

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Serat Optik

Serat optik adalah media transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik, dengan media pembawa adalah cahaya. Serat optik adalah media transmisi yang mampu menghantarkan data dengan waktu yang sangat cepat dan data yang sangat besar pula (Gouzali Saydam, 1997).

Serat optik merupakan media transmisi yang sangat murah dan bahan baku yang mudah didapat, karena berbahan dasar plastik atau kaca, selain itu serat optik juga media transmisi yang mempunyai gangguan yang sangat kecil (Gouzali Saydam, 1997).

Struktur serat optik terdiri dari 3 lapisan yaitu :

1. *Core* (inti serat optik)

*Core* terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas sangat tinggi, *core* merupakan bagian utama dari serat optik karena tempat perambatan cahaya sebenarnya.

*Core* memiliki diameter 8  $\mu\text{m}$  ~ 50  $\mu\text{m}$ . Ukuran *core* ini sangat mempengaruhi karakteristik serat optik (*singlemode* atau *multimode*)

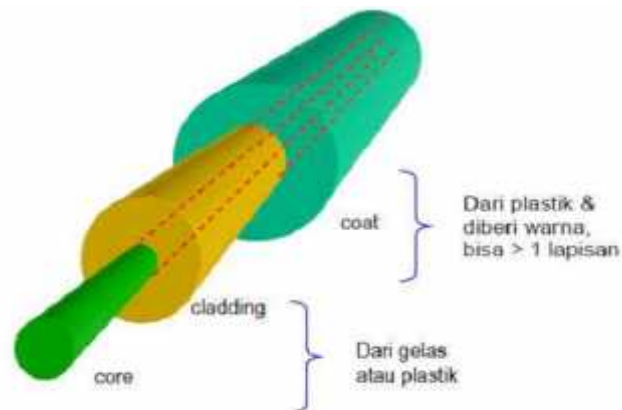
2. *Cladding*

*Cladding* merupakan tempat pembiasan cahaya yang memiliki indeks bias lebih kecil dengan *core* atau sebagai cermin, dan terbuat dari bahan gelas atau plastik, serta *cladding* merupakan selubung dari *core* yang akan mempengaruhi perambatan yaitu apakah dibiaskan atau dipantulkan.

3. *Coating*

*Coat* berfungsi sebagai pelindung serat optik yang terbuat dari bahan plastik

Adapun konfigurasi dari struktur serat optik adalah sebagai berikut :



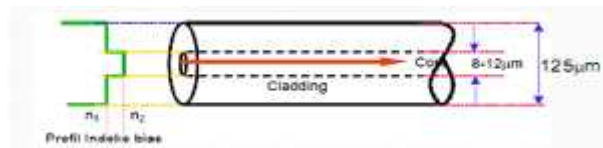
Gambar 2.1. Struktur Serat Optik  
(Albert Sudaryanto, 2010)

Berdasarkan cara perambatannya, serat optik terbagi menjadi 3 yaitu :

1. *Step Index Singlemode*

Jenis kabel *step index singlemode* ini merupakan jenis serat optik yang hanya mempunyai satu jenis perambatan cahaya, yaitu merambat lurus (sejajar dengan sumbu utama serat optik). Dan diameter *core* yang sangat kecil yaitu 8-12  $\mu\text{m}$ . Jenis kabel ini memiliki *bit rate* yang besar.

Adapun gambar perambatannya yaitu :



Gambar 2.2. Serat Optik *Singlemode*  
(ITU-T, 2009)

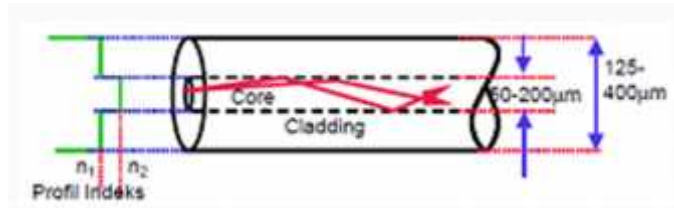
2. *Step Index Multimode*

Jenis kabel *step index multimode* ini merupakan jenis serat optik yang mempunyai index bias konstan sehingga terjadi berbagai jenis perambatan cahaya. Dan diameter *core* besar dan dilapisi *cladding* yang tipis. Jenis kabel ini memiliki *bit rate* rendah. Serta terjadi *dispersi* karena mempunyai

banyak perambatan cahaya sehingga terjadi pelebaran informasi pada penerimaannya.

Keuntungan dari jenis ini adalah memudahkan dalam penyambungan karena mempunyai *core* yang besar.

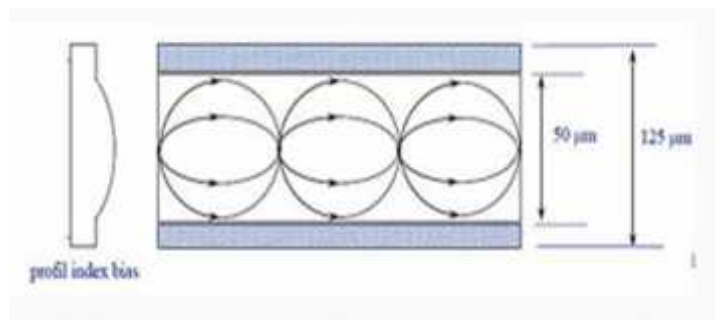
Adapun gambar perambatannya yaitu :



Gambar 2.3. Serat Optik *Multimode*  
(ITU-T, 2009)

### 3. *Graded Index Multimode*

Jenis serat *graded index multimode* ini mempunyai *core* yang terdiri dari sejumlah lapisan gelas yang memiliki indeks bias yang berbeda, dan indeks bias tertinggi terdapat pada pusat *core*. Dengan indeks bias yang berbeda tersebut mengakibatkan *dispersi* waktu dengan berbagai mode cahaya yang merambat berkurang sehingga cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan.



Gambar 2.4. Serat Optik *Graded Index Multimode*  
(ITU-T, 2009)

Adapun karakteristik dari serat optik *Graded Index Multimode* adalah :

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

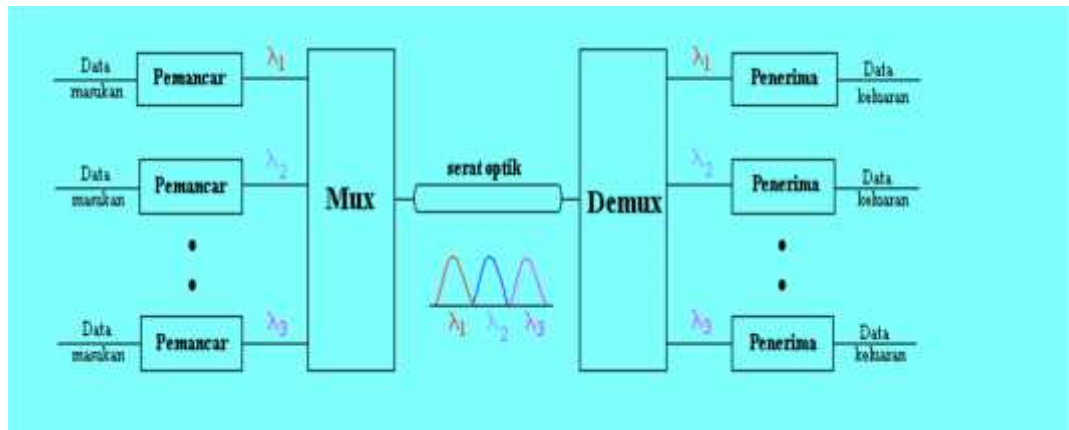
## **2.2 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)**

### **2.2.1 Prinsip Dasar Teknologi WDM**

Pada mulanya, teknologi WDM merupakan cikal bakal lahirnya DWDM, berkembang dari keterbatasan yang ada pada sistem serat optik, dimana pertumbuhan trafik pada sejumlah jaringan *backbone* mengalami percepatan yang tinggi sehingga kapasitas jaringan tersebut dengan cepat terisi.

Sistem WDM pertama hanya menggabungkan 2 sinyal. Pada perkembangan WDM, beberapa sistem telah sukses mengakomodasikan sejumlah panjang-gelombang dalam sehelai serat optik yang masing-masing berkapasitas 2,5 Gbps sampai 5 Gbps.

Pada perkembangan selanjutnya, jumlah panjang-gelombang yang dapat diakomodasikan oleh sehelai serat optik bertambah mencapai puluhan buah dan kapasitas untuk masing-masing panjang gelombang pun meningkat pada kisaran 10 Gbps, kemampuan ini merujuk pada apa yang disebut DWDM. (Dudik Hermanto, 2008). Gambar 2.5 berikut memperlihatkan prinsip kerja kanal sistem WDM.



Gambar 2.5. Prinsip Dasar Sistem WDM  
(Elektroindonesia, 2013)

### 2.2.2 Prinsip DWDM

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

Teknologi DWDM adalah teknologi yang memanfaatkan sistem *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) yang sudah ada (solusi terintegrasi) dengan memultiplekskan sumber-sumber sinyal yang ada.

DWDM dinyatakan sebagai suatu teknologi jaringan *transport* yang memiliki kemampuan untuk membawa sejumlah panjang gelombang (4, 8, 16, 32, dan seterusnya) dalam satu *fiber* tunggal. Artinya, apabila dalam satu *fiber* itu dipakai empat gelombang, maka kecepatan transmisinya menjadi 4x10 Gbs (kecepatan awal dengan menggunakan teknologi SDH).

Teknologi DWDM beroperasi dalam sinyal dan domain optik dan memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan.

Secara umum keunggulan teknologi DWDM adalah sebagai berikut (Dudik Hermanto, 2008) :

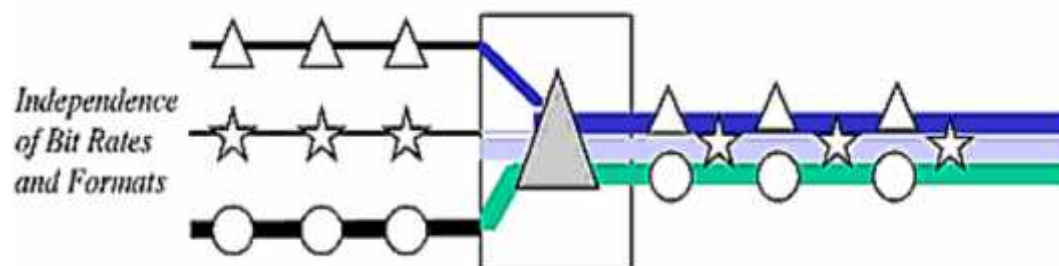
1. Tepat untuk diimplementasikan pada jaringan telekomunikasi jarak jauh (*long haul*) baik untuk sistem *point-to-point* maupun *ring topology*.
2. Lebih fleksibel untuk mengantisipasi pertumbuhan trafik yang tidak terprediksi.
3. Transparan terhadap berbagai *bit rate* dan protokol jaringan.
4. Tepat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

### 2.2.3 Teknik Operasional DWDM

Pada dasarnya teknologi DWDM memiliki prinsip kerja yang sama dengan media transmisi yang lain yaitu untuk mengirimkan informasi dari suatu tempat ke tempat yang lain. Namun, dalam teknologi ini pada suatu kabel atau serat optik dapat dilakukan pengiriman secara bersamaan informasi melalui kanal yang berbeda. Setiap kanal ini dibedakan dengan menggunakan prinsip perbedaan panjang gelombang (*wavelength*) yang dikirimkan oleh sumber informasi.

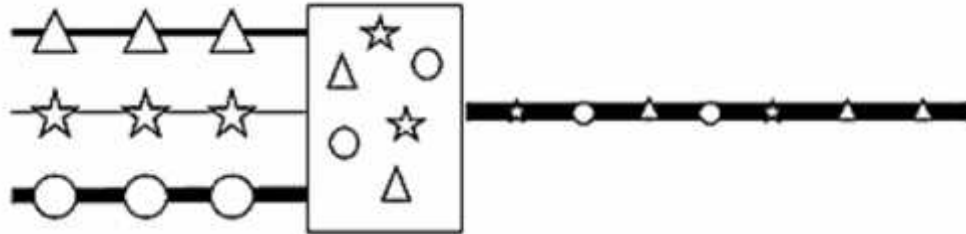
Sinyal informasi yang dikirimkan awalnya diubah menjadi panjang gelombang yang sesuai dengan panjang gelombang yang tersedia pada kabel serat optik kemudian dimultipleksikan pada satu *fiber*. Dengan teknologi DWDM ini pada satu kabel serat optik dapat tersedia beberapa panjang gelombang yang berbeda sebagai media transmisi yang biasa disebut dengan kanal.

Berikut Ilustrasi Pengiriman Informasi pada WDM :



Gambar 2.6. Pengiriman Informasi WDM  
(*The International Engineering Consortium, 2013*)

Sebagai perbandingan dengan DWDM, ilustrasi transmisi dengan TDM adalah sebagai berikut :



Gambar 2.7. Pengiriman Informasi TDM  
(*The International Engineering Consortium, 2013*)

TDM menggunakan teknik pengiriman tetap pada satu *channel* dengan mengefisienkan skala waktu untuk mengangkut berbagai macam informasi.

Pada teknologi DWDM, terdapat beberapa komponen utama yang harus ada untuk mengoperasikan DWDM dan agar sesuai dengan *standart channel* ITU sehingga teknologi ini dapat diaplikasikan pada beberapa jaringan optik seperti SONET dan yang lainnya. Komponen-komponennya adalah sebagai berikut: (Wikipedia, 2010)

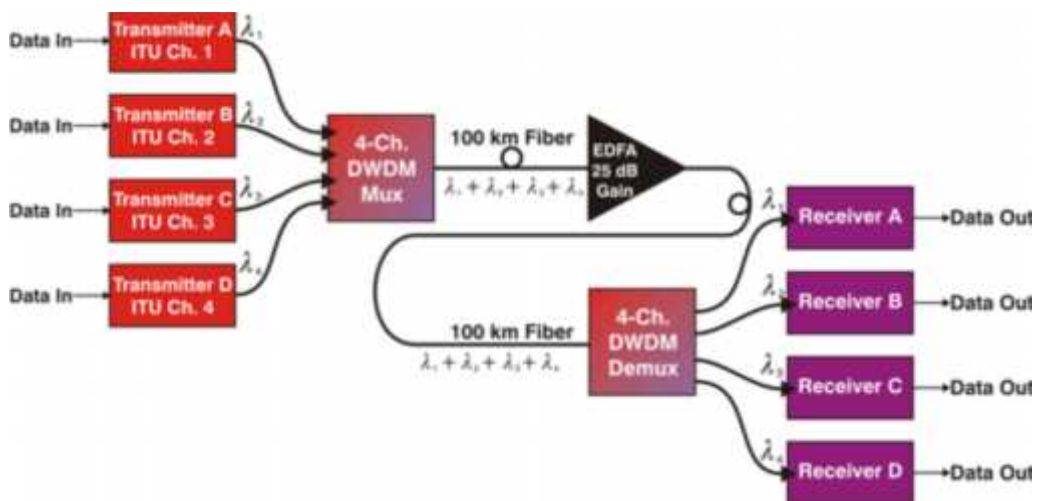
1. *Transmitter* yaitu komponen yang menjembatani antara sumber sinyal informasi dengan multiplekser pada sistem DWDM. Sinyal dari *transmitter* ini akan dimultipleks untuk dapat ditransmisikan.
2. *Receiver* yaitu komponen yang menerima sinyal informasi dari demultiplekser untuk dapat dipilah berdasarkan macam-macam informasi.
3. DWDM terminal *multiplexer*. Terminal mux sebenarnya terdiri dari *transponder converting wavelength* yang berfungsi untuk menerima sinyal input optik, mengubah sinyal tersebut menjadi sinyal optik dan mengirimkan kembali sinyal tersebut menggunakan pita laser 1550 nm.
4. *Intermediate optical terminal (amplifier)*. Komponen ini merupakan *amplifier* jarak jauh yang menguatkan sinyal dengan banyak panjang gelombang yang ditransfer sampai sejauh 140 km atau lebih. Pada proses

pengiriman sinyal informasi pasti terdapat *attenuasi* dan dispersi pada sinyal informasi yang dapat melemahkan sinyal.

*Amplifier* yang biasa dipakai pada sistem komunikasi serat optik adalah *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA). *Bandwith* EDFA adalah 30 nm yaitu dari 1530 nm sampai dengan 1550 nm.

5. DWDM terminal demux. Terminal ini mengubah sinyal dengan banyak panjang gelombang menjadi sinyal dengan hanya 1 panjang gelombang dan mengeluarkannya ke dalam beberapa fiber yang berbeda untuk masing-masing *client* untuk dideteksi.

Berikut Ilustrasi Tata Letak Komponen pada DWDM :



Gambar 2.8. Ilustrasi Tata letak Komponen DWDM

(Gilang Andika dkk, 2006)

Pada perkembangan selanjutnya, sistem DWDM berusaha menambah *channel* sebanyak-banyaknya untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas data informasi. Salah satunya adalah dengan memperkecil *channel spacing* tanpa adanya suatu interferensi dari sinyal pada satu fiber optik tersebut.

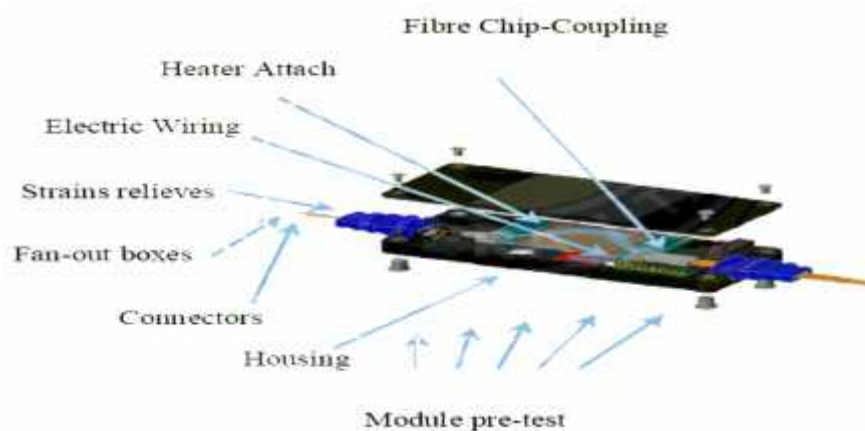


Salah satu contohnya adalah pada demultiplekser DWDM yang harus memenuhi beberapa kriteria diantaranya adalah demux harus stabil pada setiap waktu, pada berbagai suhu, dan harus memiliki penguatan yang relatif besar.

Jarak antar kanal merupakan jarak antara dua panjang gelombang yang dialokasikan sebagai referensi. Semakin sempit jarak antar kanal, maka akan semakin besar jumlah panjang gelombang yang dapat ditampung. (Gilang Andika dkk, 2006)

### 2.3 *Arrayed Waveguide Gratings (AWG)*

Pengenalan tentang sistem AWG sudah menjadi revolusi dari sistem telekomunikasi. AWG membuat blok-blok untuk penanganan sistem yang rumit seperti ; *optical attenuator (VOA)*, *thermo-optic switch*, *DWDM channel monitor*, *dynamic gain equalizer*, dan lain-lain biasanya modul AWG di tunjukan seperti gambar 3.9.



Gambar 2.9. Modul AWG (*Arrayed Waveguide Gratings*)

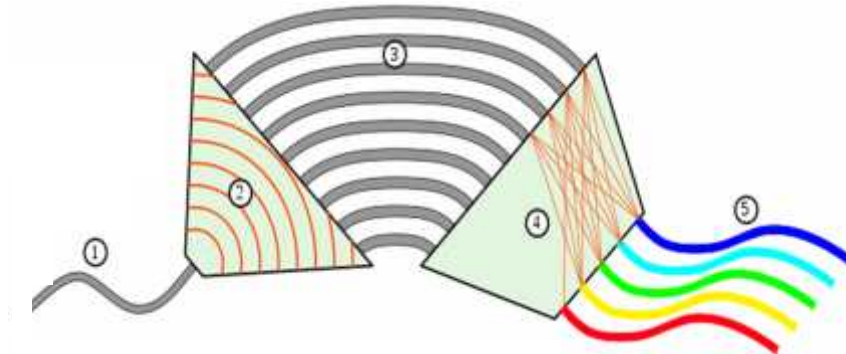
(Andre.y Ma, 2009)

Sistem DWDM mampu untuk melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* yang terangkum dalam sistem AWG. Multiplekser AWG dikenal dengan nama *Wavelength Division Multiplexer (WDM)* dan Demultiplekser AWG dikenal dengan sebutan *Wavelength Division Demultiplexer (WDDM)*. Sinyal optik dibangkitkan oleh diode laser (LDS) menjadi panjang gelombang monokromatik

yang serial  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ , (tanpa sebuah standar rentang panjang gelombang) dan keluar sebanyak N serat ke dalam sebuah WDM. Sinyal input dalam WDM dikombinasikan menjadi sebuah sinyal output polikromatik, proses ini dikenal dengan nama *multiplexing*. Serat optik dapat melakukan *multiplexing* dengan *bandwidth* yang sangat besar. Pada saat *multiplexing* sinyal polikromatik dijadikan sebuah sinyal tunggal pada transmisi melalui serat optik. Pada WDM sinyal polikromatik tersebut dipisahkan menjadi panjang gelombang tunggal yang bersesuaian, dan diidentifikasi sebagai serial pada kanal, proses ini dikenal dengan nama *demultiplexing*. Panjang gelombang tersebut distandarisasikan oleh *International Telecommunication Union* (ITU) untuk jaringan DWDM.

### 2.3.1 Prinsip Kerja AWG

*Arrayed Waveguide Gratings* (AWG) dapat melakukan *multiplexing* dan *demultiplexing* pada panjang gelombang yang banyak. Prinsip kerjanya seperti gambar 3.10.



Gambar 2.10. Prinsip Kerja AWG (*Arrayed Waveguide Gratings*)  
(Wikipedia, 2013)

Cahaya propagasi pada masukan *waveguide* didifrasikan pada *slab* pertama dan digabungkan dalam *arrayed waveguide*. *Array waveguide* dirancang untuk panjang gelombang yang berbeda-beda antara *array waveguide* yang berdekatan, oleh karena itu perubahan fasa akan terjadi di cabang *arrayed*. Selisih antara panjang *array waveguide* adalah seharusnya konstan pada *array* yang bersesuaian.

Jika masukan panjang gelombang diatur dari pusat panjang gelombang, maka fasa akan berubah dalam cabang *array*. Karena panjang gelombang berbeda pada *waveguide* yang berdekatan, fasa berubah meningkat secara linier dari masukan ke keluaran *array waveguide*, yang menyebabkan sorotan cahaya berlawanan dengan titik fokusnya pada *slab* kedua dari *slab* pertama.

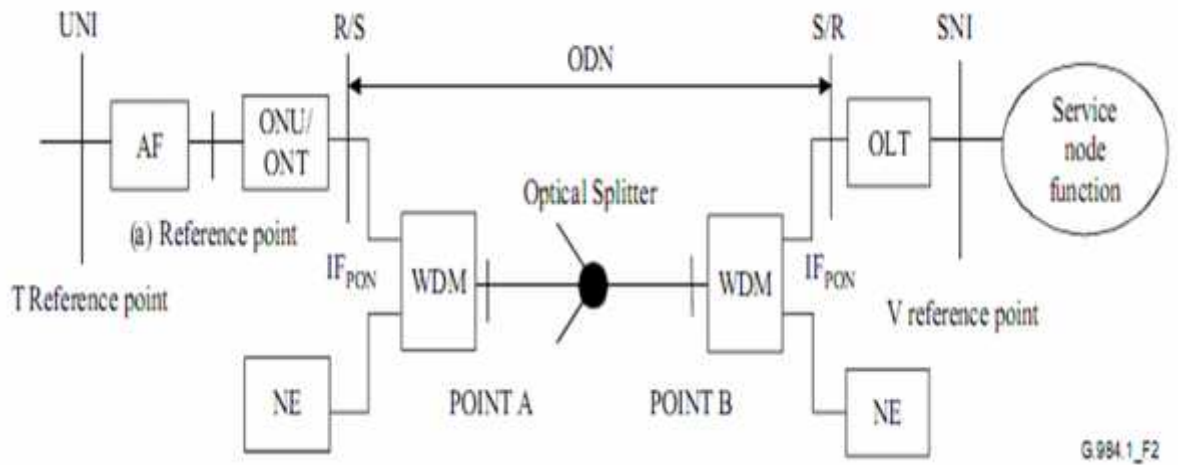
#### **2.4 Gigabit Passive Optical Network (GPON)**

GPON merupakan *next generation* dari PON, dan standar GPON adalah ITU-T G.984x. Gpon memiliki nominal bit rate berdasarkan standar ITU-T 984.2 untuk *downstream* dan *upstream* sebagai berikut :

- 1244.16 Mbit/s *downstream* dan 155.52 Mbit/s *upstream*
- 1244.16 Mbit/s *downstream* dan 622.08 Mbit/s *upstream*
- 1244.16 Mbit/s *downstream* dan 1244.16 Mbit/s *upstream*
- 2488.32 Mbit/s *downstream* dan 155.52 Mbit/s *upstream*
- 2488.32 Mbit/s *downstream* dan 622.08 Mbit/s *upstream*
- 2488.32 Mbit/s *downstream* dan 1244.16 Mbit/s *upstream*
- 2488.32 Mbit/s *downstream* dan 2488.32 Mbit/s *upstream*

Panjang gelombang (*wavelength*) yang digunakan untuk GPON yaitu 1490 nm untuk *downstream* dan panjang gelombang 1310 nm untuk *upstream* panjang gelombang ini digunakan untuk mengirim data dan suara (ITU-T 984.2).

Sistem GPON secara umum terdiri atas OLT (Optik Line Terminal), ONU (Optical Network Unit), ONT (Optical Network Terminal), ODN (Optical Distribution Network) yang saling terkoneksi. Adapun arsitektur GPON dapat dilihat dari gambar berikut :



Gambar 2.11. Konfigurasi GPON  
(ITU-T, 2009)

Keterangan :

ONU : *Optical Network Unit*

ONT : *Optical Network Terminal*

ODN : *Optical Distribution Network*

OLT : *Optical Line Termination*

WDM : *Wavelength Division Multiplex*

SNI : *Service Node Interface*

NE : *Network Element* (menggunakan panjang gelombang yang berbeda dari OLT dan ONU)

AF : *Adaptation Function*

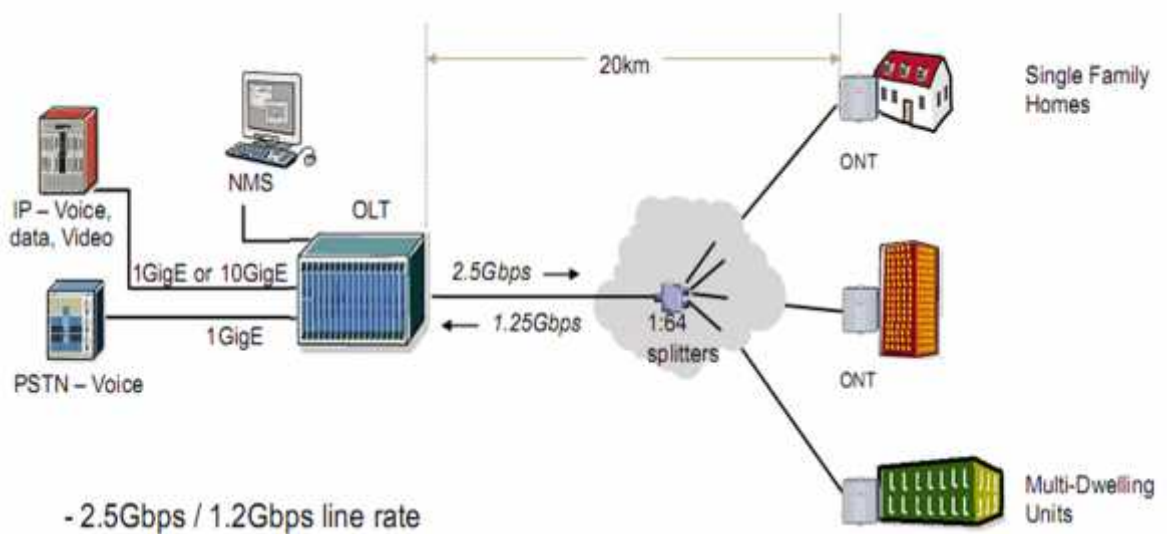
UNI : *User Network Interface*

S : Titik pada serat optik terletak setelah OLT (*download*) / ONU (*upload*) koneksi titik optik (yaitu, konektor optik atau *splice optik*)

R : Titik pada serat optik terletak sebelum OLT (*download*) / ONU (*upload*) koneksi titik optik (yaitu, konektor optik atau *splice optik*)

Pada dasarnya PON merupakan pembelahan optik untuk melakukan percabangan dengan menggunakan *splitter*. Percabangan ini dapat dilakukan dengan percabangan 1:4, 1:8, 1:16, 1: 32, 1:64, 1:128 tergantung kebutuhan yang diperlukan.

Adapun gambar GPON dengan 2.5 *download* dan 1.25 *upload* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.12. GPON 2.5 Down 1.25 Up  
(Tyco Electronics, 2011)

## 2.5 Channel Spacing (Spasi Kanal)

Spasi kanal merupakan jarak minimum antar panjang gelombang agar tidak terjadi interferensi.

Saat ini terdapat dua pilihan untuk melakukan standarisasi kanal, yaitu menggunakan spasi lamda atau spasi frekuensi. Hubungan antara spasi lamda dan spasi frekuensi adalah :

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2.1)$$

dimana :

$$\begin{aligned} f &= \text{spasi frekuensi (GHz)} \\ &= \text{spasi lamda (nm)} \\ &= \text{panjang gelombang daerah operasi (nm)} \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Konversi spasi lamda ke spasi frekuensi dan sebaliknya akan menghasilkan nilai yang kurang presisi, sehingga sistem DWDM dengan satuan yang berbeda akan mengalami kesulitan dalam berkomunikasi. *International Telecommunication Union – Telecommunication Sector* (ITU-T) kemudian menggunakan spasi frekuensi sebagai standar penentuan spasi kanal. (Endah Sudarmilah, 2010)

## 2.6 Standar ITU-T

Dalam merancang suatu sistem atau jaringan telekomunikasi, harus mengikuti standar-standar yang telah ditetapkan. Salah satunya yaitu : ITU-T (*International Telecommunication Union–T*). Standar ITU-T untuk jaringan DWDM mengikuti rekomendasi ITU-T seri G 698.1

*International Telecommunication Union* (ITU) merupakan badan khusus PBB di bidang *telecommunication* subpopulasi. ITU Sektor Telekomunikasi Standarisasi (ITU-T) adalah organ permanen ITU. ITU-T bertanggung jawab untuk mempelajari pertanyaan teknis, operasi dan tarif serta menerbitkan rekomendasi pada mereka dengan standarisasi seluruh dunia.

Pada rekomendasi ITU-T G 698.1 jarak transmisi berkisar antara 30-80 km dengan persyaratan BER tidak kurang dari  $10^{-12}$ . (ITU-T.com, 2010).

## 2.7 Perkembangan Penelitian atau *Current Progress* Penelitian

Sistem DWDM telah banyak diteliti oleh peneliti-peneliti yang sebelumnya. Dudik Hermanto (2008) menjelaskan bahwa DWDM memiliki banyak keunggulan, yaitu cocok untuk diimplementasikan pada jaringan komunikasi jarak jauh (*long haul*), fleksibel dalam menambah trafik, dan dapat digunakan untuk berbagai variasi *bit rate* dan berbagai protokol jaringan.

Teknologi DWDM merupakan teknologi pembaharuan dari teknologi SDH. Suryawan (2009) telah melakukan penelitian bahwa penerapan DWDM pada teknologi SDH mampu mengurangi perangkat repeater-repeater SDH, dan penghematan pemakaian *core* optik untuk penggunaan *Network Element* SDH yang lebih banyak. DWDM juga mampu meningkatkan kemampuan kapasitas jaringan *existing* tanpa perlu mengeluarkan biaya penanaman kabel kembali, dan secara signifikan mampu mengurangi biaya peningkatan jaringan.

A. L. J. Teixeira (2005) telah meneliti bahwa penggabungan beberapa panjang gelombang akan menyebabkan terjadinya interferensi. Di dalam penelitian tersebut, panjang gelombang satu dengan panjang gelombang yang lain harus dipisahkan untuk menghindari terjadinya *Optical Bit Interference* (OBI)

Jayashree Ratnam, dkk telah melakukan penelitian mengenai jaringan akses pasif optik dimana pemanfaatan teknologi WDM-PON merupakan solusi yang efektif dan efisien.

Klaus Grobe (2008) meneliti mengenai WDM-PON, dimana WDM-PON memungkinkan menggunakan teknik TDM. Langkah ini adalah evolusi dari PON. Penggunaan WDM-PON memungkinkan aplikasi *broadband* baru dalam skala yang luas, dan memungkinkan evolusi jaringan area metro menuju jaringan akses dan infrastruktur jaringan *backhaul*.

Abd El-Naser A. Mohammed (2009) telah meneliti secara teoritis parameter dasar dari *design* menggunakan AWG untuk aplikasi *c-band*, dimana didapatkan jarak *spectral width* dari 1528 nm sampai 1560 nm. Pada penelitian tersebut diperoleh bahwa urutan difraksi harus kecil untuk meningkatkan masukan atau keluaran pada saluran panjang gelombang yang berfungsi untuk

meningkatkan jumlah panjang gelombang masukan dan keluaran maksimum pada AWG untuk aplikasi *c-band*.

Sampai dengan saat ini belum ada peneliti yang melakukan penelitian terhadap performansi AWG pada jaringan WDM ketika digabungkan dengan teknologi GPON. Sehingga berdasarkan perkembangan penelitian sehubungan dalam bidang ini, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang performansi AWG pada jaringan WDM menggunakan teknologi GPON. Penelitian ini nantinya akan memberikan semacam solusi untuk implementasi AWG pada jaringan WDM menggunakan teknologi GPON bahkan bisa diterapkan pada GPON2.