

BAB II

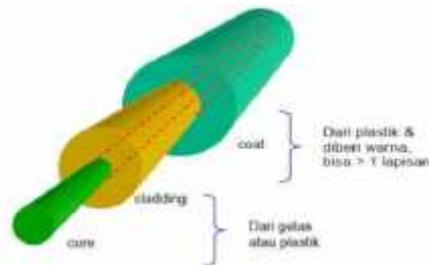
TINJAUAN PUSTAKA

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 (Govin P. Agrawal, 2002).

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 (Govin P. Agrawal, 2002).

Struktur serat optik terdiri dari 3 lapisan diantaranya core (inti), cladding (kulit), dan coating (mantel) atau buffer (pelindung). Inti adalah sebuah batang silinder terbuat dari bahan dielektrik (bahan silika (SiO_2), biasanya diberi doping dengan germanium oksida (GeO_2) atau fosfor penta oksida (P_2O_5) untuk menaikkan indeks biasnya) yang tidak menghantarkan listrik, inti ini memiliki jari-jari besarnya sekitar 8 – 200 μm dan indeks bias n_1 , besarnya sekitar 1,5. Inti di selubungi oleh lapisan material, disebut kulit yang terbuat dari bahan dielektrik (silika tanpa atau sedikit doping), kulit memiliki jari-jari sekitar 125 – 400 μm indeks biasnya n_2 , besarnya sedikit lebih rendah dari n_1 . (Albert Sudaryanto, 2009).



Gambar 2.1. Struktur Serat Optik
(Sumber: Albert Sudaryanto 2010)

Walaupun cahaya merambat sepanjang inti serat tanpa lapisan material kulit, namun kulit memiliki beberapa fungsi:

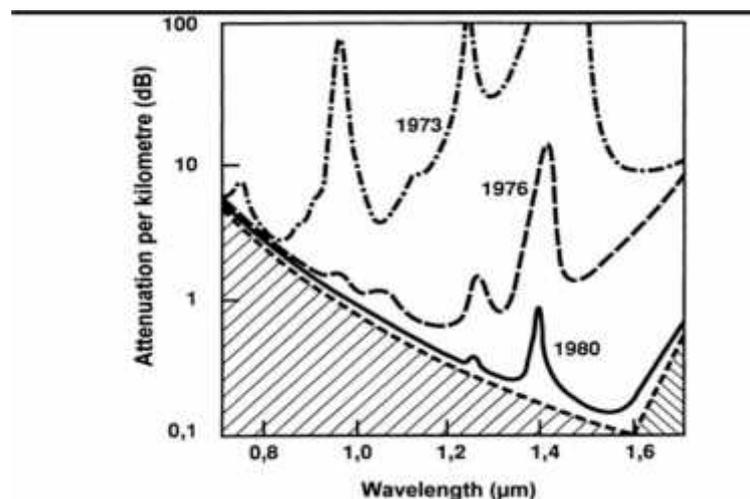
1. Mengurangi cahaya yang loss dari inti ke udara sekitar.
2. Mengurangi loss hamburan pada permukaan inti.

3. Melindungi serat dari kontaminasi penyerapan permukaan.
4. Menambah kekuatan mekanis.

2.2 Jendela Redaman pada Komunikasi Optik

Dalam mendesain suatu jaringan optik, redaman harus diperhatikan karena redaman mempengaruhi jarak transmisi dalam komunikasi optik. Dalam membangun sebuah jaringan telekomunikasi tentunya tidak lepas dari rugi-rugi salah satunya adalah redaman-redaman akibat dari pemasangan sistem. Redaman sinyal atau rugi-rugi serat optik sering didefinisikan sebagai perbandingan antara daya output optik (P_{out}) terhadap daya input optik (P_{in}) sepanjang serat optik. Redaman dalam serat optik untuk berbagai panjang gelombang tidak selalu sama karena redaman ini merupakan fungsi panjang gelombang (()).

Begitu juga dalam sistem komunikasi optik, redaman tidak dapat dihindarkan saat instalasi. Oleh karena itu, dalam komunikasi optik terdapat tiga *window* dimana terdapat redaman-redaman yang paling minimal yang diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.2. Redaman dalam Sistem Komunikasi Optik
(Sumber: Anne Vilcot dkk 2003)

Gambar 2.2 menunjukkan perkembangan Redaman-redaman fiber optik dengan panjang gelombang yang berbeda dari tahun ketahun. Selain itu, fiber optik juga memiliki kekurangan yaitu efek ketidaklinieran yang disebabkan oleh fabrikasi fiber optik itu sendiri. Beberapa efek ketidaklinieran dikarenakan perbedaan indeks bias yang berbeda-beda dari fiber optik itu sendiri sehingga menghasilkan beberapa fenomena yang di

akibatkan dari efek ketidaklinieran fiber optik diantaranya *four wave mixing*. Berikut adalah redaman redaman yang biasa terjadi dalam komunikasi optik. (PT. Telkom Indonesia. Tbk, 2004)

1. Penyerapan (*absorption*)

Penyerapan biasanya Disebabkan oleh Kerusakan atau ketidaksempurnaan dari struktur atom dalam komposisi pembuatan serat optik. Dalam hal ini adalah gelas atau bahan plastik yang paling sering digunakan. Terjadi juga kerusakan oksigen dalam struktur gelas atau dengan adanya molekul-molekul air dalam pembuatan serat optik. Redaman ini cukup kecil bila dibandingkan dengan redaman lain.

2. *Rayleigh Scattering*

Rayleigh scattering adalah rugi-rugi *intrinsic* yang paling sering terjadi pada semua serat optik. Biasanya terjadi karena ketidaksempurnaan struktur *core* pada serat optik saat proses produksinya. Dengan demikian rugi-rugi/*loss* (dalam dB/km) dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (PT. Telkom Indonesia. Tbk, 2004):

$$= 1.7 \left[\frac{0.85}{\lambda} \right]^4 \quad (2.1)$$

Ket :

= Redaman *Rayleigh scattering* (dB)

= panjang gelombang (μm)

3. *Bending*/Pembengkokan

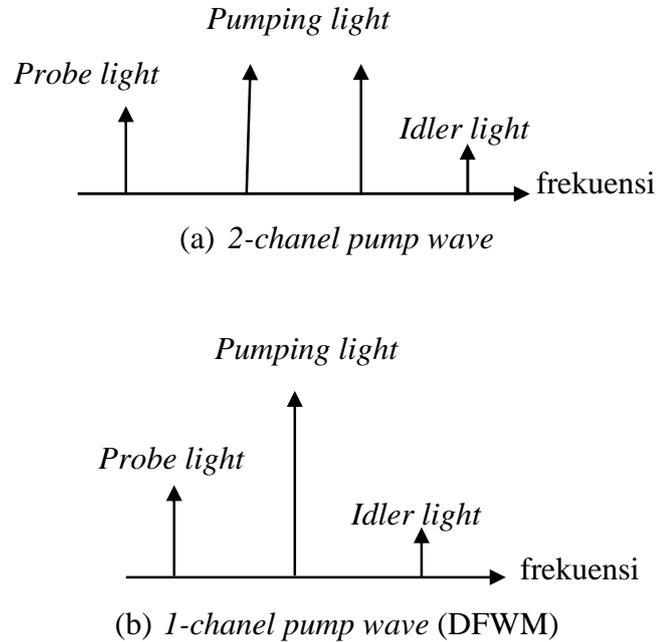
Pembengkokan dalam kabel maupun serat sangat sering terjadi pada saat instalasi ada dua jenis pembengkokan yaitu *micro bending* pembengkokan yang terjadi pada serat diakibatkan perbedaan saat pembuatan serat atau terjadi tekanan saat pengkabelan serat optik. Kemudian *macro bending* adalah pembengkokan yang disebabkan oleh kabel serat optik biasanya terjadi saat proses *instalasi*.

2.3 *Four Wave Mixing*

Four Wave Mixing (FWM) merupakan sinyal baru yang timbul karena adanya percampuran sinyal-sinyal optik kuat yang saling berdekatan. FWM adalah salah satu efek ketidaklinieran yang sangat berpengaruh dalam performansi sistem DWDM. Efek dari FWM ini menyebabkan terjadinya cakup silang pada kanal masukan, sehingga besarnya

daya yang dihasilkan dan banyaknya kanal yang akan digunakan menjadi terbatas (Hafiz Abd El Latif Ahmed Habib, 2007).

Gambar berikut menunjukkan diagram skematik FWM dalam domain frekuensi.



Gambar 2.3. Skema *Four Wave Mixing* dalam Domain Frekuensi
(Sumber: Osamu Aso dkk 2000)

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa cahaya awal sebelum ditransmisikan mengapit dua gelombang dalam domain frekuensi yang disebut *probe light* (*signal light*). Frekuensi idler (f_{idler}) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$f_{idler} = f_{p1} + f_{p2} - f_{probe} \quad (2.2)$$

dimana : f_{p1} dan f_{p2} adalah *Pumping light*

Ketika frekuensi dari dua gelombang *pumping* dalam keadaan sama maka kondisi ini disebut *Degenerated Four Wave Mixing* (DFWM). Dalam kasus ini dapat digunakan persamaan:

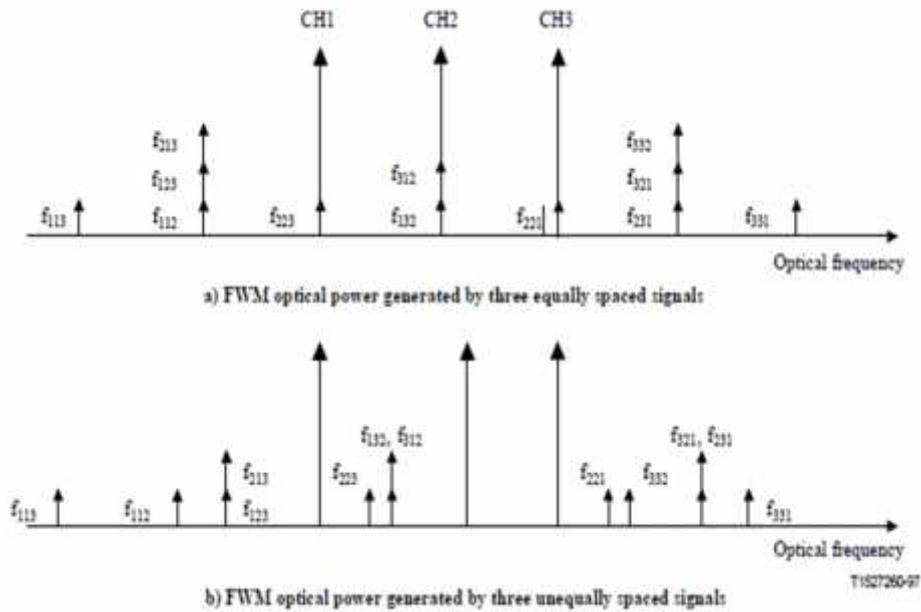
$$f_{idler} = 2f_p - f_{probe} \quad (2.3)$$

dimana : $f_p = \text{Pumping wave}$

FWM timbul akibat pengaruh ketergantungan indeks bias fiber optik dengan intensitas gelombang optik yang merambat sepanjang fiber. Interaksi ini menyebabkan munculnya gelombang optis lain yang terjadi melalui pencampuran (*mixing*) tiga gelombang dengan frekuensi f_1, f_2 dan f_3 sehingga menghasilkan frekuensi baru f_4 .

Setiap N kanal asli akan membangkitkan gelombang FWM sebanyak

$$M = N^2/2 \cdot (N - 1) \quad (2.4)$$



Gambar 2.4. Gelombang FWM yang Timbul dengan Tiga Sinyal Informasi
(Sumber: Hafiz Abd El Latif Ahmed Habib 2007 dan ITU-T G.692 1998)

Gambar 2.3a menunjukkan sinyal FWM yang dihasilkan dengan *channel spacing* sama menghasilkan 4 sinyal FWM. Hal ini disebabkan karena sinyal FWM lain berhimpit dengan sinyal informasi dan sinyal FWM itu sendiri. Gambar 2.3b juga menunjukkan sinyal FWM yang timbul dengan 3 sinyal informasi menghasilkan 9 gelombang sinyal FWM dengan mengatur *channel spacing* yang berbeda-beda.

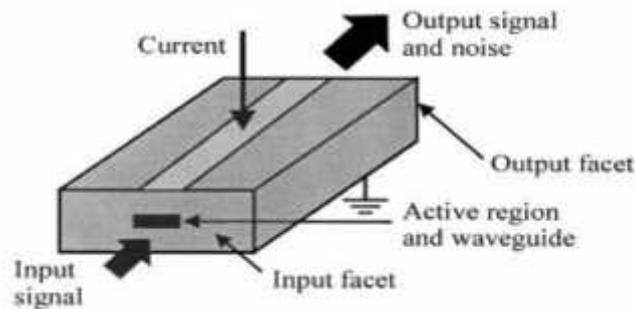
2.4 Semiconductor Optical Amplifier

Sejarah *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) pertama diteliti sekitar tahun 1960 pada saat penemuan laser *semiconductor* yang terbuat dari bahan GaAs beroperasi pada suhu rendah. Kemudian pada tahun 1970-an Zeidler dan Personick melakukan penelitian pertama kalinya tentang SOA. Selanjutnya pada tahun 1980-an, SOA mulai dimodelkan

dan didesain kedalam sebuah perangkat pada saat itu SOA berbahan AlGaAs yang beroperasi direntang panjang gelombang 830 nm. Sehingga di akhir tahun 1980-an SOA mulai dirancang menggunakan bahan In/GaAsP yang beroperasi pada panjang gelombang 1,3 dan 1,55 nm (Michael J. Conelly, 2004).

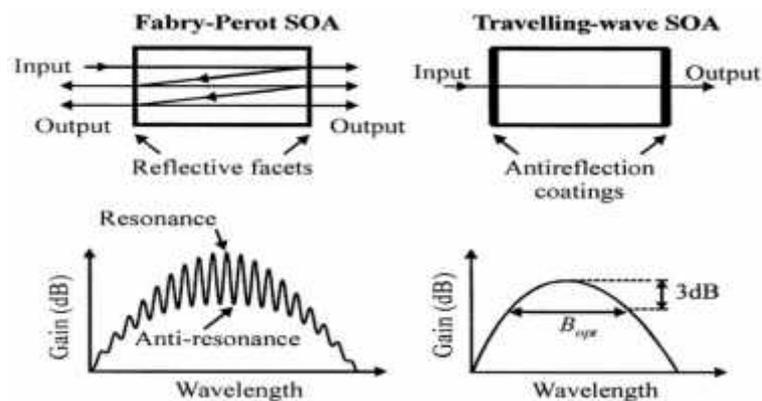
2.4.1 Jenis-Jenis SOA (*Semiconductor Optical Amplifier*)

Semiconductor Optical Amplifier (SOA) merupakan jenis penguat yang menggunakan bahan *semiconductor* untuk memberikan penguatan pada sinyal yang akan dikirim ke dalam serat optik. SOA dapat digunakan pada transmisi satu arah maupun dua arah. Berikut adalah gambar yang menunjukkan struktur dasar SOA.



Gambar 2.5. Skema Diagram SOA

(Sumber: Michael J. Conelly 2004).



Gambar 2.6. Dua Jenis Dasar SOA

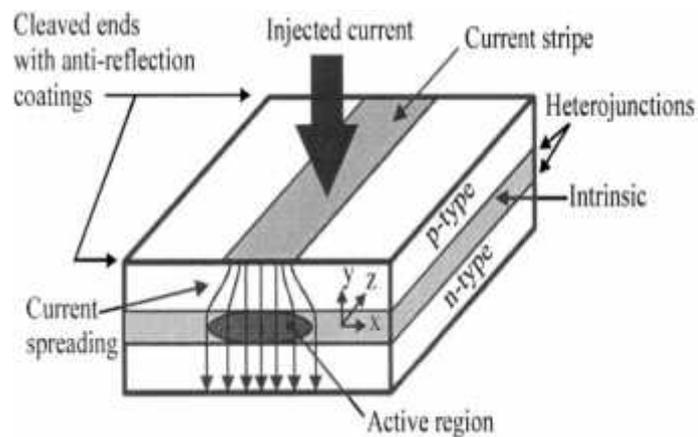
(Sumber: Michael J. Conelly 2004)

Menurut Michael j. Conelly (2004) terdapat dua jenis dasar dari SOA, yaitu FP-SOA dan TW-SOA. Masing-masing jenis ini mempunyai kelebihan dan kekurangan diantaranya untuk FP-SOA, mempunyai sensitifitas yang tinggi tetapi terjadi refleksi sinyal tinggi

ketika sinyal cahaya diinputkan. Untuk TW-SOA memiliki refleksi cahaya yang kecil dibanding FP-SOA tetapi sensitifitasnya tidak lebih baik dari FP-SOA.

2.4.2 Struktur Dasar SOA

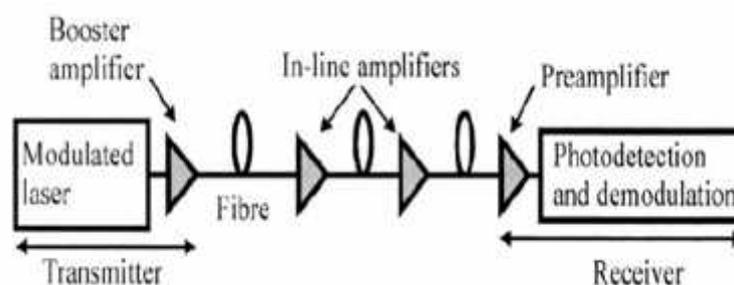
Pada penelitian pertama struktur SOA telah dilapisi anti refleksi ganda yang disebut *Dual Heterostructure* (DH), dalam hal ini daerah *active region* pada SOA sebagai penghasil amplifikasi sinyal dihimpit diantara bahan *semiconductor* tipe-n dan tipe-p pada daerah *cladding*-nya yang disebut dengan *heterojunction*. *Heterojunction* dapat juga dikatakan sebagai *Interface* antara daerah *active region* dengan *cladding* pada struktur SOA. Struktur SOA tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7. Struktur Dasar SOA

(Sumber: Michael J. Conelly 2004)

Pada gambar di atas terlihat bahwa *active region* SOA diapit oleh dua bahan *semiconductor* tipe-n dan tipe-p. Sebuah *Hetero* adalah *Interface* dari dua bahan *semiconductor* yang memiliki celah pita energi yang berbeda. Pada daerah *cladding* biasanya memiliki celah pita energi yang lebih tinggi dan indeks bias yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan *semiconductor* penyusun daerah aktif pada SOA. Aplikasi *amplifier* SOA dalam komunikasi optik dapat dilihat seperti gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8. Aplikasi SOA dalam Komunikasi Optik
(Sumber: Michael J. Conelly 2004)

Gambar 2.8 di atas menunjukkan penerapan SOA dalam komunikasi optik yaitu *Bosster (postline), Inline, dan Preline*. Yaitu peletakan SOA di awal, pertengahan (diantara dua buah fiber optik) dan di akhir, sepanjang *link* dalam komunikasi optik.

Menurut Farah Diana Mahad dkk (2011), SOA memiliki keunggulan seperti biaya murah, konsumsi daya rendah, penguatan yang tinggi, waktu respon yang pendek, bila dibandingkan dengan jenis penguat yang lainnya. Disamping itu SOA juga memiliki kekurangan yaitu respon terhadap *nonlinierity*. Karena SOA mempunyai respon terhadap efek *nonlinierity*, sehingga efek FWM dapat terjadi pada SOA. Tabel 2.1 berikut adalah keuntungan dan kerugian yang dimiliki SOA.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan SOA

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Ukurannya Kecil	<i>Coupling loss</i> Besar
2	Mudah Terintegrasi	<i>Noise Figure</i> Besar
3	Biaya Murah	Sensitive Terhadap Polarisasi
4	Gain Besar	Memiliki Efek Ketidaklinieran
5	Konsumsi Daya Rendah	
6	Respon Pendek/Cepat	
7	Multifungsional	

Tabel 2.1 di atas menunjukkan, beberapa keuntungan penggunaan *amplifier* SOA Farah Diana Mahad dkk (2011). Kerugian yang dihasilkan salah satunya adalah efek ketidaklinieran pada SOA tersebut. Dalam Tugas Akhir ini, efek ketidaklinieran yang dihasilkan dari sistem yang memakai *amplifier* SOA, akan diminimalkan dengan mengubah-ubah nilai parameter SOA diantaranya adalah faktor pengurangan sinyal optik

saat masuk ke daerah aktif pada SOA atau parameter *optical confinement factor* serta gain diferensialnya atau parameter *differential gain* pada SOA agar efek ketidaklinieran, salah satunya FWM dapat diminimalkan.

Gain SOA itu sendiri dapat ditentukan menggunakan rumus (Michael J. Conelly, 2004).

$$g_m = A_g (N_t - N_0) \quad (2.5)$$

Ket.

$A_g = \text{Differential Gain}$

$N_0 = \text{Carrier Density at Transparency}$

$N_t = \text{Initial Carrier Density}$

Sedangkan untuk *optical confinement factor* dapat dinyatakan dengan rumus:

$$g_t = \Gamma \cdot g_m - \alpha_s \quad (2.6)$$

Ket.

$\alpha_s = \text{Internal Waveguide Scattering Loss}$

$\Gamma = \text{Optical Confinement Factor}$

Total dari Gain SOA dapat menggunakan rumus:

$$G = e^{g_t \cdot z} \quad (2.7)$$

Dimana z adalah panjang maksimal fiber optik 140 km.

2.5 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

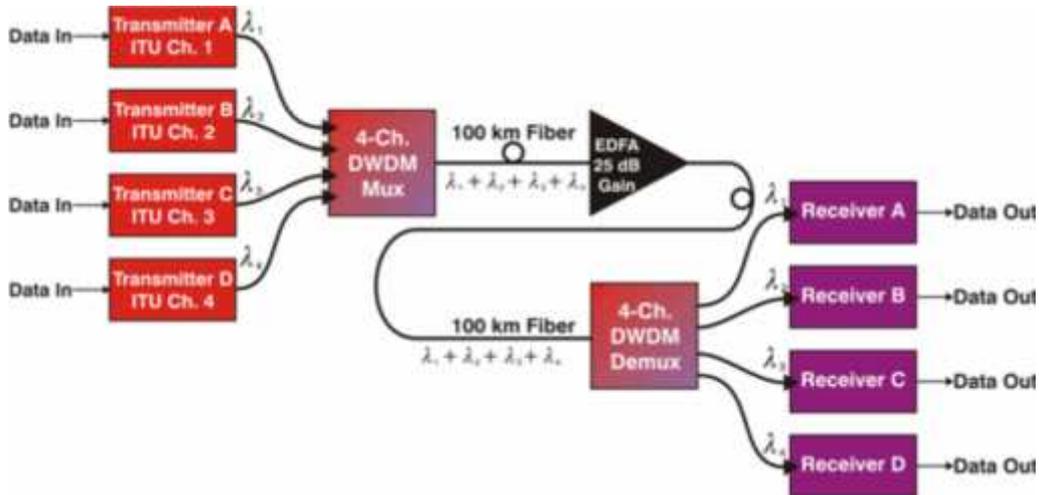
Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan menggabungkan beberapa kanal informasi dengan panjang gelombang yang berbeda-beda, sehingga seluruh kanal tersebut dapat ditransmisikan melalui satu serat optik. DWDM mampu membawa sejumlah panjang gelombang (4, 8, 16, 32, dan seterusnya) dalam satu serat optik tunggal.

Secara umum keunggulan teknologi DWDM adalah sebagai berikut:

1. Cocok untuk diimplementasikan pada jaringan komunikasi jarak jauh (*long haul*).
2. Lebih fleksibel dalam mengantisipasi pertumbuhan trafik atau *demand* yang tidak dapat diprediksi dengan tepat.

3. Transparan terhadap penggunaan berbagai *bit rate* dan protokol jaringan.
4. Cocok untuk diterapkan pada daerah dengan perkembangan kebutuhan *bandwidth* yang cepat.

Gambar berikut menampilkan komponen-komponen sistem DWDM:



Gambar 2.9. Ilustrasi Tata letak Komponen DWDM

(Sumber: Surawan Adi Putra 2009)

Transmitter merupakan komponen yang menjembatani antara sumber sinyal informasi dengan multiplexer DWDM. Pada *transmitter* terjadi proses modulasi (pengkonversian dari sinyal listrik menjadi sinyal optik) dan pengkodean. DWDM *multiplexer* berfungsi menggabungkan beberapa sinyal input optik dan mengirimkan sinyal-sinyal tersebut menggunakan panjang gelombang 1550 nm.

Optical amplifier berfungsi untuk memperkuat sinyal yang dikirimkan agar dapat ditransmisikan untuk jarak jauh. Pada sistem konvensional, *optical amplifier* yang digunakan adalah jenis *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA). Karena beberapa keunggulan *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) dibandingkan dengan penguat lain, maka pada Tugas Akhir ini digunakan SOA.

DWDM *demultiplexer* berfungsi untuk memisahkan kembali sinyal-sinyal yang telah digabungkan pada DWDM *multiplexer* sebelumnya menjadi beberapa sinyal dengan masing-masing panjang gelombang yang berbeda, dan meneruskannya ke dalam beberapa fiber yang berbeda untuk dapat dideteksi oleh masing-masing *client*.

Receiver yaitu komponen yang berfungsi menerima sinyal informasi dari DWDM *demultiplexer* untuk dapat dipilah berdasarkan macam-macam informasi dan diteruskan kepada pengguna. Keuntungan-keuntungan dalam penerapan DWDM antara lain :

1. Penghematan penggunaan sumber daya *core* optik, terutama jaringan kabel optik yang hanya memiliki kapasitas *core* yang kecil.
2. Kemampuan penyaluran *transport network* yang sangat tinggi, sehingga mampu menekan biaya investasi dan pemeliharaan perangkat.
3. Transparansi format dan *bit rate* (tidak merubah format/*bit rate*, hanya menyalurkan) sehingga penyaluran data, gambar dan suara tetap menggunakan jaringan *transport* yang umum (Surawan Adi Putra, 2009).

2.6 Parameter Performansi

2.6.1 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan kesalahan jumlah bit informasi yang dikirim. Didefinisikan sebagai perbandingan jumlah kesalahan *bit* (N_E), dengan jumlah *bit* total (N_T) yang dikirim selama selang waktu tertentu. Dalam komunikasi optik dapat dikatakan baik apabila *sensitivitas* pada *receiver* dapat mencapai BER yang direkomendasikan ITU-T yaitu mencapai 10^{-9} . Dapat ditulis dengan persamaan matematis sebagai berikut (Govin P. Agrawal, 2002).

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad (2.8)$$

2.6.2 Power Budget

Power Budget merupakan salah satu perhitungan yang menentukan daya optik yang diterima bergantung pada daya optik yang dikirim dan total redaman (*loss*). *Power Budget* dalam komunikasi optik dapat mempengaruhi jarak transmisi fiber optik, karena berhubungan dengan daya terima pada *receiver*. Ini didefinisikan melalui persamaan:

$$P_R = P_T - Total Loss \quad (2.9)$$

Dimana P_R adalah daya optik diterima dan P_T adalah daya optik yang dikirim dalam serat optik.

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.

Selain digunakan untuk jarak jauh, teknologi DWDM juga dapat diimplementasikan pada jaringan *Radio over Fiber* (RoF), yaitu jaringan yang menggabungkan antara sistem komunikasi optik dan sistem radio. Arif Murwanto dkk (2008) menggunakan metode *Sub Carrier Multiplexing / Wavelength Division Multiplex* (SCM/WDM) pada jaringan RoF. Jadi, DWDM ini dapat digunakan untuk berbagai sistem baik jaringan *backbone* jarak jauh maupun jaringan akses seperti *Radio over Fiber*.

Pada DWDM terdapat efek ketidaklinieran yang sangat berpengaruh dalam performansi sistem. Salah satu efek ketidaklinieran tersebut adalah *Four Wave Mixing* (FWM). Menurut Hiroyuki dkk (2005), efek ketidaklinieran dapat menyebabkan terjadinya cakup silang sehingga menurunkan kinerja sistem. Dwi widya ardelina (2011) menyatakan bahwa selain menyebabkan terjadinya cakup silang pada kanal masukan, efek FWM juga menyebabkan besarnya daya yang dihasilkan dan banyaknya kanal yang akan digunakan menjadi terbatas. H. Soto dan D. Erasme (1996) telah menjelaskan bahwa efek FWM terjadi pada SOA ketika proses modulasi.

Chandrakhant Rawat (2006) juga menyatakan bahwasannya fenomena FWM sangat berpengaruh pada penggunaan beberapa kanal informasi (WDM). Daya sinyal informasi yang dikirimkan akan berkurang, karena sebagian diserap oleh gelombang baru yang merupakan hasil pencampuran dari beberapa panjang gelombang. Jika frekuensi baru yang ditimbulkan akibat pencampuran tersebut secara kebetulan jatuh ke alokasi kanal frekuensi informasi asli, maka akan menyebabkan cakup silang.

Nahyan Al Mahmud, dkk (2012) telah meneliti "*Effects Of Four Wave Mixing On An Optical WDM System By Using Dispersion Shifted Fibre*". Dalam penelitiannya dinyatakan bahwasannya pengaturan dispersi serat optik juga dapat mengurangi efek FWM dalam sistem WDM. Serat optik dengan dispersi kromatik yang rendah menyebabkan efisiensi FWM tinggi, tetapi jika dispersi meningkat dengan spasi kanal yang berbeda maka efisiensi FWM berkurang. Sistem WDM merupakan cikal bakal lahirnya sistem DWDM. Tahun 2011 Farah Diana Mahad dkk menjelaskan bahwa SOA memiliki banyak

keunggulan dibandingkan dengan penguat optik jenis lain, seperti biaya yang murah, konsumsi daya yang rendah, penguatan yang tinggi, dan waktu respon yang pendek atau cepat. Pada *semiconductor optical amplifier* juga terdapat efek *four wave mixing*.

J. Reis (2009) telah meneliti efek ketidak linieran pada jaringan WDM-PON. Salah satu efek ketidaklinierannya yaitu FWM yang dapat menyebabkan *crosstalk*. Didalam penelitiannya beliau berhasil meminimalkan level daya FWM tersebut.

Sampai dengan saat ini belum ada peneliti yang melakukan penelitian terhadap efek FWM pada SOA ketika diimplementasikan pada jaringan DWDM. Sehingga berdasarkan perkembangan penelitian sehubungan dalam bidang ini, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang efek FWM pada SOA untuk jaringan DWDM. Tugas Akhir ini nantinya akan memberikan semacam solusi untuk meminimalkan efek FWM tersebut sehingga didapatkan kinerja yang baik ketika SOA diimplementasikan pada jaringan DWDM.