



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Passive Optical Network (PON) merupakan teknologi jaringan akses pada komunikasi serat optik yang terus mengalami perkembangan sampai dengan saat ini. PON adalah komunikasi dengan sistem *point to multipoint* yang digunakan pada pendistribusian daya optik ke semua cabang menggunakan komponen pasif *splitter* [3]. Penerapan teknologi PON yang masih eksis sampai saat ini adalah *Gigabit Passive Optical Network* (G-PON) dalam ITU-T Rec. G.984 pada tahun 2008, memiliki kapasitas 2,4 Gb/s untuk sisi *downstream* dan 1,2 untuk sisi *upstream* [16]. Peningkatan kapasitas terus dilakukan, sampai pada tahun 2010 ditemukanlah *10 Gigabit-capable Passive Optical Network / Next Generation Passive Optical Network 1* (XG-PON/ NG-PON1) dalam ITU-T Rec. G.987 dengan kapasitas 10 Gb/s *downstream* dan 2,5 *upstream* [17]. Penemuan teknologi PON yang terbaru saat ini yaitu *Next Generation Passive Optical Network 2* (NG-PON2).

NG-PON2 diprakarsai oleh *Full Service Access Network* (FSAN) dan *International Telecommunication Union Telecommunication* (ITU-T) pada tahun 2011. Di tahun 2013, ITU-T mengeluarkan standar untuk NG-PON2 dalam ITU-T Rec. G. 989 *series* tentang persyaratan umum untuk NG-PON2. NG-PON2 mendukung kapasitas 40 Gb/s di sisi *downstream* dan 10 Gb/s di sisi *upstream* dengan teknik *multiplexing* yang ditetapkan adalah teknik *Time and Wavelength Division Multiplexing* (TWDM-PON). TWDM-PON merupakan gabungan dari teknik *Time Division Multiplexing* (TDM) dan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM), dimana Teknik TDM digunakan pada proses *upstream* dan WDM pada proses *downstream* [2] [5] [15]. Pada penelitian [7] ditahun 2013, dilakukan pengujian terhadap standar ITU-T untuk NG-PON2 dengan menggabungkan 4 XG-PON disisi *downstream* (4 x 10 Gbps) dan *upstream* (4 x 2,5) untuk membuktikan pencapaian kapasitas NG-PON2, dan hasilnya sesuai dengan standar ITU-T yakni jarak transmisi mampu mencapai 40 Km. Penelitian terus dilakukan untuk mendapatkan performansi yang lebih baik, salah satunya dalam peningkatan jarak transmisi. Namun ada suatu kondisi dalam komunikasi optik yang berkaitan dengan jarak



transmisi, yang nantinya dapat membatasi jarak transmisi pada suatu sistem yaitu faktor dispersi [1] [15] [18].

Dispersi dalam sistem komunikasi optik merupakan suatu kondisi dimana lebar pulsa sinyal *input* yang ditransmisikan merambat sepanjang kabel serat optik, sehingga lebar pulsa menjadi lebih lebar setelah sampai di sisi penerima [1]. Dispersi tidak dapat dihilangkan, karena dispersi sebuah kabel serat optik sudah ditentukan oleh fabrikasi. Dispersi berakibat buruk terhadap performansi suatu sistem, dengan menurunkan faktor kualitas (*Q-factor*) dan mengakibatkan banyaknya kesalahan bit sehingga berpengaruh pada jarak transmisi [18]. Walaupun kehadirannya tidak dapat dihilangkan, namun efek dispersi dapat dikurangi. Salah satunya dengan memperhatikan jenis serat yang digunakan. Dalam sistem komunikasi optik, ada suatu jenis serat optik yang mampu mengurangi efek dispersi. Serat tersebut merupakan pengembangan *Single Mode Fiber (SMF, ITU-T Rec. G.652)* [8] yakni *Non-Zero Dispersion Shifted Fiber (NZ-DSF, ITU-T Rec. G.655)* [9].

Selain mampu mengurangi efek dispersi, NZ-DSF juga memiliki keunggulan dalam meningkatkan jarak transmisi dan mengurangi *crosstalk* [10]. Penelitian [11] membandingkan kinerja NZ-DSF dengan tiga serat uji yaitu SMF, C-NZDSF dan DSF pada sistem WDM dengan kecepatan transmisi 10 Gb/s menggunakan *line coding* NRZ. Dengan memperhatikan nilai *Q-factor* $\geq 5,9$ dan hasilnya menunjukkan NZDSF unggul dibandingkan 3 serat uji lainnya. Dengan nilai *Q-factor* 6,03 dan diikuti tiga serat lainnya dengan nilai 2,18; 2,61; dan 4,81 pada jarak transmisi maksimal 100 Km. Di tahun 2016, [12] melakukan penelitian untuk melihat jarak transmisi maksimal dengan menyelidiki kinerja sistem *Spectrum Sliced Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network (SS-WDM PON)* pada teknologi NG-PON dengan kecepatan transmisi 10 Gb/s dengan jumlah kanal 32 pada kanal C-band. Hasilnya menunjukkan bahwa jarak transmisi dengan BER dibawah 10^{-4} untuk sistem SS-WDM PON dapat meningkat 25 Km atau 23,8 % (dari 105 Km menjadi 130 Km) jika serat SMF diganti dengan serat NZ-DSF.

Selain menggunakan NZ-DSF ada solusi lain untuk mengurangi dispersi, yaitu dengan penambahan *Dispersion Compensation Fiber (DCF)*. Ditahun 2017, penelitian [13] menguji performansi TWDM-PON pada kecepatan transmisi 40 Gb/s dan *channel spacing* 0,8 nm menggunakan *line coding* NRZ di kanal C-band. Dalam penelitian ini, dibandingkan performansi sistem TWDM-PON ketika ditambahkan DCF pada serat utama SMF dan tanpa



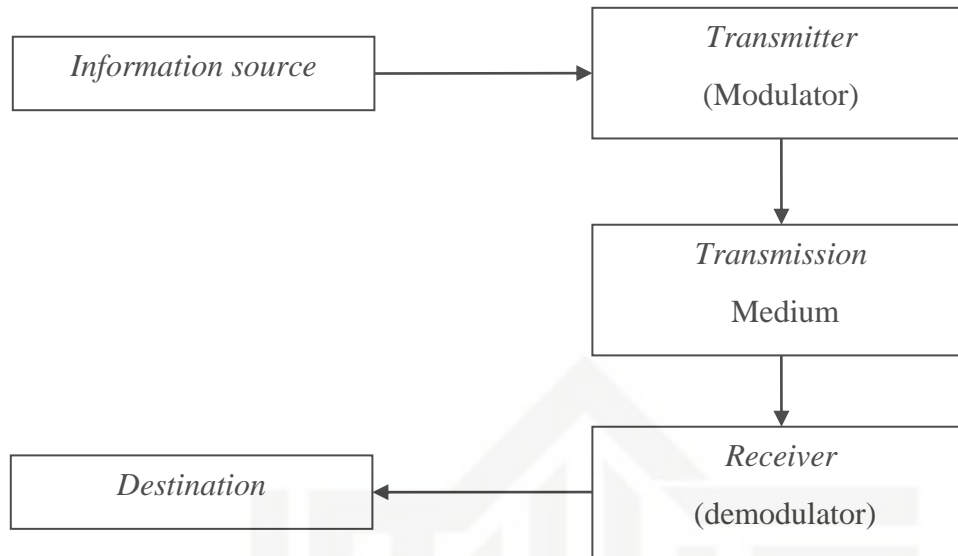
penambahan DCF pada serat SMF. Hasilnya menunjukkan, tanpa penambahan DCF jarak transmisi hanya mampu mencapai 40 Km dan dengan penambahan DCF jarak meningkat menjadi maksimum 100 Km pada *splitter* 1:4 dan 70 Km pada *splitter* 1:64.

Melihat keunggulan dari serat NZ-DSF dan DCF dalam mengurangi efek dispersi, sehingga dapat meningkatkan jarak transmisi dan juga keunggulan lain NZ-DSF yang bisa mengurangi *crosstalk*, maka penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian Brian Pamukti dengan mengganti serat utama SMF menjadi serat NZ-DSF, kemudian dikombinasikan dengan DCF, untuk mengoptimalkan performansi sistem TWDM-PON agar jarak transmisi menjadi lebih jauh dan juga mengurangi *crosstalk* pada sistem tersebut.

2.2 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik adalah sistem komunikasi jalur *wireline* dengan memanfaatkan serat optik sebagai medium transmisi. Tiga komponen utama dalam sistem komunikasi serat optik terdiri dari pengirim (*transmitter*), medium transmisi (*channel*) dan penerima (*receiver*) [1]. *Transmitter* terdiri dari sumber optik, *channel coupler* dan modulator yang berfungsi dalam mengubah sinyal informasi (data, audio dan *video*) berupa sinyal elektrik, menjadi sinyal optik dalam bentuk energi cahaya. *Transmitter* kemudian mentransmisikannya ke dalam *channel* yang berupa serat optik. *Channel* optik berfungsi sebagai medium transmisi yang melewatkan informasi dari *transmitter* menuju *receiver*. *Receiver* berfungsi mengembalikan bentuk sinyal optik menjadi sinyal elektrik seperti semula, yang disertai dengan proses pengolahan sinyal untuk menghilangkan derau yang dihasilkan. *Receiver* terdiri dari *coupler*, *photodetector* dan *demodulator* [15] [18].

Prinsip kerja serat optik adalah memantulkan dan membiaskan sejumlah cahaya yang merambat di dalamnya [1]. Serat optik memiliki *bandwidth* yang lebar, sehingga mampu mengirimkan informasi dalam bentuk sinyal cahaya dengan kapasitas besar dalam waktu singkat. Serat optik bersifat *isolator* listrik, sehingga tidak akan menimbulkan percikan api. Selain itu, optik juga kebal terhadap gangguan, seperti *Electromagnetic Interference (EMI)* dan *Radio Frequency Interference (RFI)*, *crosstalk*, suhu, udara, dan cuaca. [1] [2]. Berikut pada Gambar 2.1 merupakan blok diagram sistem komunikasi serat optik.



Gambar 2.1. Block Diagram Sistem Komunikasi Serat Optik [1]

2.3 Serat Optik

Serat optik merupakan suatu buntang gelombang yang digunakan untuk merambatkan energi elektromagnetik pada frekuensi optik yakni 300-600 *Tera Hertz* (THz). Serat optik terbuat dari kaca silika atau plastik yang sangat halus dengan ukuran hanya 8-125 μm . Serat optik berfungsi mentransmisikan informasi berupa data, audio, dan *video* dalam bentuk cahaya yang beroperasi pada frekuensi optik. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau *Light Emitting Diode* (LED). Struktur utama pada serat optik terdiri atas 3 lapisan, yaitu *core*, *cladding* dan *coating* [1] [15].

Struktur utama pada serat optik terdiri atas 3 lapisan, yaitu [1] [15]:

1. Inti serat optik (*Core*)

Core merupakan bagian inti pada serat optik yang berfungsi menentukan perambatan cahaya dari satu ujung ke ujung lainnya. *Core* terbuat dari bahan kimia *Silica* (SiO_2) dan ada pula dari *Germanium Dioksida* (GeO_2) dengan kualitas sangat tinggi. *Core* terdiri dari satu helai serat dengan diameter antara 8 sampai dengan 50 μm . *Core* yang tipis ini diselubungi oleh lapisan yang terbuat dari kaca atau plastik yang disebut dengan *cladding*.

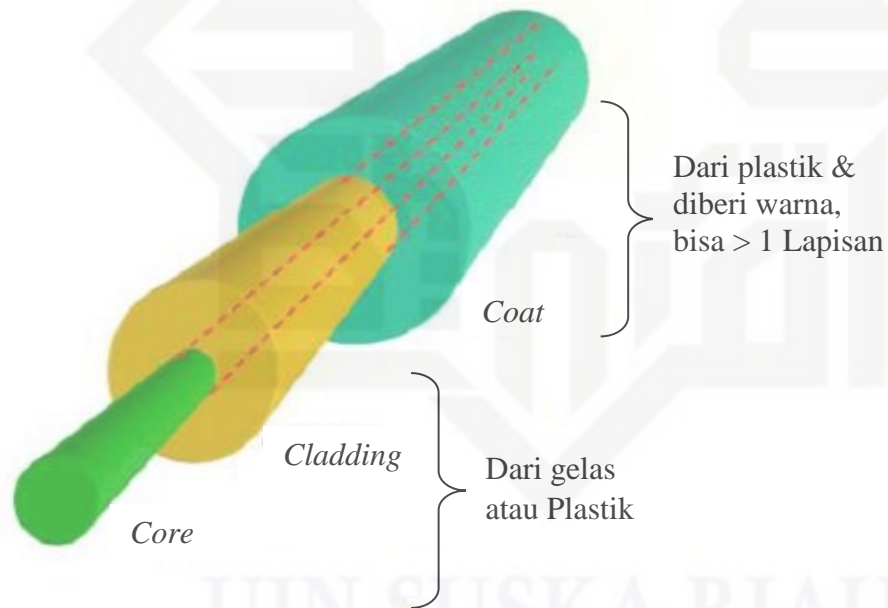


2. *Cladding*

Cladding merupakan selubung dari *core*, yang terbuat dari kaca atau plastik. *Cladding* umumnya berukuran 125 μm , berfungsi sebagai cermin yakni memantulkan cahaya yang mengarah keluar dari *core* kembali kedalam *core* lagi. *Cladding* juga berfungsi sebagai pengkodean warna dalam optik, guna membedakan serat satu dengan serat lainnya dalam satu kabel optik. *Cladding* diselubungi oleh lapisan resin yang disebut dengan *coating*.

3. *Coating*

Coating merupakan selubung dari *cladding*, yang terbuat dari bahan plastik dengan ukuran 250 μm . Lapisan ini dapat menambah kekuatan untuk serat optik, walaupun tidak memberikan peningkatan terhadap sifat gelombang pandu optik. Lapisan ini dapat menyerap cahaya dan mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran cahaya yang keluar dari selubung inti. Berikut pada Gambar 2.2. merupakan struktur utama pada serat optik.



Gambar 2.2. Struktur Utama Serat Optik [1] [15]

Berdasarkan sifat perambatan cahaya dalam serat optik, jenis-jenis serat optik dibagi atas 3, yaitu [1] [15]:

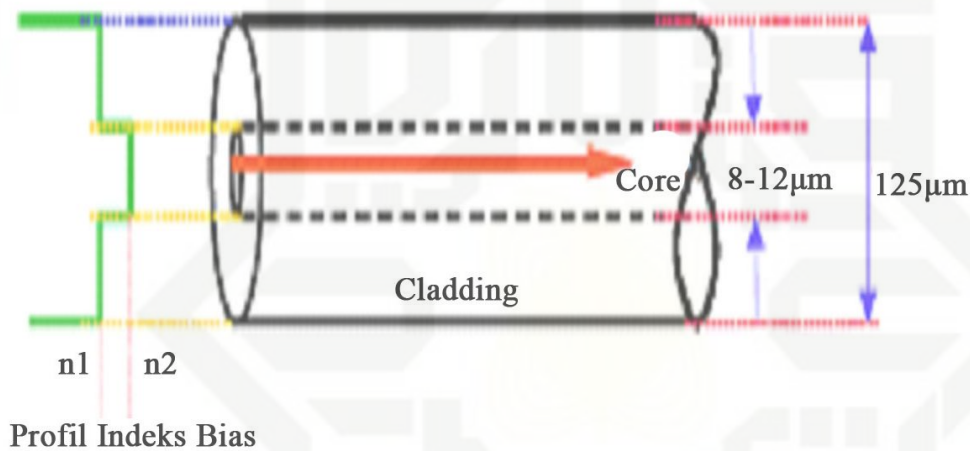
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Step Index Singlemode

Step index singlemode adalah jenis serat optik yang hanya memiliki satu *mode* atau lintasan dalam perambatan cahaya, yaitu dengan merambat lurus sejajar dengan sumbu utama serat optik sehingga tidak akan terjadi pelebaran pulsa (dispersi) disisi penerima.

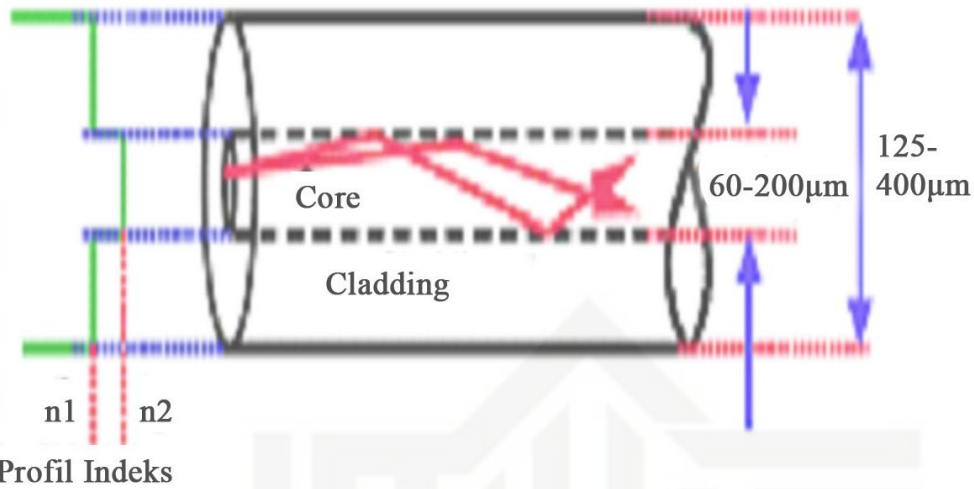
Diameter pada *core step index singlemode* sangat kecil yaitu 8-12 μm dan diameter *cladding* 125 μm . Jenis serat optik *step index singlemode* ini mampu mentransmisikan informasi dengan *bandwidth* yang besar. Berikut pada Gambar 2.3. merupakan bentuk serat optik *step indeks singlemode*.



Gambar 2.3. Serat Optik *Step Indeks Singlemode* [1] [15]

Step Index Multimode

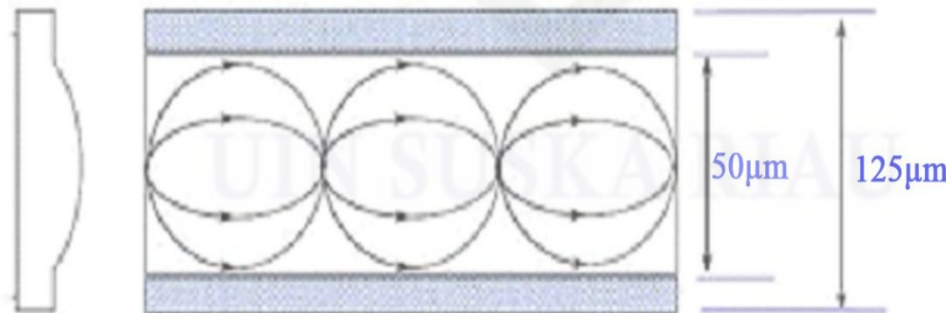
Step Index Multimode adalah jenis serat optik yang memiliki indeks bias konstan, sehingga serat ini mempunyai lebih dari satu *mode* atau lintasan dalam perambatan cahaya, yaitu dengan merambat lurus, pemantulan atau refleksi dan pembiasan atau refraksi. Dengan banyaknya jenis perambatan cahaya dalam serat ini, mengakibatkan serat ini memiliki dispersi (pelebaran pulsa) yang besar, sehingga memiliki *bit rate* yang rendah. Namun disisi lain, karena serat ini memiliki diameter *core* lebih besar yakni 50 sampai dengan 200 μm , hal ini memudahkan dalam proses penyambungan kabel. Pada Gambar 2.4. merupakan bentuk serat optik jenis *step index multimode*.



Gambar 2.4. Serat Optik *Step Index Multimode* [1] [15]

3. *Graded Index Multimode*

Graded Index Multimode adalah jenis serat optik yang memiliki indeks bias yang berbeda. Pada serat ini perambatan berkas cahaya akan melengkung ke arah inti, sehingga indeks bias tertinggi terletak pada inti (*core*). Walaupun lintasan yang ditempuh mempunyai jarak yang berbeda, namun waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *output* relatif sama, sehingga pulsa di *output* mengalami dispersi yang kecil dibandingkan dengan *step indeks multimode*. Pada Gambar 2.5. merupakan bentuk serat optik jenis *graded indeks multimode*.



Profil Indeks Bias

Gambar 2.5. Serat Optik *Graded Index Multimode* [1] [17]

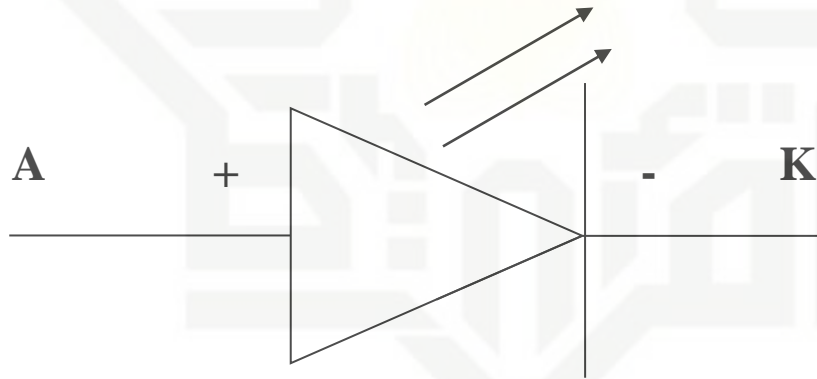


2.4 Sumber Optik

Sumber optik pada sistem komunikasi serat optik berfungsi mengubah sinyal informasi (data, audio dan *video*) berupa sinyal elektrik, menjadi sinyal optik dalam bentuk energi cahaya (*E/O converter*). Pemilihan sumber optik yang akan digunakan, bergantung pada *bit rate* yang ditransmisikan. Ada dua jenis sumber optik, yaitu *Light Emiting Diode* (LED) dan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) [1].

1. *Light Emiting Diode* (LED)

LED merupakan *diode* semikonduktor dengan arah pancaran cahaya kurang terarah karna sifatnya yang *spontan emission*. LED mengubah besaran arus menjadi besaran intensitas cahaya. LED memiliki lebar spektral 30 sampai 50 nm pada panjang gelombang 850 nm, dan 50 sampai 150 nm pada panjang gelombang 1300 nm. Cahaya yang dipancarkan LED bersifat *non-coheren* yang akan menyebabkan dispersi kromatik, sehingga LED hanya cocok untuk transmisi data dengan *bit rate* yang rendah sampai dengan sedang. Daya *output* LED adalah -33 sampai dengan -10 dBm [1]. Pada Gambar 2.6. merupakan simbol LED.

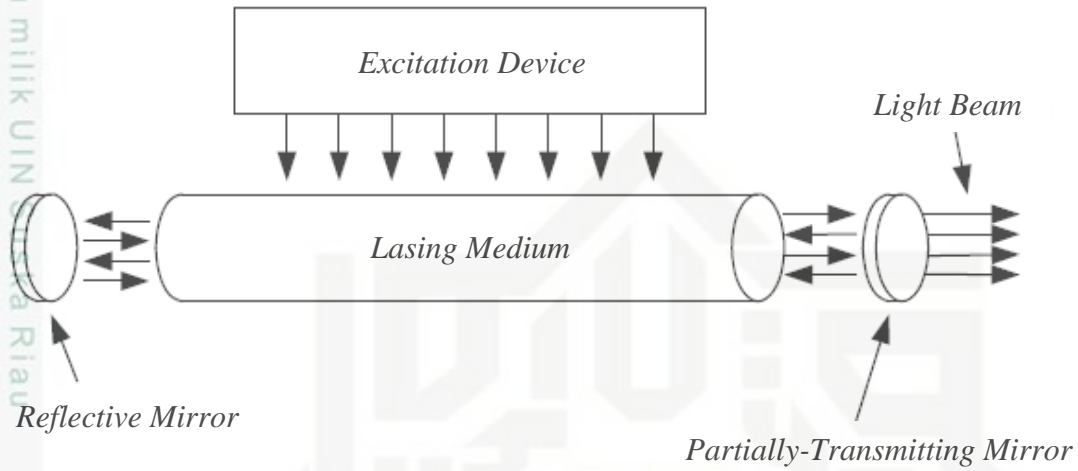


Gambar 2.6. Simbol LED [15]

2. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER)

LASER merupakan *diode* semikonduktor dengan arah pancaran cahaya terarah, karna sifatnya yang *stimulated emission*. LASER memiliki lebar spektral yang lebih sempit (s.d. 1 nm), sehingga dispersi kromatik dapat ditekan. Kinerja dari LASER dilihat dari aspek daya *ouput* optik, panjang gelombang, serta umur sistem yang sangat dipengaruhi oleh *temperature* operasi. Cahaya yang dipancarkan oleh LASER bersifat

coheren, sehingga LASER diterapkan untuk transmisi data dengan *bit rate* yang tinggi. Daya *output* LASER adalah -12 sampai dengan +3 dBm [1]. Pada Gambar 2.7. merupakan struktur dasar LASER.



Gambar 2.7. Struktur Dasar LASER [15]

2.5 Photodetector

Photodetector atau *detector* optik merupakan perangkat pada bagian penerimaan cahaya. *Photodetector* berfungsi mengubah bentuk sinyal optik yang diterima dari *transmitter*, menjadi sinyal elektrik seperti semula. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh sebuah *photodetector* yaitu [1].

1. Sensitivitas tinggi terhadap daerah operasi panjang gelombang.
2. Respon yang cepat, dalam ns.
3. *Noise* yang dihasilkan kecil.
4. Memiliki *bandwidth* yang cukup, untuk mentransmisikan *bit rate* daya yang diterima.
5. Tidak peka terhadap perubahan suhu.
6. Kompatibel dengan dimensi kabel.
7. Memiliki waktu operasi yang lama, dan
8. Ukurannya kecil.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

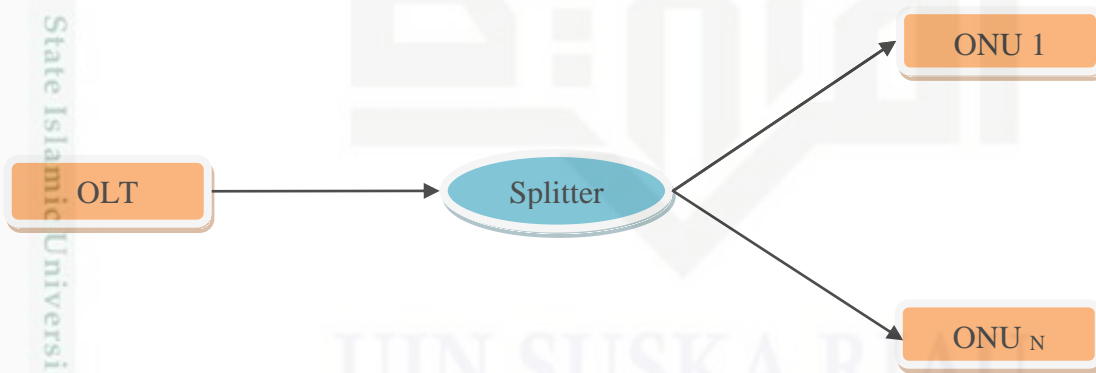


Ada dua jenis *photodetector* dalam sistem komunikasi serat optik, yaitu *diode P Intrinsic N* (PIN) dan *diode Avalanche Photo Diode* (APD) [1]. Adapun perbedaan antara dua jenis *photodetector* PIN dan APD, adalah sebagai berikut [15].

1. PIN digunakan untuk komunikasi jarak pendek. Sedangkan, APD digunakan untuk komunikasi jarak yang jauh, karena APD bekerja sangat baik pada panjang gelombang 1300 nm, 1500 nm serta 1550 nm.
2. PIN bekerja efisien untuk *bit rate* yang rendah dengan sensitivitas yang tinggi terhadap sistem yang menggunakan LED sebagai sumber optiknya. Sedangkan APD bekerja sangat baik untuk *bit rate* yang tinggi dengan sensitivitas dan respon yang tinggi terhadap sistem yang menggunakan LASER sebagai sumber optiknya.

2.6 Passive Optical Network (PON)

PON merupakan sistem komunikasi jaringan optik *point to multipoint*, dimana komponen *passive splitter* digunakan untuk pendistribusian daya optik ke semua cabang di dalam jaringan *point to multipoint* tersebut. Dengan menggunakan komponen pasif, PON menawarkan instalasi yang *low price*, fleksibilitas yang tinggi dan cakupan wilayah yang luas [3]. Arsitektur utama pada PON, terdiri dari *Optical Line Terminal* (OLT), *passive splitter* dan *Optical Network Unit* (ONU). Berikut pada Gambar 2.8. merupakan asitektur PON.



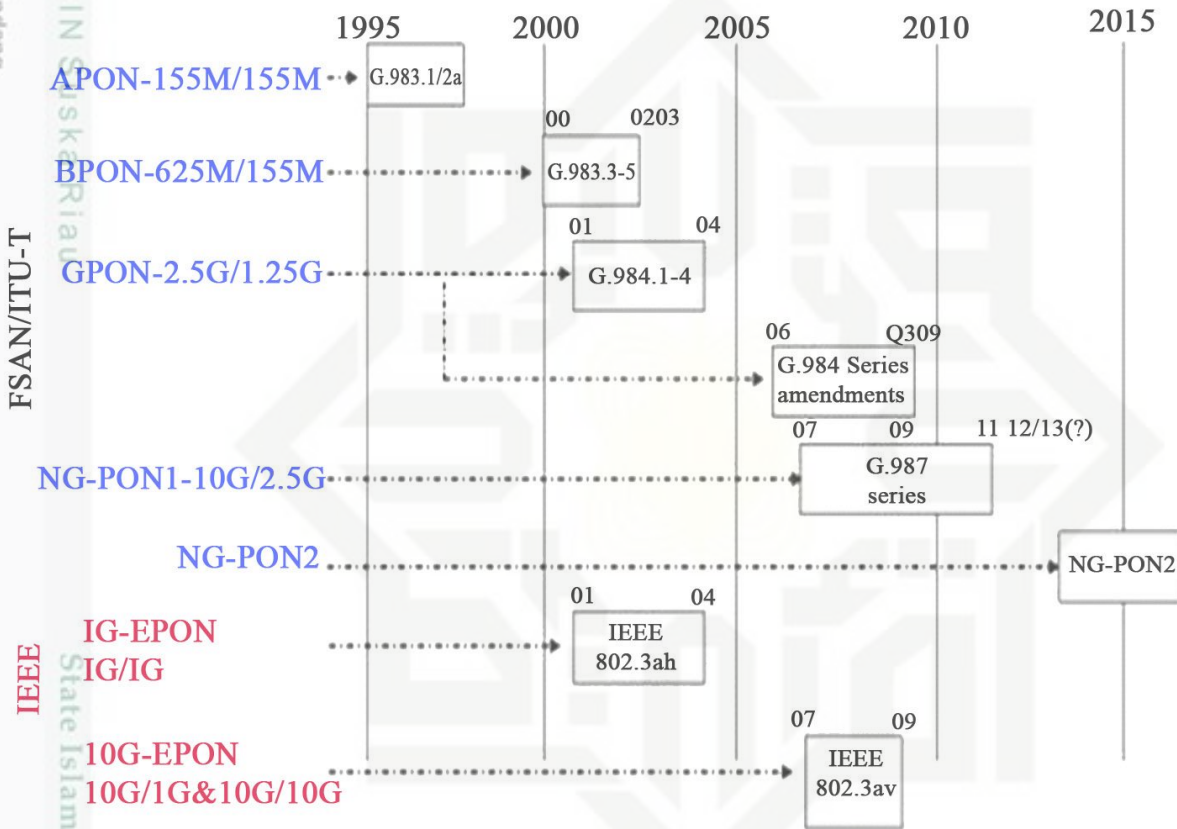
Gambar 2.8. Arsitektur PON [4]

Sejak tahun 1995 PON mengalami perkembangan yang cukup pesat, dimulai dari *ATM over Passive Optical Network* (A/B-PON) dengan kapasitas 622 Mb/s *downstream* dan 155 Mb/s *upstream*, *Ethernet Passive Optical Network* (E-PON) dengan kapasitas 1,2 Gb/s

Hak cipta dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



downstream dan 1,2 Gb/s upstream, Gigabit Passive Optical Network (G-PON) dengan kapasitas 2,4 Gb/s downstream dan 1,2 Gb/s upstream, 10 Gigabit-capable Passive Optical Network / Next Generation Passive Optical Network 1 (XG-PON/ NG-PON1) dengan kapasitas 10 Gb/s downstream dan 2,5 Gb/s upstream, sampai dengan teknologi PON yang terbaru saat ini yaitu Next Generation Passive Optical Network 2 (NG-PON2) [4]. Berikut pada Gambar 2.9. merupakan perkembangan PON sejak tahun 1995.



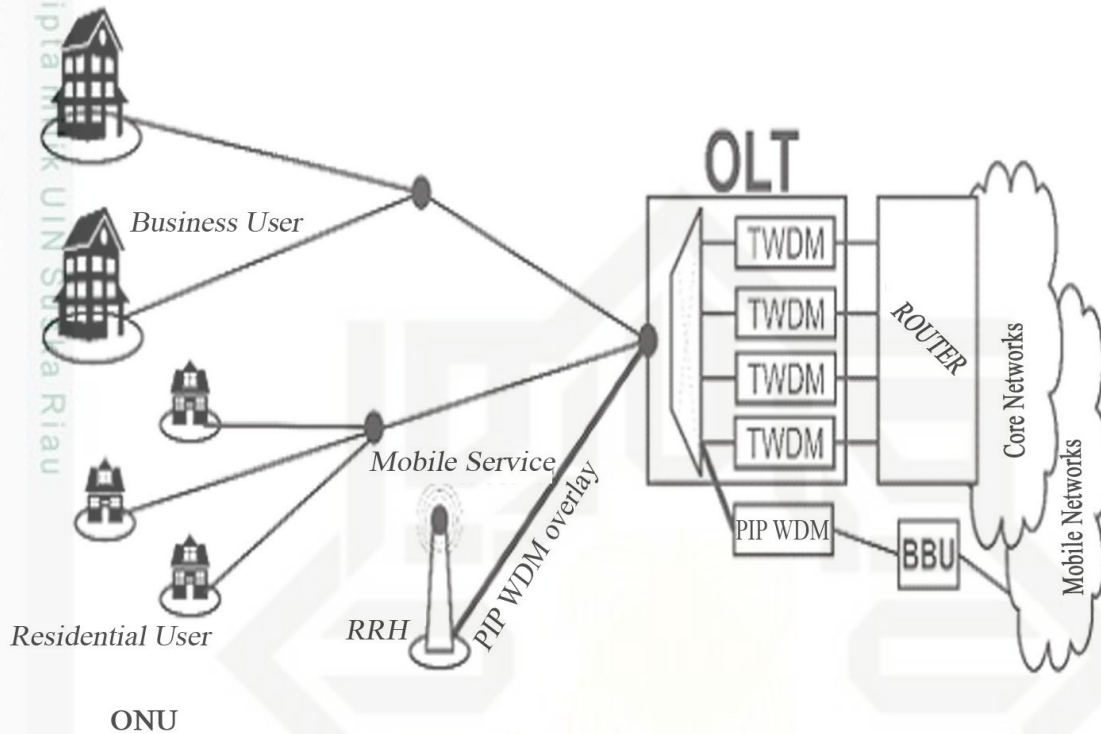
Gambar 2.9. Perkembangan PON Sejak Tahun 1995 [4]

2.7 Next Generation Passive Optical Network 2 (NG-PON2)

Next Generation Passive Optical Network 2 (NG-PON2) merupakan penemuan teknologi PON yang terbaru saat ini. NG-PON2 diprakarsai oleh Full Service Access Network (FSAN) dan ITU-T pada tahun 2011[7]. FSAN merupakan forum yang dibentuk oleh ITU-T untuk membahas teknologi telekomunikasi terbaru, khususnya dalam teknologi PON. Di tahun 2013, ITU-T mengeluarkan standar untuk NG-PON2 dalam ITU-T Rec. G. 989 series yang

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

didalamnya termasuk G.989, G.989.1, G.989.2. tentang persyaratan umum untuk NG-PON2 [15]. Pada Gambar 2.10 merupakan arsitektur umum pada NG-PON2.



Gambar 2.10. Arsitektur NG-PON2 [15]

NG-PON2 mendukung kapasitas 40 Gb/s di sisi *downstream* dan 10 Gb/s di sisi *upstream* dengan panjang *link* maksimum 40 Km. NG-PON2 mampu mendukung lebih dari 64 ONU setiap satu OLT, dengan kecepatan pada setiap ONU yaitu 1 Gb/s disisi *downstream* dan 500 Mb/s disisi *upstream*. Teknik *multiplexing* yang ditetapkan adalah teknik *Time and Wavelength Division Multiplexing* (TWDM-PON) [2] [4] [5] [6] [7] [15].

TWDM-PON merupakan gabungan dari teknik *Time Division Multiplexing* (TDM) dan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) dengan memanfaatkan kelebihan dan menutupi kekurangan dari masing-masing teknologi tersebut. Teknik TDM digunakan pada proses *upstream* dan WDM pada proses *downstream* [2] [4] [5] [6] [7] [15]. Dalam teknik TDM, informasi direpresentasikan kedalam sebuah *time slot* dan kemudian digabung lalu ditransmisikan pada panjang gelombang tertentu ke dalam satu kanal serat optik. TDM



memiliki kekurangan dalam kecepatan transmisi data, namun hal itu ditutupi dengan kelebihan WDM yang mampu mentransmisikan beberapa panjang gelombang secara bersamaan dalam satu serat optik [3] [15]. Teknik TWDM merupakan peningkatan dari sistem sebelumnya yang ada pada NG-PON1 (*downstream* 10 Gigabit per second (Gb/s) dan *upstream* 2.5 Gb/s), yakni dengan cara menggabungkan 4 pasang panjang gelombang di sisi *downstream* dan *upstream* sehingga kapasitas nominal untuk *downstream* menjadi 40 Gb/s (4 x 10 Gb/s), dan kapasitas untuk *upstream* menjadi 10 Gb/s (4 x 2,5 Gb/s) [2] [4] [5] [6] [7] [15]. Dengan teknik TWDM, terdapat 3 macam kecepatan transmisi yang dapat dilayani, yaitu 2.5 Gb/s di kedua sisi *downstream* dan *upstream*; 2,5 Gb/s *downstream* 10 Gb/s *upstream* dan 10 Gb/s di kedua sisi *downstream* dan *upstream* [6]. Dalam standar ITU-T Rec. G.989, daya kirim TWDM berkisar 0-10 dBm (*bit rate* 2,48832 Gb/s disisi *downstream*), 3-11 dBm (*bit rate* 9,95328 Gb/s disisi *downstream*), dan 0-9 dBm (*bit rate* 2,48832 Gb/s disisi *upstream*) serta 4-9 dBm (*bit rate* 9,95328 disisi *upstream*) [5] [6]. Pengaplikasian teknologi TWDM-PON ini adalah layanan *Pay-As-You-Grow*, dimana kapasitas *bandwidth* dapat ditingkatkan secara langsung dengan penambahan panjang gelombang [7].

2.8 Dispersi

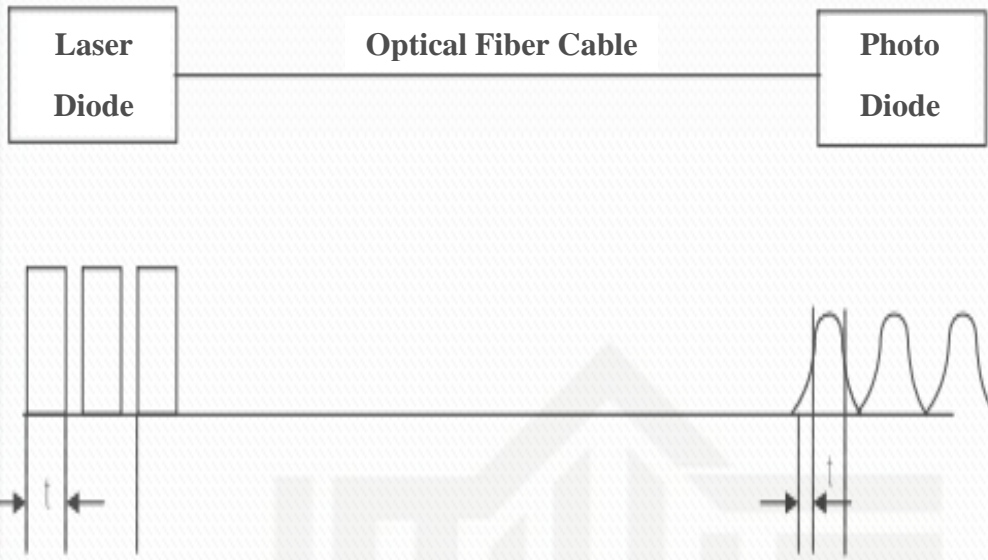
Dispersi dalam sistem komunikasi optik merupakan suatu kondisi dimana lebar pulsa sinyal *input* yang ditransmisikan merambat sepanjang kabel serat optik, sehingga lebar pulsa menjadi lebih lebar setelah sampai di sisi penerima. Satuan dispersi adalah ns/nm.km atau ps/nm.km [1]. Dispersi berakibat buruk terhadap performansi suatu sistem, dengan menurunkan faktor kualitas (*Q-factor*) dan mengakibatkan banyaknya kesalahan bit (*bit error rate*) sehingga juga dapat berpengaruh pada jarak transmisi. Semakin jauh jarak transmisi, maka efek dispersi yang dihasilkan akan semakin besar. Dispersi tidak dapat dihilangkan, karena dispersi sebuah kabel serat optik sudah ditentukan oleh fabrikasi [18]. Berikut pada Gambar 2.11 merupakan bentuk distorsi yang terjadi disisi penerima.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.11 Dispersi dalam Sistem Komunikasi Optik [1]

2.9 Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZ-DSF)

Non-Zero Dispersion Shifted Fiber (NZ-DSF) merupakan pengembangan jenis serat *single mode fiber*, untuk mengatasi masalah pada dispersi serat bergeser [11]. NZ-DSF merupakan suatu jenis serat optik khusus dengan kemampuan menekan efek dispersi, sehingga NZ-DSF dapat meningkatkan jarak transmisi sistem. Selain itu NZ-DSF juga mampu mengurangi *crosstalk* [10]. NZ-DSF distandarisasi oleh ITU-T dalam ITU-T *Rec. G.655*. NZ-DSF tersedia dengan D+ (dispersi positif) dan D- (dispersi negatif) yang menjadikan NZ-DSF memiliki toleransi yang tinggi terhadap efek distorsi pada panjang gelombang 1530-1563 nm dengan koefisien dispersi kromatik maksimum 6 ps/nm.km dan pada panjang gelombang 1565-1625 nm dengan koefisien dispersi kromatik maksimum 11,2 ps/nm.km, sehingga sangat cocok untuk aplikasi *long haul* [8]. Adapun karakteristik NZ-DSF yang telah distandarisasi ITU-T dalam ITU-T *Rec. G.655*, diantaranya ditunjukkan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.



Tabel 2.1 Karakteristik NZ-DSF dalam ITU-T Rec. G.655

Karakteristik	Keterangan	Nilai
Koefisien Atenuasi/ Redaman	Maksimum di 1460 nm	0,4 dB/km
	Maksimum di 1550 nm	0,35 dB/km
	Maksimum di 1625 nm	0,4 dB/km
Koefisien Dispersi	1530-1563 nm	2 s.d 6 ps/nm.km
	1565-1625 nm	4,5 s.d 11,2 ps/nm.km
Koefisien PMD	Maksimum	0,20 ps/nm.km

2.10 Dispersion Compentation Fiber (DCF)

Dispersion Compentation Fiber (DCF) adalah suatu kompensator dengan jenis serat khusus yang berfungsi mengkompensasi dispersi sinyal dengan nilai koefisien dispersi negatif. Penggunaan DCF diusulkan sejak tahun 1980 ketika amplifier optik diciptakan [14]. DCF merupakan kompensator yang memiliki karakter yang stabil sehingga tidak peka terhadap perubahan suhu, dan juga memiliki *bandwidth* yang lebar [18]. Pada serat optik SMF, dispersi yang terjadi adalah dispersi positif, sedangkan DCF memiliki dispersi negatif, sehingga hasil dispersi rata-rata akan mendekati nol. Hal ini nantinya akan berpengaruh baik dalam performansi sistem yakni terhadap penurunan BER dan peningkatan *Q-factor* suatu sistem.

DCF memiliki dispersi negatif yang tinggi, yakni -80 ps/nm/km dan dapat digunakan untuk mengkompensasi dispersi positif pada serat transmisi di daerah *C-band* (1520-1625 nm). Berdasarkan posisi peletakkan kompensasi DCF dalam sistem komunikasi optik, terdapat 3 macam skema peletakkannya yakni *Pre*, *Post* dan *Mix*. Dalam skema *pre* kompensasi, DCF diletakkan sebelum serat utama. Dan, dalam skema *pro* kompensasi, DCF diletakkan setelah serat utama. Dan yang terakhir dalam skema *mix* kompensasi, dimana hal ini merupakan gabungan *pre* dan *pro* kompensasi yakni DCF diletakkan sebelum dan sesudah serat utama. [14] [18].

DCF merupakan serat optik yang telah dimodifikasi untuk menghasilkan nilai dispersi negatif yang besar. Untuk mengkompensasi nilai dispersi pada SMF dengan jarak tertentu (L_{SMF}), dilakukan dengan cara penambahan DCF sepanjang serat yang ditentukan (L_{DCF}). Misalnya jika sinyal optik merambat melalui SMF, maka sinyal mengalami dispersi sepanjang



L_{SMF} , dan D_{SMF} adalah dispersi per satuan panjang. Kemudian DCF direalisasikan dengan memotong kabel SMF dengan panjang L_{DCF} dan menghasilkan dispersi sebesar nilai D_{DCF} . Dengan hal itu, maka D_{DCF} akan menghilangkan nilai D_{SMF} [22]. Adapun persamaan untuk menentukan panjang DCF adalah sebagai berikut [22]:

$$(D_{SMF} \times L_{SMF}) + (D_{DCF} \times L_{DCF}) = 0 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

D_{SMF} : Dispersi serat SMF

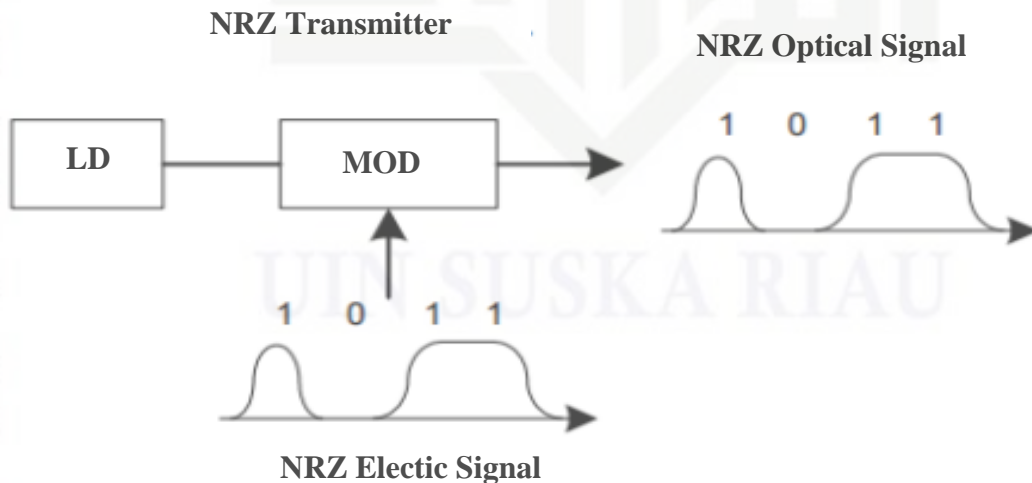
D_{DCF} : Dispersi serat DCF

L_{SMF} : Panjang serat SMF

L_{DCF} : Panjang serat DCF

2.11 Non Return Zero (NRZ)

Non Return Zero (NRZ) merupakan format modulasi yang merepresentasikan sinyal yang masuk apabila ada cahaya sebagai bit “1” dan sinyal yang tidak ada cahaya atau tidak adanya sinyal yang ditransmisikan dengan bit “0”. Format NRZ merupakan kode yang sederhana dalam membangkitkan dan mendeteksi sinyal [15]. Blok *transmitter* NRZ ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 Blok *transmitter* NRZ [15]

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



2.12 Crosstalk

Crosstalk (bicara silang) merupakan suatu gangguan dalam sistem telekomunikasi, dimana suatu sinyal yang seharusnya berakhir di saluran tertentu (*output*), namun berakhir di saluran yang lain. Hal ini menjadi *noise* bagi saluran lain tersebut. *Crosstalk* dapat terjadi pada dua keadaan, pertama yaitu apabila sinyal yang bersampingan beroperasi pada panjang gelombang yang berbeda (*interchannel crosstalk*). Dan, keadaan yang kedua yaitu apabila sinyal informasi asli beroperasi pada panjang gelombang yang sama dengan sinyal interferensi (*intrachannel crosstalk*). Adapun batas maksimum nilai *crosstalk* yang masih ditolerir adalah -40 dBm [20]. Untuk melakukan perhitungan *crosstalk* dapat menggunakan persamaan matematis berikut ini [20]:

$$\sigma^2 = M \cdot b^2 \cdot R_d^2 \cdot P_s^2 \{ 2\epsilon_{adj} + (N-3) \epsilon_{nonadj} + X_{switch} \} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

M: Jumlah saluran *input*

b: Perbandingan tinggi puncak suatu sinyal

N: Kanal keluaran

R_d: Detektor Respon

P_s: Daya Input Sinyal

ϵ_{adj} : *Crosstalk* efektif kanal yang berdekatan

ϵ_{nonadj} : *Crosstalk* efektif kanal yang tidak berdekatan

X_{switch}: Nilai *Crosstalk* (dalam satuan linier) pada suatu *optical switch*

2.13 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan parameter performansi untuk jaringan komunikasi digital. BER didefinisikan sebagai jumlah kemungkinan kesalahan bit (N_E) yang terjadi selama suatu rentang waktu tertentu, dibagi dengan jumlah bit (N_T) yang dikirim dalam rentang waktu tersebut. Dalam komunikasi optik, indikator keberhasilan suatu sistem dilihat dari sensitifitas pada *receiver* yang mencapai minimum BER 10⁻¹² sesuai dengan standar ITU-T pada sistem WDM. Hal ini dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis berikut:

$$BER = N_E / N_T \dots\dots\dots (2.3)$$

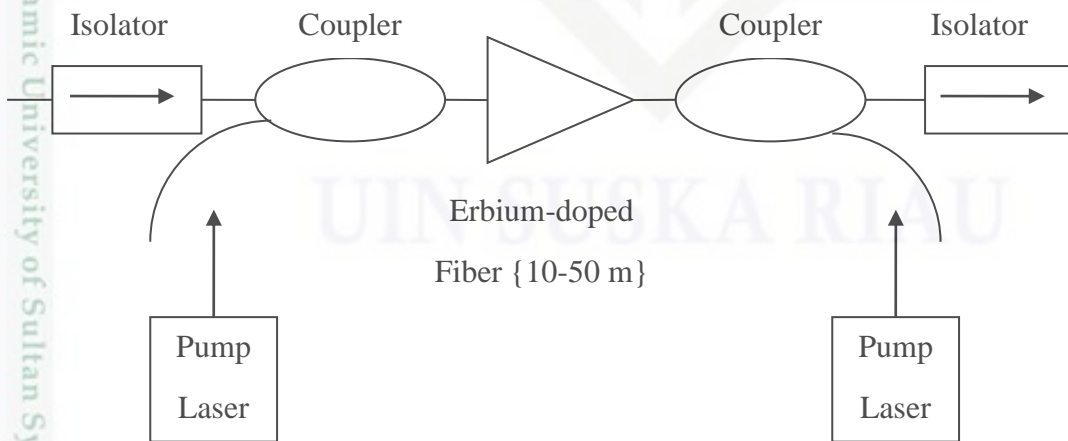
Dimana:

N_E : Jumlah bit yang salah

N_T : Jumlah bit diterima

2.14 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) adalah suatu jenis penguat sinyal dalam komunikasi optik yang mampu meningkatkan kualitas jaringan optik. EDFA merupakan *Optical Amplifier* (OA) yang dapat bekerja baik pada panjang gelombang 1550 nm, sehingga cocok digunakan untuk komunikasi *long haul*. OA ini mampu melakukan proses penguatan tanpa perlu melakukan konversi sinyal tersebut menjadi sinyal elektrik. EDFA merupakan serat optik aktif yang diberi *doping* unsur Erbium (Er^{3+}). Serat yang terkandung unsur erbium dapat mengurangi penggunaan perangkat penguat sinyal seperti *repeater* yang biasanya terdapat dalam sistem komunikasi konvensional untuk menguatkan kembali sinyal optik yang melemah dalam proses pentransmisian [14] [25]. Dalam pengaplikasiannya, EDFA dapat ditempatkan setelah *transmitter (booster amplifier)*, ditempatkan diantara pengirim dan penerima (*in-line amplifier*) dan ditempatkan sebelum *photodetector (pre amplifier)* [14]. Arsitektur sistem penguat optik dapat digambarkan seperti yang terlihat pada gambar 2.13 dibawah ini [14].



Gambar 2.13 Arsitektur EDFA [14]