses *Demultiplexing* disebut dengan *Demultiplexer* atau istilah lainnya *Demux* seperti yang terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 1.9 *Multiplexing*^[8]

Pada gambar 2.9 merupakan fungsi dari *multiplexing* secara umum. *Mux* mengkombinasikan data dari n *input* dan mentransmisikannya melalui kapasitas data *link* yang tinggi. Pada sisi *Demux* menerima aliran data yang di-*multiplex* dan mengirimkannya ke *line output* yang diminta.

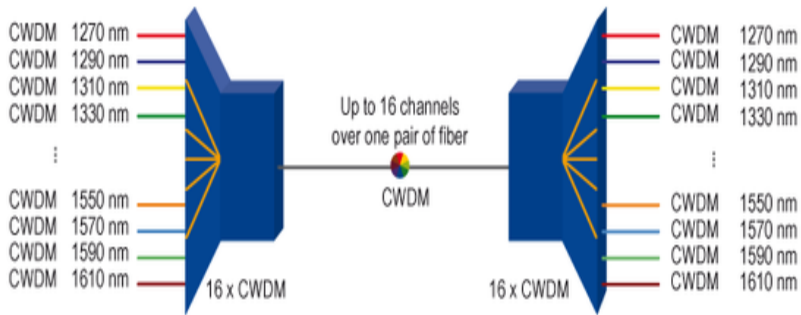
1.9 Panjang Gelombang CWDM^[9]

Teknologi CWDM memiliki *channel* pada spasi antar panjang gelombang yaitu sebesar 20 nm, jika dibandingkan dengan teknologi DWDM yang memiliki spasi antar panjang gelombang yaitu mencapai 0.4 nm. Energi dari *laser* yang dipancarkan oleh teknologi CWDM tersebar ke area yang lebih luas pada panjang gelombang jika dibandingkan dengan energi dari *laser* yang dipancarkan pada teknologi DWDM. Toleransi pada *laser* CWDM kurang lebih sebesar 3 nm, oleh sebab itu dengan presisi *laser* yang rendah teknologi CWDM menggunakan lebih sedikit daya dibandingkan dengan teknologi DWDM. Teknologi CWDM ini tidak dapat menempuh jarak yang jauh karena panjang gelombang yang dimiliki tidak dapat dikuatkan.

Menurut standar ITU-T G.694.2, *channel* yang dapat digunakan oleh teknologi CWDM berkisar antara 1270 nm sampai dengan 1610 nm dengan spasi *channel* sebesar 20 nm. Namun telah direvisi di G.942.2 dengan pusat *channel* sebesar 1 nm, sehingga panjang gelombangnya menjadi 1271 nm sampai dengan 1611 nm.

ITU-T G.694.2 menetapkan 18 *wavelengths* untuk CWDM dengan jalur dari 1271 sampai 1611nm, dengan kecepatan 20 nm.

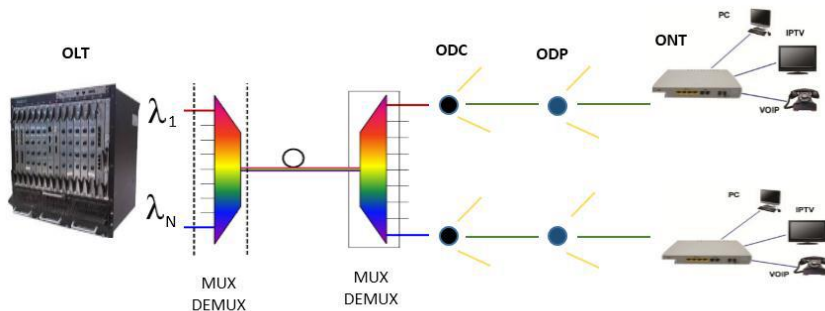
Maka CWDM menggunakan 8 *wavelengths* dengan kapasitas diantara 1471 nm - 1611 nm, dan CWDM menggunakan 4 *wavelengths* dengan kapasitas diantara 1551-1611nm. Gambar 2.10 merupakan gambar blok CWDM secara umum.



Gambar 1.10 Blok Panjang Gelombang CWDM^[9]

1.10 Arsitektur FTTH-CWDM^[10]

Pada perkembangannya teknologi FTTH tidak terlepas dari kemajuan perkembangan teknologi serat optik yang dapat menggantikan penggunaan kabel tembaga dalam menyediakan layanan *triple play*. Transmisi informasi menggunakan teknologi FTTH lebih unggul dari segi instalasi maupun pemeliharaan dibandingkan dengan kabel tembaga. Kelebihan yang dimiliki dari serat optik lainnya adalah pengalokasian *bandwidth* yang digunakan jauh lebih besar dan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan jika dibandingkan dengan kabel tembaga.



Gambar 1.11 Arsitektur FTTH-CWDM^[10]

Komponen jaringan FTTH-CWDM seperti yang ditampilkan pada gambar 2.11 adalah:

a. *Optical Line Terminal (OLT)*

OLT menyediakan *interface* antara *Optical Distribution Network (ODN)* dengan penyedia layanan *triple play*. Pada OLT mengubah sinyal elektrik menjadi optik dan juga sebaliknya, disini OLT juga berfungsi sebagai alat *multiplex*.

b. *Optical Distribution Cabinet (ODC)*

Pada gambar 2.12 merupakan ODC atau yang sering disebut dengan rumah kabel, yaitu suatu perangkat pasif yang diinstalasi di luar STO. Biasanya ODC berada di lapangan dan juga di dalam ruangan yang berfungsi sebagai titik terminasi ujung kabel *feeder* dan kabel distribusi, ODC juga sebagai tempat *splitter*, dan tempat penyambungan.



Gambar 1.12 *Optical Distribution Cabinet*^[11]

c. *Optical Distribution Point (ODP)*

ODP merupakan suatu perangkat pasif yang diinstalasi diluar STO *Indoor* maupun *Outdoor*. Terdapat beberapa tipe ODP yaitu ODP *Aerial* merupakan ODP yang di pasang pada distribusi kabel udara seperti pada gambar 2.13 dan ODP *Pedestal* merupakan ODP yang di pasang pada distribusi kabel bawah tanah. Fungsi ODP adalah sebagai titik terminasi ujung kabel distribusi dan titik tambat awal atau pangkal kabel penanggal, dan juga sebagai tempat splitter dan penyambungan.



Gambar 1.13 ODP Pedestal^[11]

d. *Optical Network Terminal/Unit (ONT/ONU)*

Pada ONT menyediakan *interface* antara jaringan optik dengan pelanggan. Sinyal optik yang ditransmisikan melalui ODN menjadi sinyal elektrik yang diperlukan untuk *service* ke pelanggan. Pada gambar 2.14 merupakan ONT yang diletakkan disisi pelanggan.



Gambar 1.14 ONT^[11]

1.11 *Software Simulasi Optisystem*^[12]

Optisystem adalah sebuah simulator yang berbasis pada pemodelan sistem komunikasi *optic* yang bersifat nyata. *Optisystem* dilengkapi dengan *Graphical User Interface (GUI)* yang menyeluruh yang terdiri dari *project layout*, komponen *netlist*, model komponen dan tampilan grafik. *Library Optisystem* terdiri dari komponen aktif dan pasif yang tergantung kepada parameter *wavelength*.



Gambar 1.15 Software *Optisystem*^[12]

Pada gambar 2.15 menunjukkan tampilan awal *software optisystem*. *Optisystem* merupakan perangkat lunak yang komprehensif yang memungkinkan untuk membuat *design*, menguji, dan mensimulasikan jaringan *optic*. Selain itu, *Optisystem* juga dilengkapi dengan *virtual instrumen*. Sehingga dapat melakukan penelitian tanpa terkendala oleh ketersediaan peralatan.

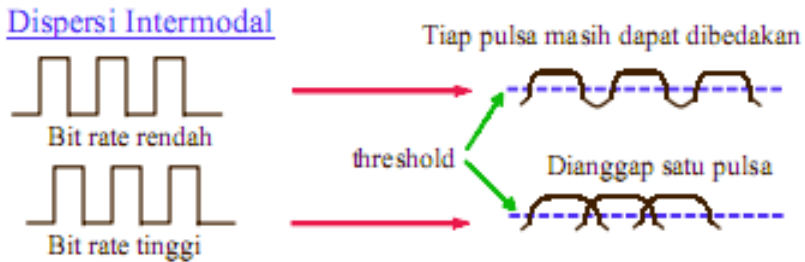
1.12 *Dispersi*^[13]

Dispersi atau disebut juga dengan pelebaran pulsa yang terjadi ketika sinyal merambat ke sepanjang serat optik, *dispersi* dapat disebabkan karena keterbatasan material dan efek linear seperti polarisasi, material dan lainnya. Faktor *dispersi* akan mempengaruhi kualitas sinyal yang akan ditransmisikan pada satu jaringan. Adanya dispersi menyebabkan pulsa-pulsa cahaya akan memuai dan menjadi lebih lebar, sehingga hal ini mengakibatkan pulsa-pulsa tersebut akan saling tumpang tindih satu sama lain. Jenis-jenis dispersi pada serat optik adalah sebagai berikut:

1.12.1 *Dispersi Intermodal*

Dispersi intermodal terjadi karena dimana sumber cahaya masuk ke dalam serat optik *multimode* dan dirambatkan ke dalam beberapa mode. Pada setiap mode terdapat sumber cahaya yang merambat secara sejajar dengan sumbu inti dan ada juga sumber cahaya yang merambat secara zigzag. Dengan demikian jarak yang di tempuh tiap *mode* akan berbeda-beda. *Dispersi intermodal* disebut juga dengan pelebaran pulsa.

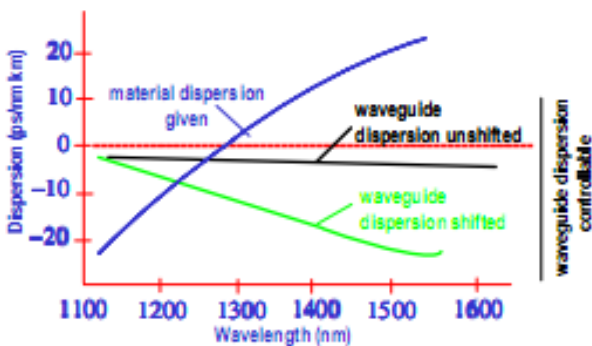
Gambar 2.16 merupakan pengaruh *dispersi intermodal* pada sinyal:



Gambar 1.16 Pengaruh Dispersi Intermodal pada sinyal^[13]

1.12.2 Dispersi Kromatik

Dispersi yang terjadi karena diakibatkan oleh perubahan index bias untuk panjang gelombang yang berbeda dengan waktu tunda yang berbeda disebut dengan dispersi kromatik. Koefisien *dispersi* kromatik ini bernilai negatif dan bernilai lebih besar per unit panjangnya dibandingkan dengan koefisien *dispersi* dari serat optik yang digunakan sistem. Dengan karakteristik ini, maka panjang DCF yang cukup pendek dapat mengkompensasi akumulasi kromatik pada serat optik yang digunakan sistem. Gambar 2.17 menampilkan karakteristik dispersi pada *single mode fiber*.



Gambar 1.17 Karakteristik *Dispersi* pada Serat *Single Mode*^[13]

1.13 Parameter Kelayakan Perancangan^[14]

1.13.1 *Link Power Budget*

Link power budget merupakan salah satu parameter kelayakan pada jaringan FTTH. Nilai ini di hitung sebagai syarat agar *link* yang telah di rancang nilai daya yang diterima tidak melebihi batas ambang dari daya yang dibutuhkan. Untuk perhitungan *link power budget* dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2-1 :

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{serat} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + Sp + SM \quad (2-1)$$

Bentuk persamaan 2-2 digunakan untuk perhitungan daya terima :

$$P_{RX} = P_{TX} - \alpha_{tot} \quad (2-2)$$

dengan:

P_{tx} : daya keluaran sumber optik (dBm)

SM : *safety margin* 6 dB - 8 dB

α_{tot} : redaman total sistem (dB)

L : panjang serat Optik (Km)

α_c : redaman konektor (dB/buah)

α_s : redaman sambungan (dB/Km)

N_s : jumlah sambungan

N_c : jumlah konektor

Sp : Redaman splitter (dB)

1.13.2 *Rise Time Budget*

Salah satu parameter kelayakan pada perancangan jaringan FTTH yaitu *Rise time budget*, merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan batasan *dispersi* pada suatu *link* serat optik. Penggunaan metode *rise time budget* ini bertujuan untuk menganalisa unjuk kerja suatu jaringan secara keseluruhan apakah telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. Pada umumnya, total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70% dari satu periode bit NRZ (*Non-return-to-zero*) atau tidak melebihi 35% dari satu periode bit untuk data RZ (*return-to-zero*). Untuk menentukan waktu transisi berdasarkan format NRZ dan RZ adalah dengan menggunakan persamaan 2-3 dan persamaan 2-4:

- Format NRZ

$$t_{NRZ} = \frac{1}{Br} \times 0,7 \quad (2-3)$$

- Format RZ

$$t_{RZ} = \frac{1}{Br} \times 0,35 \quad (2-4)$$

dengan:

Br : *bit rate*

Untuk perhitungan *Rise Time budget* dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2-5:

$$t_{total} = (t_{rx}^2 + t_{material}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \quad (2-5)$$

dengan:

t_{tx} : *Rise time transmitter* (ns)

t_{rx} : *Rise time receiver* (ns)

untuk mendapatkan nilai t_{rx} dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2-6:

$$t_{rx} = \frac{350}{Brx} \quad (2-6)$$

dengan:

B_{rx} : *Bandwidth* listrik (3dB) penerima

$t_{intermodal}$: 0 (untuk serat optik *single mode*)

nilai mendapatkan nilai $t_{material}$ dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2-7:

$$t_{material} : \Delta\sigma \times L \times Dm \quad (2-7)$$

dengan:

$\Delta\sigma$: lebar spektral (nm)

L : panjang serat optik (Km)

Dm : dispersi material (ps/nm.Km)

1.14 Parameter Performansi Sistem

1.14.1 *Bit Error Rate (BER)*^[15]

Pada sistem transmisi telekomunikasi, *bit error rate* (BER) adalah persentase dari *bit-bit* yang memiliki *error* yang berhubungan dengan total jumlah *bit-bit* yang diterima saat transmisi. Sebagai contoh, suatu transmisi dapat memiliki BER sebesar 10^{-6} , menandakan bahwa, dari 1.000.000 *bit* yang ditransmisikan, salah satu *bitnya* akan *error* dan maksimum jumlah bit yang boleh *error* adalah 6 bit.

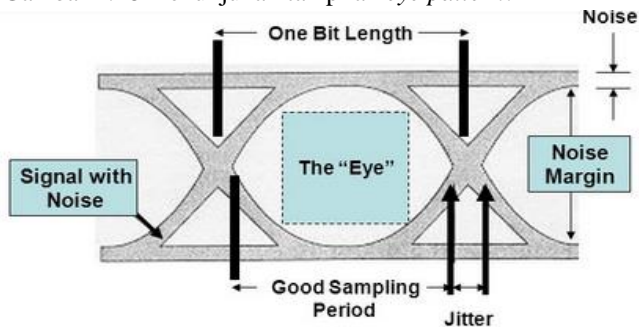
BER merupakan indikasi dari seberapa seringnya data ditransmisikan kembali karena *error*. BER yang terlalu tinggi

dapat mengindikasikan bahwa data *rate* yang lebih lambat sebenarnya dapat meningkatkan waktu transmisi keseluruhan jumlah data yang ditransmisikan oleh karena BER kemungkinan dapat berkurang, mengurangi juga jumlah paket data yang akan dimunculkan. BER dapat ditingkatkan dengan memilih sinyal yang kuat (kecuali apabila menyebabkan *bit error* yang lebih banyak).

BER yang ditransmisikan adalah jumlah dari *bit-bit* salah yang terdeteksi sebelum proses perbaikan error, terbagi oleh jumlah total *bit-bit* yang ditransfer (termasuk kode error yang berlebihan). Normalnya transmisi BER lebih besar dari informasi dari BER tersebut. Dalam sistem komunikasi, BER sisi penerima mungkin akan terpengaruh oleh saluran transmisi noise, interferensi, distorsi, redaman, dan lainnya.

Nilai *Bit Error Rate* dalam jaringan FTTH-CWDM ini didapatkan dari rangkaian jaringan yang disimulasikan pada *OptiSystem*. Tujuan dari pengukuran ini yaitu untuk menunjukkan nilai kelayakan *Bit Error Rate* (BER) pada sisi pelanggan. Untuk mengukur *Bit Error Rate* menggunakan alat ukur BER Analyzer pada simulasi. PT. Telkom memiliki yang memiliki standar nilai BER untuk komunikasi serat optik adalah sebesar 10^{-9} .

Eye pattern merupakan tampilan sinyal dari *optisystem* yang digunakan untuk melihat performansi sinyal digital. Gambar 2.18 menunjukkan tampilan *eye pattern*:



Gambar 1.18 *Eye Pattern*^[16]

Pada diagram *eye pattern*, pusat dari *eye opening* adalah *noise margin* yang di terima oleh sinyal. Lebar sinyal yang membentuk sudut pada *eye pattern* adalah jitter yang

menunjukkan satu perioda *bit* yang dilalui. Daerah atas *eye diagram* disebut *one level* dan daerah bawah *eye diagram* disebut *zero level*, yang menunjukkan transisi antara nilai *rise time* dan *fall time* sinyal atau waktu naik turunnya sinyal. Sedangkan garis tebal yang berada pada atas dan bawah *eye pattern* adalah sinyal *noise* yang diterima.^[16]