

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terkait

Wavelength Division Multiplexing (WDM) merupakan teknik *multiplexing* yang digunakan dalam komunikasi serat optik yang berguna untuk menggabungkan beberapa panjang gelombang (Finisar, 2008). Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Afif Saifuddin (2013) menyatakan bahwa WDM dapat diintegrasikan dengan teknologi jaringan akses *Passive Optical Network* (PON), *hybrid* teknologi ini dapat meningkatkan kapasitas dan kecepatan akses kepada pelanggan.

PON merupakan sistem komunikasi *point to multipoint* dengan memanfaatkan komponen *passive splitter* dalam melakukan pencabangan daya optik ke seluruh cabang yang ada dalam sistem tersebut. PON muncul sebagai teknologi jaringan akses yang menawarkan fleksibilitas yang tinggi, cakupan wilayah yang luas dan hemat biaya untuk jaringan *point to multipoint* (Sri mayanti, 2015). PON dikembangkan sejak tahun 1995 oleh forum internasional yaitu *International Telecommunication Union-T* (ITU-T), dimulai dari *ATM over Passive Optical Network* (APON/BPON), *Gigabit Passive Optical Network* (GPON), *10 Gigabit-capable Passive Optical Network* (X-GPON) dan *Next Generation Passive Optical Network stage 2* (NGPON-2).

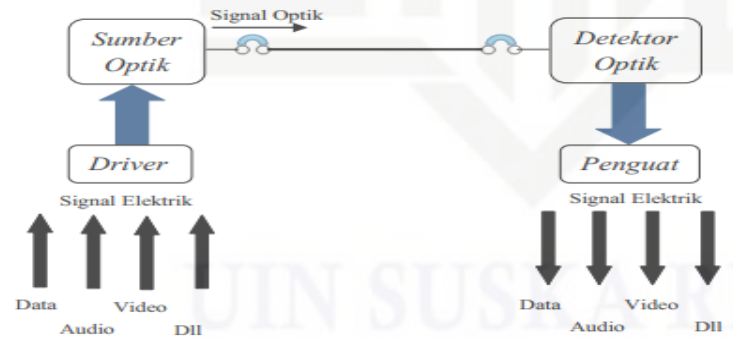
Nisha Rani pada tahun 2017, melakukan penelitian tentang desain dan implementasi WDM *bidirectional* pada teknologi PON. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *hybrid* sistem WDM-PON *bidirectional*, mampu mencapai jarak transmisi hingga 120 km. Pada penelitian Brian Pamukti pada tahun 2017 melakukan penelitian pada teknologi terbaru PON, yakni NGPON2 yang mana dalam rekomendasi ITU-T G. 989 *series* sistem *multiplexing* yang digunakan adalah TWDM-PON. Penelitian ini mengujikan *bit rate* 10, 20 dan 40 *Gigabit per second* (Gbps) dengan *line coding* NRZ dan *channel spacing* 0,8 nm. Hasilnya menunjukkan bahwa, performansi sistem ini hanya mampu mencapai jarak transmisi 100 Km dengan penggunaan serat kompensasi dispersi pada uji *bit rate* 40 Gbps. Selanjutnya Penelitian Famarz E. Seraji pada tahun 2017, melakukan analisa perbandingan format modulasi NRZ dan RZ pada sistem WDM untuk melihat pengaruh format modulasi yang digunakan pada performansi sistem dengan uji jarak transmisi 100 km. Hasilnya menunjukkan bahwa performansi sistem menggunakan format modulasi RZ, lebih baik daripada menggunakan

format modulasi NRZ. Hal ini ditunjukkan dari nilai minimum BER untuk modulasi RZ sebesar 10^{-256} , dan untuk modulasi NRZ sebesar 10^{-183} .

2.2 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi pada umumnya terdiri dari adanya *transmitter* (pengirim) dan *receiver* (penerima), serta sistem komunikasi serat optik terdiri dari sumber optik, serat optik, *detector* optik. Pengirim yang bertugas untuk mengolah dan mengirimkan informasi yang akan dikirim melalui media transmisi. Media transmisi yang berfungsi untuk melewati informasi dari pengirim dan penerima. Sedangkan penerima berfungsi menerjemahkan informasi yang dibawa media transmisi sehingga informasi yang di dapat sesuai dengan informasi asli. Perbedaan pada setiap jenis sistem komunikasi terletak pada media transmisi yang digunakan. Media transmisi terdiri dari kabel tembaga, serat optik dan udara. (Sri, 2015)

Sistem komunikasi serat optik menggunakan sinyal-sinyal informasi dalam bentuk cahaya yang disalurkan melalui serat optik. Sinyal informasi yang dikirimkan tersebut dapat berupa sinyal audio, video ataupun data dalam bentuk sinyal elektrik dan kemudian diubah menjadi sinyal optik sebelum di transmisikan melalui serat optik. Berikut adalah gambar sederhana dari sistem komunikasi optik.



Gambar 2.1 Alur Sistem Komunikasi Serat Optik
(Endy Kusuma, 2008 ; Sri Mayanti, 2015)

Pada gambar 2.1 diatas dapat di lihat sinyal informasi berupa data, audio, video dan lain lain dalam bentuk sinyal elektrik yang kemudian di konversi menjadi sinyal optik. Sumber optik diperlukan untuk mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik yang menghasilkan intensitas cahaya yang dapat diatur sesuai sinyal elektrik yang mengendalikannya. Sama hal

nya dengan sisi penerima yang membutuhkan detector optik yang dapat mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik sesuai dengan aslinya. (Endy Kusuma, 2008)

2.2.1 Serat Optik

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

Serat optik juga 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 (Saydam, 1997).

Struktur serat optik terdiri dari 3 lapisan yaitu (Sudaryanto, 2010):

1. *Core* (inti serat optik)

Core terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas sangat tinggi, *core* Merupakan bagian utama dari serat optik yang merupakan tempat perambatan cahaya sebenarnya. *Core* memiliki diameter 8 μm - 50 μm . Ukuran *core* ini sangat mempengaruhi karakteristik serat optik (*singlemode* atau *multimode*).

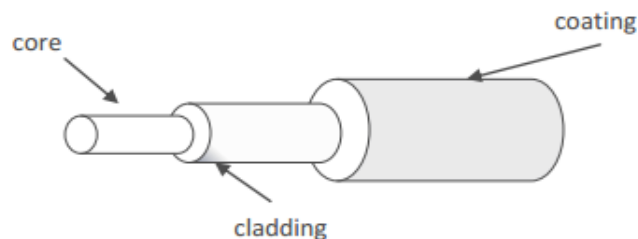
2. *Cladding*

Cladding merupakan tempat pembiasan cahaya yang memiliki *index* bias lebih kecil dari *index* bias *core*. *Cladding* merupakan selubung dari *core* yang akan mempengaruhi perambatan yaitu apakah dibiaskan atau dipantulkan. *Cladding* terbuat dari bahan gelas atau plastik.

3. *Coating*

Coating berfungsi sebagai pelindung serat optik yang terbuat dari bahan plastik.

Gambar 2.1 berikut menampilkan konfigurasi dari struktur serat optik :



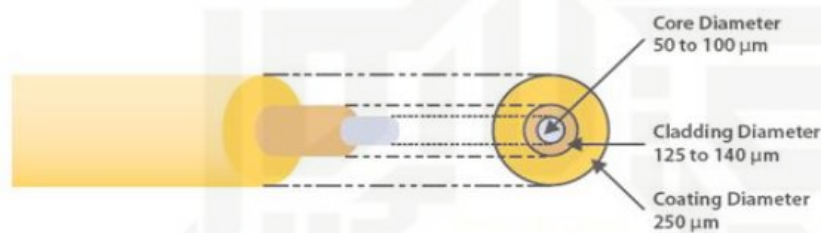
Gambar 2.2. Struktur Serat Optik (Muh Sulaiman, 2014)

Berdasarkan cara perambatannya, jenis-jenis serat optik terbagi menjadi 3 yaitu (Sudaryanto, 2010):

1. *Step Index Singlemode*

Step index singlemode ini merupakan jenis serat optik yang hanya mempunyai satu jenis perambatan cahaya, yaitu merambat lurus (sejajar dengan sumbu utama serat optik). Diameter *core step index singlemode* sangat kecil yaitu 8-12 μm . Jenis serat optik ini memiliki *bit rate* yang besar.

Berikut ini adalah gambar perambatan *step index singlemode* :



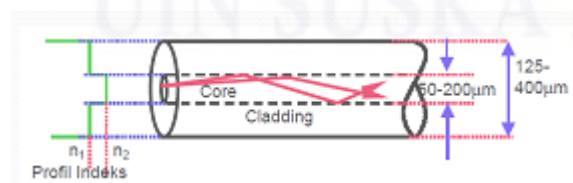
Gambar 2.3. *Serat optik Singlemode* (Slamet Riyadi, 2016)

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. Pada *step index multimode*, diameter *core* besar dan dilapisi *cladding* yang tipis. Serat optik jenis ini memiliki *bit rate* rendah, serta memiliki dispersi yang besar karena mempunyai banyak perambatan cahaya sehingga terjadi pelebaran informasi pada penerimaannya.

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

Berikut ini adalah gambar perambatan *step index multimode* :

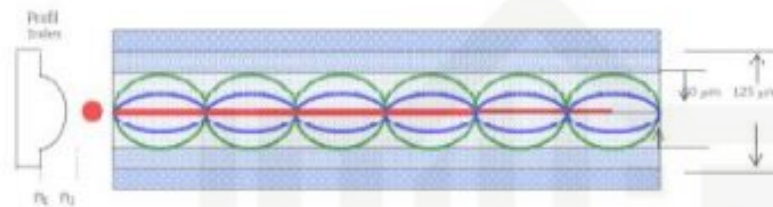


Gambar 2.4. *Serat optik Multimode* (Sudaryanto, 2010)

3. Graded Index Multimode

Serat optik *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 karena cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan walaupun terjadi banyak lintasan propagasi.

Berikut ini adalah gambar perambatan *graded index multimode* :



Gambar 2.5. Serat optik *Graded Index Multimode* (Sudaryanto, 2010)

Karakteristik dari serat optik *Graded Index Multimode* adalah sebagai berikut:

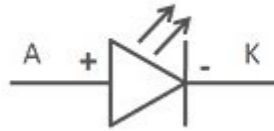
1. Cahaya merambat karena difraksi yang terjadi pada *core* sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat.
2. Dispersi minimum sehingga baik jika digunakan untuk jarak menengah.
3. Ukuran diameter *core* lebih kecil dari *step Index multimode*, yaitu antara 30 μm – 60 μm , yang terbuat dari bahan *silica glass*.

Harganya lebih mahal dari serat optik *Step Index Multimode* karena proses pembuatannya lebih sulit.

2.2.2 Sumber Optik

Sumber optik merupakan pembangkit cahaya pada sistem pada sistem komunikasi serat optik. Terdapat dua jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mengirim cahaya informasi melalui serat optik, yaitu *Light Emitting Diode (LED)* dan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)*.

1. *Light Emitting Diode (LED).*

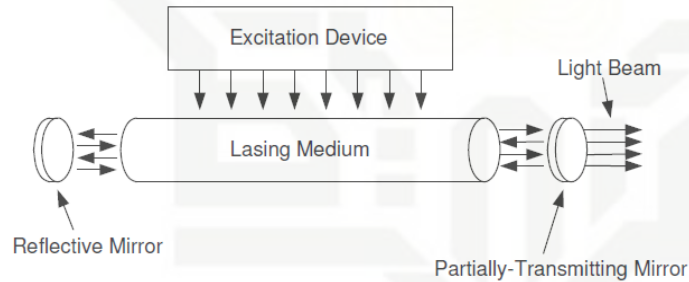


Gambar 2.6. Simbol LED

(Sumber : Aulia Satria, 2016)

LED merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme emisi spontan. LED mengubah besaran arus menjadi besaran intensitas cahaya. Cahaya yang dipancarkan LED bersifat tidak koheren yang akan menyebabkan dispersi kromatik sehingga LED hanya cocok untuk transmisi data dengan *bit rate* yang rendah sampai sedang. Daya keluaran LED adalah -33 s.d. -10 dBm. LED memiliki lebar spektral (*spectral width*) 30-50 nm pada panjang gelombang 850 nm dan 50 -150 nm pada panjang gelombang 1300 nm (Rika Susanti, 2012).

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



Gambar 2.7 Struktur Dasar Laser

(Sumber : Aulia Satria, 2016)

Dioda laser merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme pancaran/emisi terstimulasi (*stimulated emission*). Cahaya yang dipancarkan oleh laser bersifat koheren. Diode laser memiliki lebar spektral yang lebih sempit (s.d. 1 nm), sehingga dispersi kromatik bisa ditekan. Laser diterapkan untuk transmisi data dengan *bit rate* tinggi. Laser mempunyai daya keluaran optik -12 s.d. +3 dBm. Kinerja dari laser dilihat dari aspek keluaran daya optik, panjang gelombang, serta umur sistem yang sangat dipengaruhi oleh temperatur operasi (Rika Susanti, 2012).

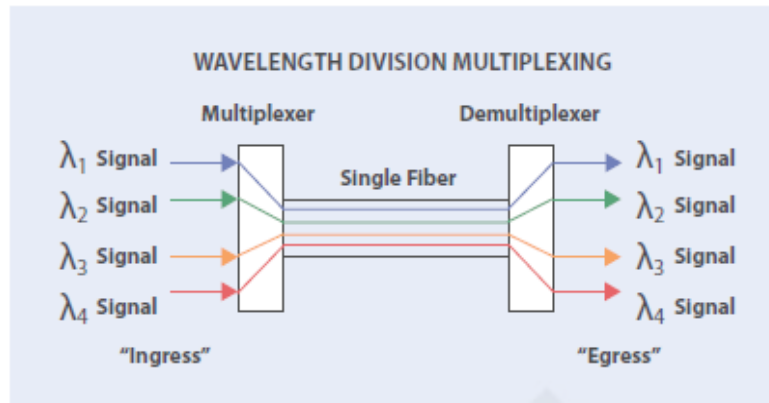
2.2.3 *Photodetector (detektor optik)*

Photodetector pada sistem komunikasi serat optik adalah perangkat penerimaan sinyal cahaya. Perancangan dan pemilihan perangkat penerima sangat berpengaruh dalam analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang dapat terdeteksi oleh *photodetector*. Dan detector transmisi serat optik ada 2 macam yaitu diode PIN dan Avalance Photo Diode (APD). Berikut beberapa perbandingan antara dua jenis detector cahaya (Muchrizam, 2012):

1. APD digunakan untuk komunikasi jarak jauh dan dapat bekerja pada panjang gelombang 1300 nm, 1500 nm serta 1550 nm dengan kualitas yang baik. APD ini memiliki respon dan sensitivitas yang tinggi terhadap LASER sebagai pembawa gelombang optik informasi.
2. Untuk jarak yang pendek lebih efisien jika menggunakan detektor PIN diode, karena PIN diode baik digunakan untuk *bit rate* rendah dan sensitivitasnya tinggi untuk system yang menggunakan LED sebagai sumber optiknya.
3. Detektor PIN bereaksi baik pada *bit rate* rendah tetapi kurang sensitive ketika *bit rate* nya di naikan
4. Detektor APD lebih sensitive pada *bit rate* tinggi. Untuk transmisi jarak jauh diperlukan daya pancar yang lebih besar dan sensitifitas yang tinggi, system komunikasi jarak jauh menggunakan LASER sebagai sumber cahaya dan APD sebagai detektor penerima. Sedangkan untuk transmisi jarak dekat cukup menggunakan LED sebagai sumber optik dan PIN detektor penerima.

2.3 *Wavelength Division Multiplexing*

Sistem WDM pertama hanya menggabungkan 2 sinyal, pada perkembangannya WDM dan beberapa system telah mengakomodasikan sejumlah panjang gelombang dalam sehelai serat optik dengan kapasitas masing masing 2,5 Gbps. Berikut prinsip dasar secara umum WDM :



Gambar 2.8 WDM Secara umum
 (Finisar, 2008; Ghazali, 2015)

Dari gambar 2.7 menjelaskan jika setiap sinyal cahaya membawa *data rate* dari 10 Gbps, kemudian digabungkan dengan 4 sinyal cahaya kedalam satu serat yang sama, meningkatkan total *data rate* empat kali lipat menjadi 40 Gbps. (Ghazali, 2015).

Keuntungan dari WDM adalah menggunakan banyak *bit rate* yang lebih rendah dan untuk mencapai total kapasitas yang tinggi digunakan daya optik pada setiap saluran (S.Revathi, 2011).

2.4 Jaringan Akses Fiber

Teknologi jaringan akses fiber adalah penggunaan kabel serat optik sebagai media transmisi dalam pengiriman data dari *central* ke pelanggan (jaringan akses). Fiber optik menjadi pilihan karena dapat mengantarkan data berkapasitas besar dengan kecepatan tinggi untuk jarak yang jauh. Penggunaan fiber optik sebagai media transmisi menyebabkan adanya proses pengalihan sinyal elektrik menjadi sinyal optik. Pengiriman data dari *central* ke pelanggan menggunakan konfigurasi *point to multipoint* (P2MP). Jaringan lokal akses fiber terbagi dari *Active Optical Network* (AON), yang ODN nya menggunakan perangkat optik aktif, dan *Passive Optical Network* (PON) yang ODN nya menggunakan perangkat optik pasif (Aldrin Fakhri, 2012).

2.4.1 *Passive Optical Network* (PON)

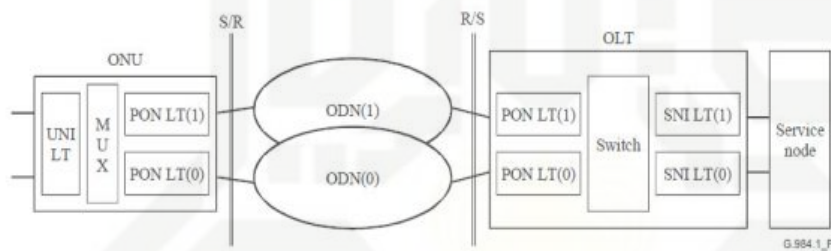
GEAPON adalah salah satu teknologi sistem komunikasi serat optik yang merupakan evolusi dari perkembangan *Passive Optical Network* (Aghina B, 2013). *Passive Optical Network* (PON) merupakan arsitektur jaringan akses *broadband* berbasis serat optik

yang menggunakan perangkat pasif optik (Aldrin Fakhri, 2012). Dalam perkembangannya PON Menjadi GPON dan kemudian menjadi NGPON.

2.4.2 Gigabit Passive Optical Network (GPON)

Gigabit Passive Optical Network (GPON) memiliki tujuan untuk mencapai kecepatan transmisi yang lebih besar dari 1,2 Gbit/s. Oleh karena itu GPON dapat memberikan layanan dengan kecepatan 1,2 Gbit/s upstream, 2,4 Gbit/s downstream dan 2,4 Gbit/s upstream, 2,4 Gbit/s downstream (Aldrin Fakhri, 2012).

GPON memiliki arsitektur sama seperti jaringan akses fiber optik pada umumnya OLT dan ONU merupakan perangkat aktif untuk menghubungkan ODN yang bersifat pasif.

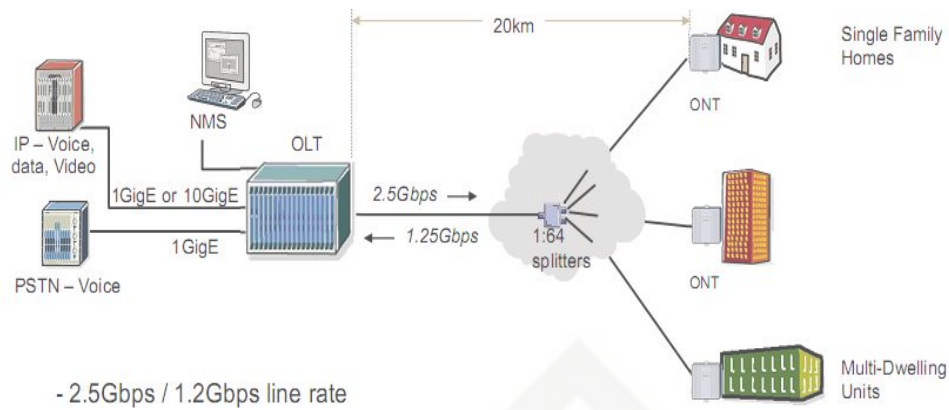


Gambar 2.9 Arsitektur GPON
(Aldrin Fakhri, 2012)

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*

Pada dasarnya PON merupakan pemecahan 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 penggunaanya sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Berikut gambar 2.5 *download* dan *1.25 upload* (Sony Fadly, 2014):



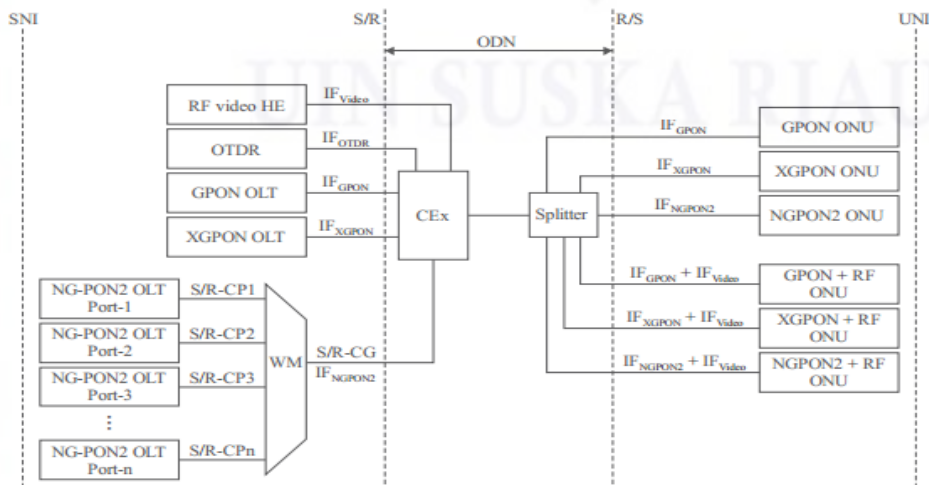
Gambar 2.10 2.5 Down 1.25 Up
 (Tyso Electronics, 2011; Sony Fadly, 2014)

2.4.3 Next Generation Passive Optical Network (NGPON)

Next Generation passive optical network (NGPON) merupakan lanjutan dari GPON yang menjadi perbedaan dari arsitektur sebelumnya ialah kecepatan akses yang cukup tinggi yaitu 40 Gbit/s (ITU-T 989.1, 2013).

Dalam system NGPON memerlukan fleksibilitas untuk jarak, kecepatan dan *split ratio* yaitu (ITU-T 989.1, 2013):

1. 40 Gbit/s Downstream dengan jangkauan 20 Km dengan split 1:64
2. 10 Gbit/s Upstream dengan jangkauan 20 Km dengan split 1:64
3. Akses maksimal 10/2.5 Gbit/s /Up/Down
4. Jangkauan yang jauh dengan split rasio yang rendah



Gambar 2.11 Arsitektur NGPON

(ITU-T 989.1, 2013)

Keterangan :

- OTDR : *Optical Time-Domain Reflectometer*
- GPON OLT : *Gigabit Passive Optical Network Optical Line Terminal*
- XGPON OLT : *XGigabit Passive Optical Network Optical Line Terminal*
- CG : *Channel Group*
- CP : *Channel Pair*
- CEx : *Intance of co exticence element*
- HE : *Head end*
- WN : *Wavelength multiplexer*
- 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*)

Next Generaion Passive Optical Network (NGPON) memiliki kelebihan diantara arsitektur sebelum nya yaitu lebih hemat dalam mengkonsumsi energi tanpa harus mengurangi kualitas layanan dan kecepatan yang dapat di berikan oleh arsitektur NGPON mencapai 40 Gbit/s (ITUT-989.1, 2013).

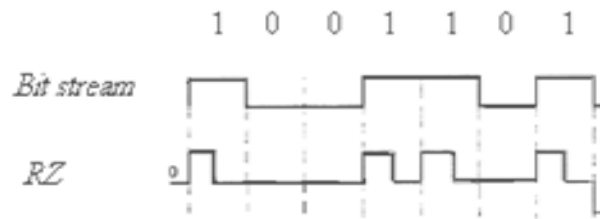
2.5 Return To Zero (RZ)

Sebelum membuat perencanaan jaringan, pertama-tama ditentukan terlebih dahulu teknik pengkodean data yang akan digunakan. Pada transmisi sinyal digital, proses *recovery* data disisi penerima membutuhkan rangkaian *sampling* yang beroperasi pada sistem *clock*. Oleh karena itu, pemilihan jenis pengkodean juga akan mempengaruhi sistem yang akan dibangun (Anggun Fitrian, 2009).

Pada proses perencanaan jaringan serat optik, hal yang penting harus diperhatikan adalah mengenai format sinyal optik yang akan ditransmisikan. Dikatakan penting karena pada praktiknya, setiap data optik digital di sisi *receiver* harus bisa menarik seluruh informasi dari sinyal optik yang datang dengan pewaktuan yang tepat. *Line coding* yang digunakan dalam transmisi serat optik adalah kode biner.

Pada kode RZ, deretan bit yang akan ditransmisikan dikodekan dengan bit 1 dinyatakan oleh pulsa positif dan bit 0 dinyatakan dengan pulsa negatif. Untuk setiap bit, level

sinyal akan kembali pada level nol (sehingga disebut *return to zero*).



Gambar 2.12. Format *Line Coding* RZ

(Sumber: Anggun Fitriani, 2009)

Menurut penelitian Imam Santoso (2015) tentang perbandingan jenis *line coding*, untuk *line coding* RZ menunjukkan nilai BER 10^{-16} , *Q-Factor* 8,45904, toleransi terhadap dispersi 0,81 ps/km, toleransi *nonlinearitas* 3,15 dBm, sensitivitas penerima optik -2,086 dBm.

2.6 Parameter Performansi

2.6.1 Bit Error rate (BER)

Bit Error rate adalah sejumlah *bit* digital bernilai tinggi pada jaringan transmisi yang ditafsirkan sebagai keadaan rendah atau sebaliknya lalu dibagi dengan sejumlah *bit* yang diterima atau dikirim atau diproses selama beberapa periode yang telah ditetapkan (Rozi A, 2014; Rani A, 2016). Bisa ditulis dengan persamaan

$$BER = \frac{NE}{NT} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- BER = *Bit yang Error*
- NE = Nilai *Error* diterima
- NT = Nilai *bit* diterima