

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jaringan internet telah menjadi salah satu kebutuhan bagi masyarakat. Hal ini tidak lepas dari tuntutan akan kebutuhan komunikasi dan informasi. Teknologi yang berkembang saat ini yaitu *Gigabit Passive Optical Network*(GPON) yang diterapkan pada jaringan *Fiber To The Building* (FTTB) yang memiliki *transfer rate* tinggi, keberadaan teknologi GPON pada jaringan FTTB membuat masyarakat *residential* membutuhkan akses internet dengan *transfer rate* tinggi pula. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya permintaan masyarakat akan pemasangan layanan internet dan televisi kabel pada operator telekomunikasi. Tidak hanya di daerah bisnis saja, tetapi daerah *residential* (perumahan) juga menunjukkan kecenderungan tersebut.

Sejalan dengan permintaan masyarakat akan pemasangan layanan internet dan televisi kabel, sekarang muncul suatu teknologi jaringan serat optik yaitu *Gigabit Passive Optical Network*(GPON) pada jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) untuk layanan *triple play*. *Triple play* adalah komunikasi suara, data (akses internet), video atau televisi dalam satu saluran, sehingga memungkinkan pengguna untuk mengakses ketiga layanan tersebut secara bersamaan. GPON merupakan salah satu teknologi PON (*passive Optical Network*) yaitu jaringan akses berbasis serat optik terbaru yang telah distandarkan oleh *International Telecommunication Union, Telecommunication Standards Section*(ITU-T) G.984 yang menawarkan *data rate* yang tinggi hingga 2,488 Gbps *downstream* (ke arah pelanggan) dan 1,244 Gbps *upstream* (ke arah luar pelanggan) pada jarak normal mencapai 20 km dan dapat mencakup hingga 128 pengguna per antarmuka GPON.

Beberapa alasan yang menunjukkan keunggulan GPON tentunya dapat dijadikan sebagai acuan untuk membuat suatu perencanaan jaringan FTTH untuk layanan *triple play* di daerah *residential* Citraland di kota Surabaya. Proses perencanaan jaringan FTTH ini harus disesuaikan dengan keadaan wilayah serta seberapa besar kebutuhan akan layanan *triple play* ini. *Residential* Citraland di Surabaya merupakan *residential* untuk masyarakat dengan ekonomi menengah keatas. Hal ini dapat dijadikan suatu alasan tentang perlunya suatu jaringan internet dan televisi kabel yang mampu mengakomodir akan kebutuhan informasi dengan kecepatan cukup tinggi, selain itu

*residential* Citraland menginginkan aksesibilitas komunikasi dengan kecepatan tinggi. Oleh karena itu teknologi GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play* ini menjadi solusi alternatif karena dapat menjangkau kebutuhan akses transfer data dengan kecepatan tinggi.

Hasil skripsi ini diharapkan menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan perencanaan GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play* di Indonesia terutama di Kota Surabaya di kawasan *residential* Citraland.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan terhadap kebutuhan informasi dengan kecepatan tinggi sangat diperlukan oleh penduduk dikawasan *residential* Citraland di kota Surabaya. Realisasi terhadap kebutuhan yang diinginkan adalah dibangunnya suatu jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) untuk layanan *triple play* menggunakan teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON). Keberadaan jaringan tersebut masih membuat keraguan masyarakat perumahan terhadap keberlangsungan layanan untuk tahun-tahun mendatang. Keraguan itu muncul disebabkan oleh ketidakjelasan analisis secara teknis untuk jaringan yang ada. Jawaban terhadap permasalahan ini adalah perlunya dilakukan perencanaan konfigurasi jaringan FTTH untuk layanan *triple play* menggunakan teknologi GPON, bagaimana spesifikasi sumber optik, komponen optik dan detector optik pada GPON serta analisis terhadap jaringan yang ada meliputi : *bandwidth, link power budget, link rise time budget, throughput, dan delay*.

## 1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan rumusan masalah pembahasan difokus pada aspek-aspek berikut ini:

1. Analisis dalam membuat konfigurasi jaringan serat optik dengan GPON rekomendasi ITU-T G.984 *series*.
2. Perencanaan mengambil objek kajian pada perumahan Citraland yang berada di wilayah Sentral Telepon Otomat (STO) Kandangan PT. Telkom Kandatel Surabaya.
3. Tidak membahas teknologi jaringan lokal akses serat optik lain secara terperinci.
4. Tidak membahas perangkat optoelektronik secara terperinci.

5. Analisis menggunakan jenis serat optik *single-mode* sesuai dengan rekomendasi ITU-T G.984.1 untuk aplikasi GPON.
6. Tidak membahas trafik jaringan telekomunikasi dan sistem proteksi jaringan.

#### 1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mewujudkan GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play* pada daerah *residential* Citraland di kota Surabaya.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut: BAB I yaitu Pendahuluan, pada bab I ini memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan. BAB II yaitu Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON), pada bab ini akan dibahas dasar teori tentang arsitektur jaringan, *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) dan komponennya, arsitektur jaringan GPON, kabel serat optik dan komponen optik, dan layanan *triple play*. BAB III yaitu Metodologi, pada bab ini memuat jenis data dan cara pengambilan data, *variable* dan cara analisis data, dan kerangka solusi permasalahan dalam mengerjakan penelitian. BAB IV yaitu Perencanaan *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) Pada Jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) Untuk Layanan *Triple Play*, pada bab ini akan di bahas perhitungan kebutuhan *bandwidth* pelanggan, perencanaan konfigurasi jaringan, perhitungan analisis performansi meliputi *link power budget*, *rise time budget*, *throughput*, *delay*, dan alokasi *bandwidth* pelanggan. BAB V yaitu Penutup, berisi kesimpulan dari seluruh isi skripsi yang menjawab mengenai rumusan masalah dan saran yang bias digunakan untuk mengembangkan teknologi PON umumnya dan GPON khususnya di Indonesia.

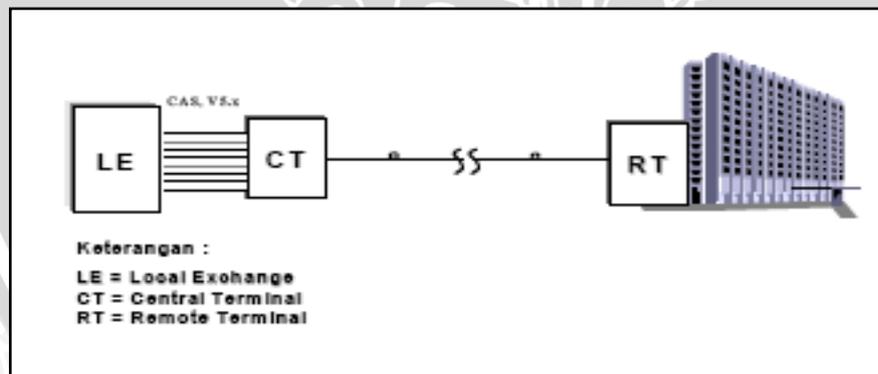
## BAB II DASAR TEORI

Perkembangan teknologi dalam dunia telekomunikasi semakin memudahkan masyarakat dalam pemenuhan kebutuhannya dalam bidang tersebut. Saat ini GPON adalah salah satu teknologi yang sedang berkembang yang menyediakan *bandwidth* lebar. Bab II ini akan menjelaskan secara konseptual teori-teori tentang perencanaan jaringan FTTH untuk layanan *triple play* dengan menggunakan teknologi GPON.

### 2.1 Jaringan Lokal Akses *Fiber* (Jarlokaf)

Jaringan lokal akses *fiber* (jarlokaf) merupakan jaringan yang menghubungkan sentral ke pelanggan berbasis serat optik. Beberapa teknologi jarlokaf yang berkembang saat ini adalah *Digital Loop Carrier* (DLC), *Hybrid Fiber Coax* (HFC), *Passive Optical Network* (PON) dan *Active Optical Network* (AON). Teknologi AON, PON dan DLC merupakan teknologi berbasis serat optik dan tembaga sedangkan teknologi HFC berbasis serat optik dan kabel koaksial.

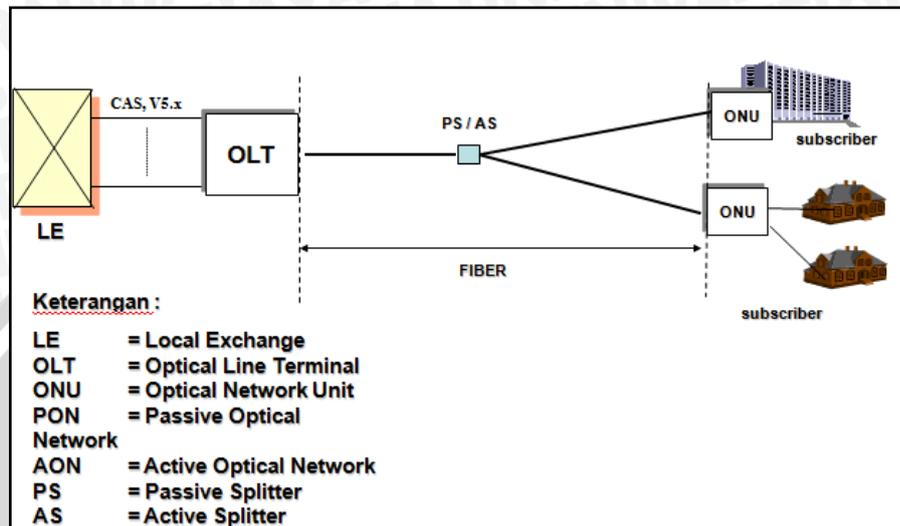
Jenis konfigurasi dasar yang dimiliki DLC pada Gambar 2.1 konfigurasi dasarnya *pont-to-point* (titik ke titik). Untuk layanan DLC sendiri masih terbatas dan belum mampu mendukung transmisi data dengan kecepatan yang tinggi.



Gambar 2.1 Konfigurasi DLC  
(Sumber : PT. Telkom, tanpa tahun)

Teknologi PON dan AON pada Gambar 2.2 menggunakan *splitter* untuk membentuk konfigurasi *point-to-multipoint*. Namun yang membedakan adalah *splitter* pada PON bersifat pasif sedangkan pada AON bersifat aktif. Teknologi AON menggunakan *splitter* aktif yaitu *Active Splitting Equipment* (ASE) atau biasa disebut *Active Splitter* (AS). ASE pada AON berfungsi untuk mendistribusikan informasi dari

dan ke OLT, dari satu atau lebih ONU, dengan kapasitas sebagai *multiplexer/demultiplexer* serta sebagai *intermediate regenerator* (penguat), sehingga *splitter* pada AON bersifat aktif. Teknologi AON saat ini masih dalam pengembangan dan belum banyak digunakan.



Gambar 2.2 Konfigurasi PON/AON

(Sumber : PT. Telkom, tanpa tahun)

## 2.2 Passive Optical Network (PON)

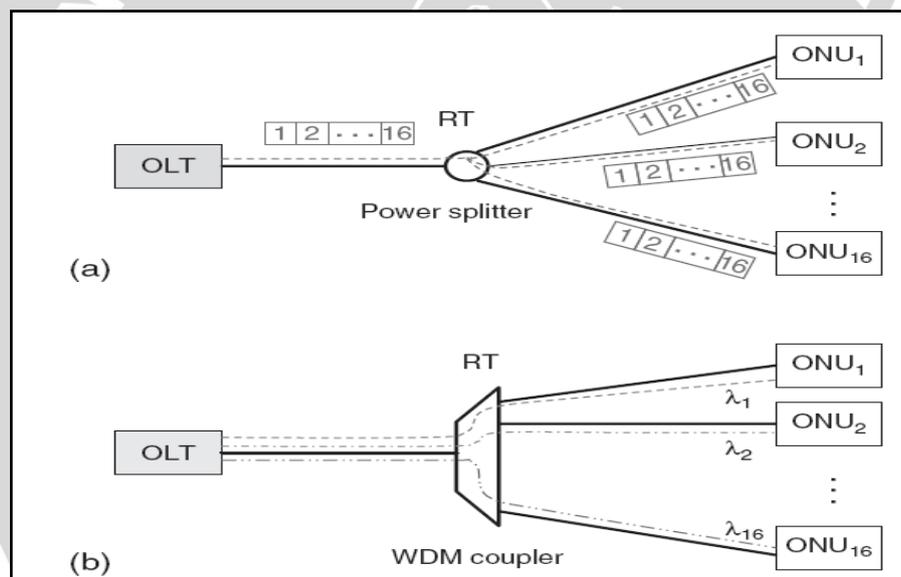
Pada PON terdapat tiga komponen utama, yaitu *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Distribution Network* (ODN) dan *Optical Network Unit* (ONU). OLT mentransmisikan sinyal keluaran dari sentral melalui ODN yang menyediakan alat-alat transmisi serat optik mulai dari sentral ke pelanggan, sedangkan ONU menyediakan *interface* di sisi pelanggan.

PON menggunakan perangkat optik pasif untuk mendistribusikan sinyal. Dikatakan pasif karena perangkat tidak melakukan manipulasi pada sinyal. Perangkat tersebut antara lain konektor, *passive splitter* dan kabel optik itu sendiri. *Passive splitter* berfungsi untuk membagi kabel optik menjadi beberapa kabel optik lagi ke beberapa tujuan dengan kualitas informasi yang sama (*point-to-multipoint*).

Metode akses yang digunakan pada PON pada Gambar 2.3 umumnya adalah *Time Division Multiplexing* (TDM) dan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Pada sistem TDM-PON, digunakan *passive power splitter* sebagai pembagi sinyal. Sinyal yang sama dari OLT ditransmisikan pada ONU yang berbeda dengan *power splitter*. Sinyal tersebut di-*multiplex* dalam kawasan waktu. ONU mengenali data

mereka sendiri melalui label alamat yang ditambahkan pada sinyal. *Broadband-PON* (BPON), *Ethernet-PON* (EPON) dan GPON termasuk dalam TDM-PON. Pada sistem WDM-PON, yang sinyal dibagi menggunakan *passive WDM-coupler*. Sinyal untuk tiap-tiap ONU dibawa melalui panjang gelombang berbeda dan diarahkan oleh WDM-coupler pada ONU yang tepat. Karena setiap ONU memiliki panjang gelombang tersendiri, WDM-PON memiliki kemampuan dan privasi yang lebih baik dari TDM-PON. Namun untuk menerapkan teknologi WDM-PON saat ini dibutuhkan biaya yang mahal.

PON pertama kali dirancang oleh *Full Service Acces Network* (FSAN), yang kemudian distandarkan oleh ITU-T (BPON dan GPON) dan IEEE (EPON). Pada bab ini pembahasan ditekankan pada prinsip dasar teknologi GPON serta perangkat jaringan pendukungnya. Berikut adalah arsitektur PON secara umum :



Gambar 2.3 Arsitektur : a) TDM- PON b) WDM-PON

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 22)

### 2.3 Gigabit Passive Optical Network (GPON)

Teknologi GPON merupakan penyempurnaan dari teknologi BPON dengan beberapa peningkatan kemampuan di sisi teknis dan *delivery* layanan. Dikarenakan format yang digunakan untuk pengiriman informasi antara OLT dengan ONU sudah berbeda dengan BPON, tidak lagi murni *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) based, maka GPON oleh ITU-T distandarkan dengan nomor berbeda menjadi ITU-T G.984. Perbandingan antara BPON dan GPON dapat dilihat pada Tabel 2.1.

*Packet framing* pada GPON menggunakan GPON *Encapsulation Method* (GEM) *frame*. GEM berdasarkan pada *Generic Framing Procedure* (GFP) standar ITU-T G.704 dengan sedikit perubahan pada *frame overhead* yang disesuaikan untuk aplikasi PON. GEM menyediakan mekanisme umum untuk beradaptasi dengan trafik dari sinyal *layer client* yang lebih tinggi pada jaringan transport. Tiap satu *frame* ditransmisikan ke arah *downstream* dan *upstream* dalam waktu 125  $\mu$ s menggunakan GPON *Transmission Conversion* (GTC) *layer*. Ukuran *frame* GTC ditentukan oleh kecepatan transmisi, untuk 1,24 Gbit/s sebesar 19440 byte dan untuk 2,48 Gbit/s sebesar 38880 byte.

Tabel 2.1 Perbandingan antara B-PON dan GPON

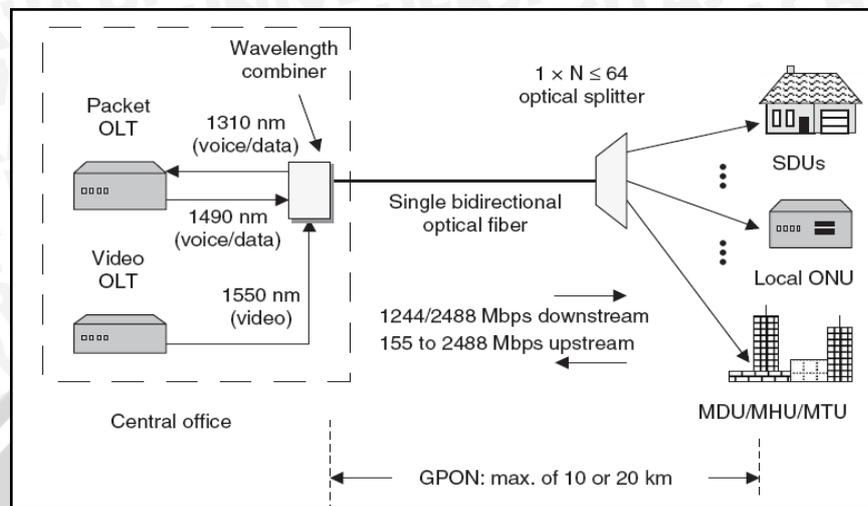
Item		FSAN / ITU-T	
		B-PON	G-PON
MAC Layer	<i>Service</i>	Semua layanan (Ethernet, TDM, POTS)	
	<i>Frame</i>	ATM cell	GEM frame
PHY Layer	<i>Distance</i>	10/20 km	10/20 km
	<i>Split Ratio</i>	32	64
	<i>Bit Rate</i>	622 Mb/s (down)	2,5 Gb/s (down)
		155 Mb/s (up)	1,25 Gb/s (up)
	<i>Bandwidth</i>	Sama dengan di atas (NRZ coding)	
<i>Optical Loss</i>	15/20/25/30 dB	15/20/25/28/30 dB	

(Sumber : Chang-Hee Lee, Wayne V. Sorin, Byoung Yoon Kim, 2006 : 4576)

## 2.4 Arsitektur Jaringan GPON

Arsitektur jaringan GPON dapat dilihat pada Gambar 2.4. GPON merupakan jaringan serat optik *point-to-multipoint* yang menghubungkan antara perangkat *switching* di *central office* (CO) dengan sejumlah pelanggan. Beberapa contoh perangkat telekomunikasi di CO yang berantarmuka dengan GPON adalah *Public Switched Telephone Network* (PSTN) *switch*, *router* *Internet Protocol* (IP), *server* *Video on Demand* (VOD), *switch* Ethernet, dan *switch* ATM. *Optical Line Terminal* (OLT) merupakan perangkat aktif yang ditempatkan di CO yang menghubungkan perangkat *switching* dari jaringan *backbone* dengan jaringan akses. OLT dihubungkan dengan perangkat antarmuka di sisi pelanggan dengan sebuah jaringan akses serat optik yang

dinamakan *Optical Distribution Network* (ODN). Perangkat antarmuka di sisi pelanggan dinamakan *Optical Network Unit* (ONU) yang juga merupakan perangkat aktif.



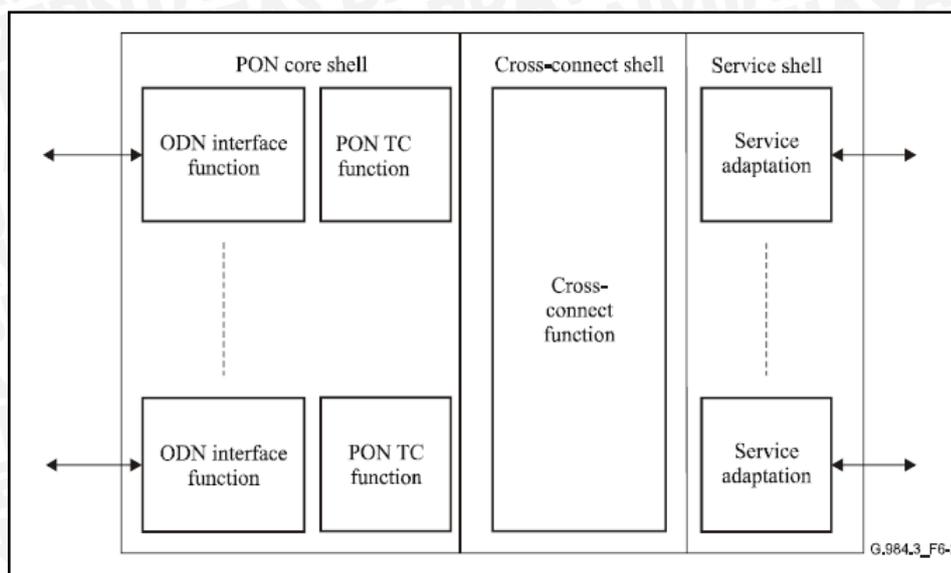
Gambar 2.4 Arsitektur jaringan GPON

(Sumber : Gerd Keiser, 2006 : 156)

Pada ODN terdapat perangkat *passive splitter* yang bertugas membagi kabel optik menjadi beberapa kabel optik lagi ke beberapa tujuan (*point-to-multipoint*). *Passive splitter* membagi daya dengan besaran yang sama ke setiap pelanggan, sehingga kualitas informasi yang diterima di sisi pelanggan juga sama. *Splitting ratio* pada jaringan GPON mencapai 1:64. Umumnya, *passive splitter* ditempatkan sekitar 10 km dari *central office* ataupun 1 km dari pelanggan perumahan, kantor bisnis atau kampus. Saluran yang menghubungkan *central office* dengan *optical splitter* dikenal dengan *feeder cable*, sedangkan saluran yang menghubungkan *optical splitter* dengan perangkat antarmuka pelanggan dikenal dengan *distribution cable*. GPON dapat menjangkau pelanggan hingga jarak maksimal 20 km bergantung *splitting ratio* yang digunakan pada jaringan dengan kecepatan *downstream* dan *upstream* hingga mencapai 2,488 Gbps.

#### 2.4.1 Optical Line Terminal (OLT)

OLT merupakan komponen dari jaringan kabel serat optik yang terhubung ke jaringan luar dan terhubung ke beberapa ODN. OLT menyediakan *interface* antara sistem GPON dengan penyedia layanan data, video dan telepon. Blok diagram OLT dapat dilihat pada gambar berikut ini :



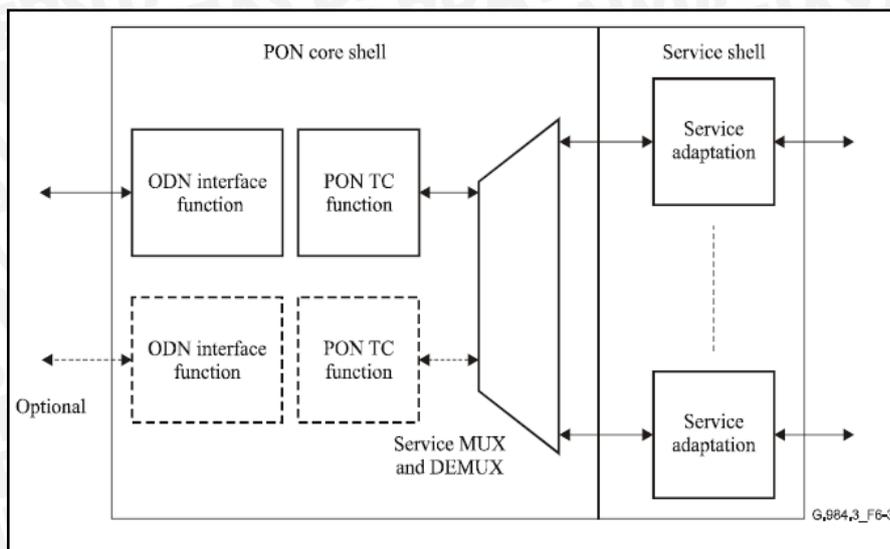
Gambar 2.5 Blok diagram OLT  
(Sumber : ITU-T G.984-3, 2008 : 13)

Blok fungsional OLT sebagai berikut :

1. *Service shell*, berfungsi menterjemahkan antara format sinyal pada jaringan *backbone* dengan format sinyal GPON.
2. *Cross-connect shell*, berfungsi menyediakan interkoneksi dan *switching* diantara sistem GPON, ONU dan jaringan *backbone*.
3. *PON core shell*, terdiri dari dua bagian yaitu *ODN interface function* dan GPON TC *function*. Fungsi dari PON TC antara lain *framing*, *Media Acces Control (MAC)*, *Operation, Administration and Management (OAM)*, *dynamic bandwidth allocation (DBA)* serta manajemen dan mode seleksi ONU.

#### 2.4.2 Optical Network Unit (ONU)

ONU menyediakan *interface* antara jaringan serat optik dengan sisi pelanggan. ONU bekerja mirip dengan OLT. Karena ONU bekerja dengan hanya *single GPON interface*, maka bagian *cross connect shell* dapat dihilangkan. Mux dan Demux berfungsi menangani traffik. Pada arsitektur FTTH ONU diletakkan di sisi pelanggan rumah. Berikut gambar blok diagram ONU :



Gambar 2.6 Blok diagram ONU  
(Sumber : ITU-T G.984-3, 2008 : 14)

### 2.4.3 Optical Distribution Network (ODN)

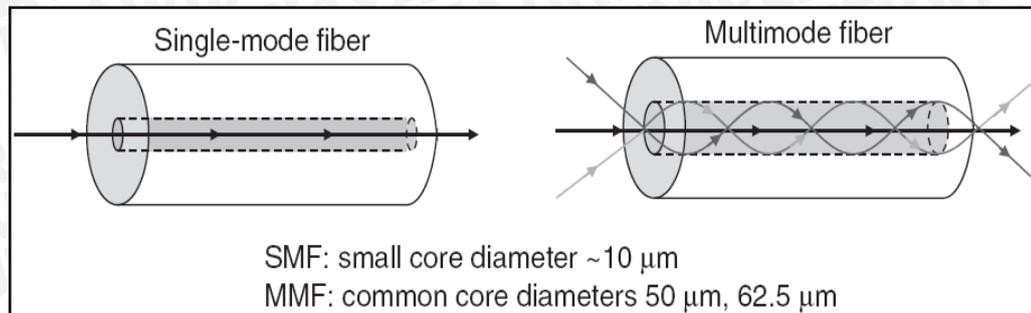
*Optical Distribution Network (ODN)* merupakan peralatan transmisi optik yang menghubungkan perangkat *Optical Line Termination (OLT)* dan *Optical Network Unit (ONU)*. ODN pada GPON terdiri dari kabel serat optik, konektor, *splice*, *passive splitter* dan *WDM coupler*.

## 2.5 Kabel Serat Optik

### 2.5.1 Jenis Kabel Serat Optik

Jenis kabel serat optik secara umum ada dua, yaitu *single-mode* dan *multi-mode*. Pada serat *single-mode*, cahaya hanya merambat dalam satu mode. Berbeda dengan serat *multi-mode* dimana cahaya dapat merambat dalam beberapa mode dikarenakan ukuran inti yang lebar (Gambar 2.7). Standar *single-mode fiber (SMF)* memiliki diameter *core* (inti) kecil sekitar 10  $\mu\text{m}$  dan membutuhkan presisi mekanik yang tinggi untuk mengkopelkan sinyal. Di sisi lain, *multi-mode fiber (MMF)* memiliki diameter inti yang lebar sehingga memudahkan untuk pengkopelan sinyal. Serat *multimode* memiliki ukuran diameter inti 50  $\mu\text{m}$  dan 62,5  $\mu\text{m}$ . Pada serat MMF terdapat dispersi intermodal yang disebabkan mode perambatan cahaya dalam kecepatan yang berbeda. Dispersi intermodal menyebabkan pulsa sinyal melebar yang dapat membatasi *bandwidth* sinyal dan jarak transmisi. Pada serat SMF tidak terdapat dispersi intermodal. Oleh karena itu umumnya serat *single-mode* digunakan untuk transmisi jaringan *backbone* jarak jauh, sedangkan serat *multimode* digunakan untuk

koneksi jaringan lokal. Namun, karena GPON merupakan jaringan akses optik berkecepatan tinggi, maka digunakan kabel serat optik jenis *single-mode*. Dalam pembahasan selanjutnya, perencanaan akan menggunakan jenis serat optik *single-mode* sesuai dengan rekomendasi ITU-T G.984.1 untuk aplikasi GPON.



Gambar 2.7 Serat optik *single-mode* dan *multi-mode*

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 23)

### 2.5.2 Dispersi pada Kabel Serat Optik *Single-Mode*

Terdapat dua macam dispersi pada kabel serat optik jenis *single-mode*, yaitu :

1. Dispersi Intramodal, yang terdiri dari dispersi khromatis (material) dan dispersi pandu gelombang

Dispersi intramodal terjadi baik pada serat optik *single-mode* dan *multi-mode*. Dispersi intramodal dikarenakan perbedaan panjang gelombang dan kecepatan *group (group velocity)*. Dispersi khromatis pada serat optik dikarenakan perbedaan kecepatan propagasi sinyal cahaya dari panjang gelombang atau frekuensi yang berbeda. Dispersi khromatis pada serat optik dinyatakan dengan persamaan berikut [Hoss, 1990 : 116] :

$$\tau_m = t_{dm} \times \Delta_\lambda \times D \quad (2-1)$$

dengan :  $\tau_m$  = dispersi material (ps)

$t_{dm}$  = koefisien dispersi material (ps/nm/km)

$\Delta_\lambda$  = lebar *spectral* sumber cahaya

$D$  = panjang serat optik

Dispersi pandu gelombang pada serat optik terjadi karena terdapat karakteristik perambatan mode sebagai fungsi perbandingan jari-jari inti serat optik dan panjang gelombang. Dispersi pandu gelombang pada serat optik dinyatakan dengan :

$$\tau_w = \frac{D}{c\lambda_0} (n_1 - n_2) D_w \Delta_\lambda \quad (2-2)$$

nilai  $D_w$  didapat dari :

$$D_w = \frac{4(1 - \ln v)}{v^2} \quad (2-3)$$

dan

$$v = \frac{2\pi}{\lambda_0} a n_1 \sqrt{2\Delta_s} \quad (2-4)$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai dispersi pandu gelombang melalui :

$$\Delta_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2-5)$$

dimana :  $\tau_w$  = dispersi pandu gelombang (ps)

$D$  = panjang serat optik

$c$  = kecepatan cahaya pada ruang bebas ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$\lambda_0$  = panjang gelombang pusat pancaran

$n_1$  = indeks bias inti (1,450)

$n_2$  = indeks bias selubung (1,436)

$D_w$  = koefisien dispersi

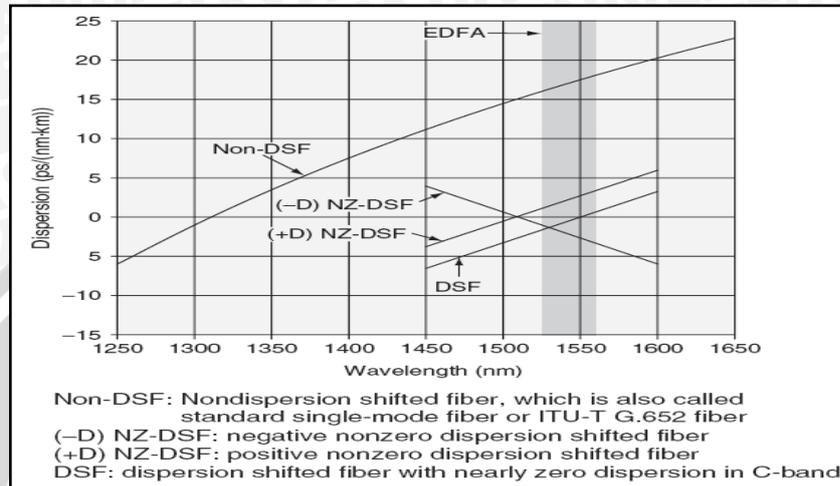
$\Delta_\lambda$  = lebar spectrum cahaya

$v$  = frekuensi ternormalisasi

$a$  = jari-jari inti

$\Delta_s$  = selisih indeks bias

Koefisien dispersi merupakan fungsi dari panjang gelombang optik. Gambar 2.8 menunjukkan koefisien dispersi sebagai fungsi dari panjang gelombang untuk beberapa jenis serat optik. Berikut nilai koefisien dispersi sebagai fungsi panjang gelombang pada berbagai macam serat optik :

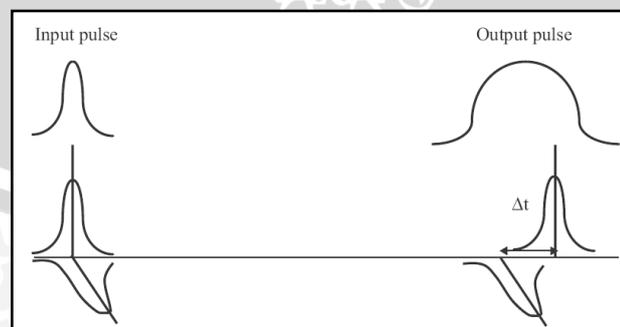


Gambar 2.8 Koefisien Dispersi sebagai Fungsi Panjang Gelombang pada Berbagai Macam Serat Optik

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 24)

## 2. Polarization mode dispersion (PMD)

Pada serat optik *single-mode*, PMD terjadi karena energi sinyal cahaya pada pandu gelombang yang diberikan berisi dua *mode* atau keadaan polarisasi orthogonal. Nilai PMD berubah sesuai fungsi waktu akibat faktor dari perubahan temperatur dan tekanan pada serat optik. Nilai dari PMD adalah kurang dari sama dengan  $0,05 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$  [K. Thyagarajan, Ajoy Ghatak, 2007 : 99].

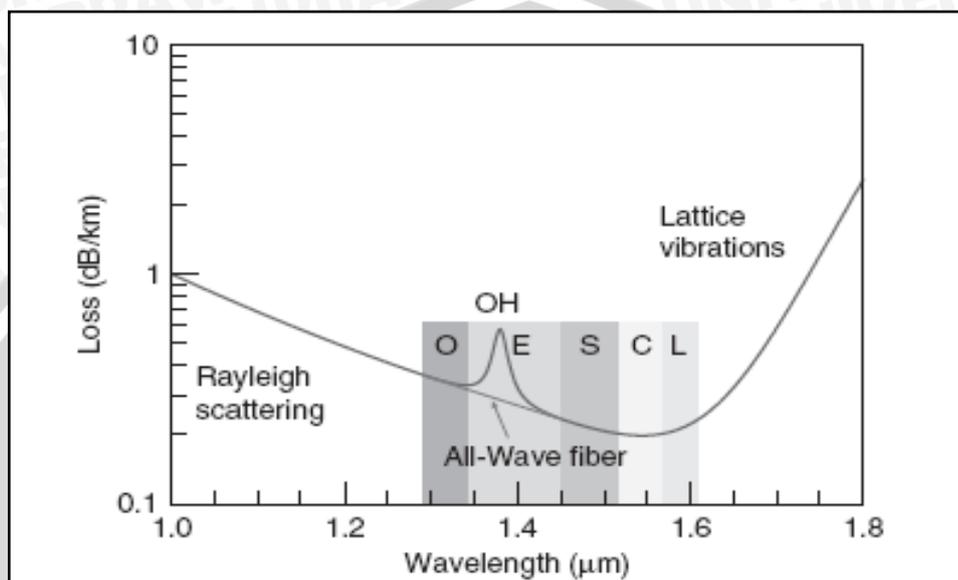


Gambar 2.9 PMD pada serat optik

(Sumber : K. Thyagarajan, Ajoy Ghatak, 2007 : 98)

### 2.5.3 Rugi Serat

Rugi-rugi pada kabel serat optik mempengaruhi *power budget system*, yang mempengaruhi jarak dan *splitting ratio* yang dapat dicapai sistem. Standar serat optik dibuat dari silica ( $\text{SiO}_2$ ) [Cedric Lam, 2007 : 25]. Gambar 2.10 menunjukkan rugi-rugi pada kabel serat optik silica pada panjang gelombang yang berbeda.



Gambar 2.10 Rugi-Rugi pada Serat Optik pada Panjang Gelombang yang Berbeda  
(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 25)

### 2.5.4 Konektor Optik

Konektor merupakan salah satu perlengkapan kabel serat optik yang berfungsi sebagai penghubung serat. Konektor umumnya digunakan untuk menyambung serat ke sumber dan penerima optik. Berikut beberapa jenis konektor serat optik (www.newport.com) :

1. SMA (*SubMiniature* versi A)

Jenis konektor ini biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan *coupling* dari sorotan laser berdaya tinggi ke dalam inti serat yang lebar, yaitu serat *multi-mode*. *Insertion loss* dari konektor ini lebih dari 1 dB.

2. ST (*Straight Tip*)

Konektor ST digunakan pada aplikasi serat optik LAN baik *indoor* maupun *outdoor*. *Insertion loss* dari konektor ST sebesar 0,3 dB.

### 3. FC (*Ferulle Connector*)

Konektor FC biasanya menjadi pilihan untuk serat optik *single-mode*, atau dalam jaringan serat optik berkecepatan tinggi. Juga terdapat konektor FC untuk aplikasi serat *multimode*. *Insertion loss* dari konektor FC sebesar 0,3 dB.

### 4. SC (*Subscriber Connector*)

Konektor SC populer untuk aplikasi komunikasi serat optik *single-mode* dan CATV analog. Juga terdapat konektor SC untuk aplikasi serat *multi-mode*. *Insertion loss* dari konektor SC sebesar 0,3 dB.



Gambar 2.11 Bentuk dan jenis konektor  
(Sumber : [www.newport.com](http://www.newport.com))

### 2.5.5 Splicer

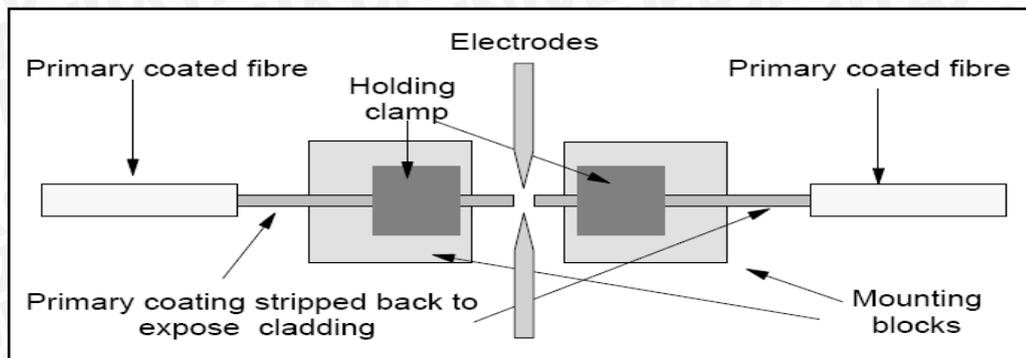
*Splicer* merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk menyambung serat optik yang dikarenakan panjang dari sebuah serat optik terbatas. Selain itu, bila selama masa kerjanya sebuah jaringan serat optik mengalami kerusakan (patah) dan harus diperbaiki, maka kerusakan-kerusakan ini dapat diperbaiki dengan membuat sambungan-sambungan permanen (*splice*). Teknik penyambungan ada dua macam, yaitu :

- Penyambungan mekanik (*mechanical splicing*)

Menggunakan sambungan kapiler dengan ujung serat dimasukkan ke dalam kapiler dan melalui suatu lubang kecil diinjeksikan lem. Dengan teknologi ini didapat rugi-rugi sebesar 0,05-0,2 dB untuk serat optik *single-mode* [[www.iec.com](http://www.iec.com)].

- Penyambungan lebur (*fusion splicing*)

Kedua ujung serat dilebur secara bersamaan dengan menggunakan elektroda panas. Dengan teknologi ini didapat rugi-rugi sebesar 0,01-0,1 dB untuk serat optik *single-mode* [www.iec.com].



Gambar 2.12 Fusion splicing

(Sumber : Harry J. R. Dutton, 1998 : 276)

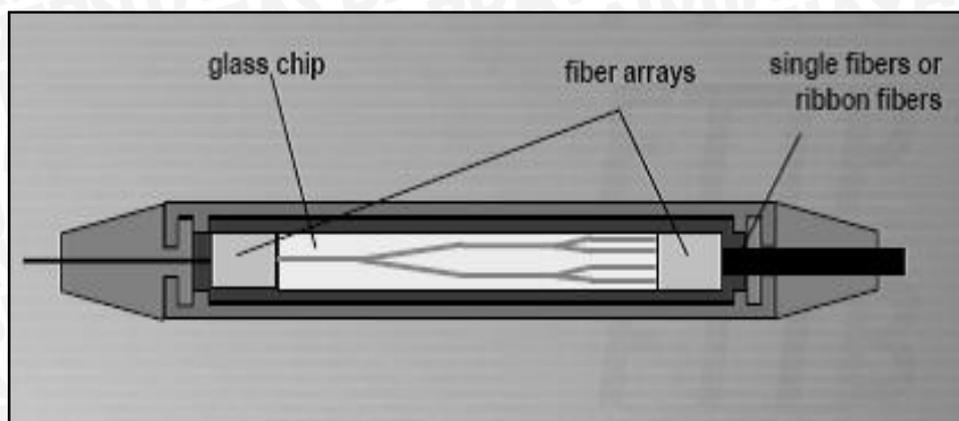
- **Passive Power Splitter**

*Passive splitter* merupakan komponen pasif yang dapat memisahkan daya optik dari satu masukan serat optik ke dua atau lebih keluaran serat optik. *Splitter* pada GPON dikatakan pasif karena optimasi tidak dilakukan terhadap daya yang digunakan terhadap pelanggan yang jaraknya berbeda dari titik pencabangan, sehingga sifatnya *idle* dan cara kerjanya membagi daya optik sama rata. Jenis-jenis *splitter* antara lain 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128 (maksimal).

Umumnya pada GPON perangkat *splitter* yang digunakan adalah teknologi *Planar Lightwave Circuit* (PLC) pada gambar 2.13. PLC dibuat menggunakan dua *fiber array* dan satu *chip* PLC dalam satu paket. Terdapat juga *splitter* yang dibuat menggunakan teknologi *fused biconical-taper-based*, namun dengan teknologi PLC dimungkinkan perangkat *splitter* dibuat dalam ukuran kecil dengan berbagai macam fungsi (misal *WDM coupler*) ke dalam satu *chip*. PLC dapat beroperasi pada jangkauan gelombang 1250 nm sampai 1625 nm pada temperatur -40 °C hingga +60 °C. *Insertion loss* pada PLC menentukan jarak jangkauan dan jumlah pelanggan yang bisa diakomodasi. Secara teori *insertion loss* pada PLC ditentukan dengan persamaan :

$$\text{splitting loss (dB)} = 10 \times \log_{10}(1/N) \quad (2-6)$$

dengan :  $N = \text{splitting ratio}$



Gambar 2.13 PLC splitter

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 91)

Berikut hasil pengukuran *insertion loss* pada produk PLC dari vendor perangkatelekomunikasi SQS Vlaknova Optika yang ditampilkan pada Tabel 2.2, dimana *insertion loss* maksimal pada konfigurasi 1:128 didapatkan nilai 25,3 dB.

Tabel 2.2 *Insertion Loss* pada PLC Splitter SQS Vlaknova Optika

Konfigurasi Splitter	<i>Insertion Loss</i>	
	<i>Insertion Loss Typ.</i>	<i>Insertion Loss Max.</i>
1 x 2	3,5	3,9
1 x 3	5,8	6,2
1 x 4	6,9	7,4
1 x 6	9,0	9,3
1 x 8	9,8	10,8
1 x 12	12,6	13,0
1 x 16	13,5	14,1
1 x 24	15,9	16,5
1 x 32	16,5	17,3
1 x 64	20,0	21,0
1 x 128	23,5	25,3

(Sumber : SQS Vlaknova Optika, 2009)

### 2.5.6 WDM Coupler

Perangkat optik lain pada GPON yang tak kalah penting adalah WDM *coupler* atau *wavelength multiplexer*. Berfungsi sebagai *remote terminal* (pembagi gelombang cahaya) pada sistem WDM-PON, tetapi pada sistem GPON, WDM *coupler* berfungsi memisahkan sinyal *downstream* dan *upstream* yang memiliki panjang gelombang yang berbeda. *Insertion loss* dari perangkat ini  $\leq 0,8$  dB [AC Photonics Inc., tanpa tahun].



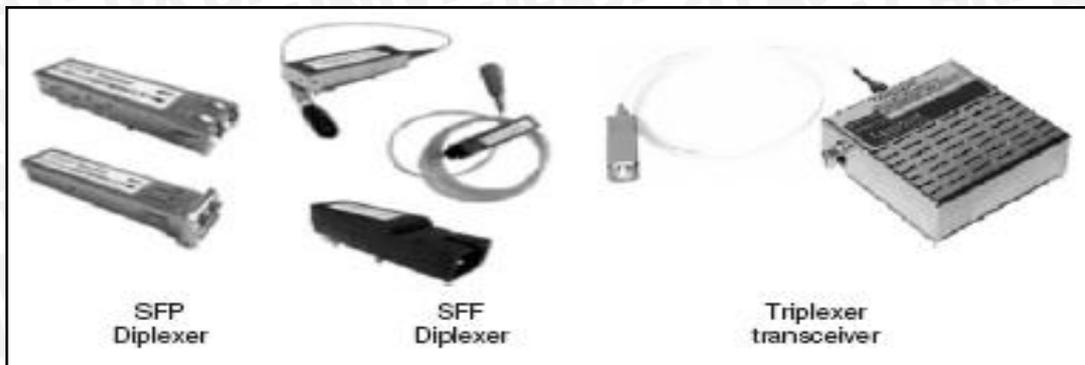
Gambar 2.14 WDM Coupler / Triplexer  
(Sumber : AC Photonics Inc., tanpa tahun)

### 2.5.7 Pemancar dan Penerima (*Transceiver*) Optik

Sistem transmisi serat optik terdiri dari 3 bagian utama, yaitu : pemancar, serat optik dan penerima. Komponen utama pemancar (*transmitter*) adalah rangkaian pengendali (*driving circuit*) dan sumber optik. Fungsi rangkaian pengendali adalah agar energi cahaya yang dipancarkan sumber optik sesuai dengan sinyal informasi yang diinjeksikan pada sumber optik tersebut. Komponen utama penerima (*receiver*) adalah *photodiode* dan rangkaian deteksi. Detektor akan merubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya dilewatkan pada sebuah penguat dan pemulih sinyal untuk memperoleh sinyal yang memadai.

Dalam sistem PON fungsi *transmitter* dan *receiver* tergabung dalam satu perangkat (*transceiver*) di OLT dan ONU. *Transceiver* pada PON merupakan perangkat *bidirectional* yang menggunakan panjang gelombang yang berbeda untuk sinyal transmisi. Terdapat dua jenis *transceiver* pada PON, yaitu : *diplexer* dan *triplexer*. Pada *diplexer* panjang gelombang yang digunakan hanya 2 (1310 nm *upstream* dan 1490 nm *downstream*), sedangkan pada *triplexer* dialokasikan panjang gelombang 1550 nm untuk sinyal transmisi *analog broadcast video overlay*. Namun juga dimungkinkan sinyal

video digital dibawa melalui sinyal 1490 nm *downstream* dengan teknologi *video over IP*.



Gambar 2.15 Diplexer dan Triplexer Transceiver

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 161)

### 2.5.8 Sumber Optik

Pada sistem komunikasi serat optik terdapat dua macam sumber optik yang dapat digunakan, yaitu *light emitting diode* (LED) dan *laser diode* (LD). Namun, sumber optik jenis LD memiliki karakteristik yang lebih baik dari LED seperti daya keluaran lebih tinggi, *spectrallinewidth* yang lebih sempit, dan pola pancaran cahaya yang lebih terarah sehingga memiliki efisiensi kopling cahaya yang lebih baik ke dalam serat optik.

- **Spesifikasi Sumber Optik**

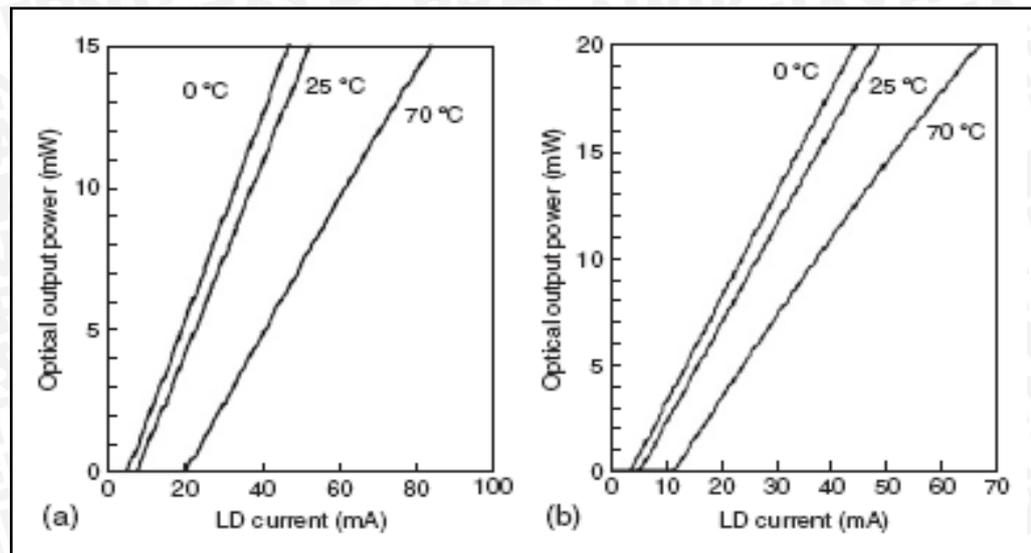
Beberapa spesifikasi sumber optik yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan adalah [Hoss, 1990] :

1. Daya keluran sumber optik (Ps)

Daya keluaran adalah besar daya yang dihasilkan atau dipancarkan oleh suatu sumber optik, dalam satuan mW. Karakteristik daya keluaran terhadap arus untuk *laser diode* jenis *Fabry Perot* (FP) dan *Distributed Feedback* (DFB) ditunjukkan pada Gambar 2.20.

2. Pengaruh suhu terhadap sumber optik

Pengaruh suhu terhadap daya keluaran sumber optik dapat dilihat pada Gambar 2.20



Gambar 2.16 Karakteristik Daya Keluaran dan Pengaruh Suhu pada Sumber Optik (a) DFB-LD (b) FP-LD

(Sumber : Cedric Lam, 2007 : 164)

### 3. Pola pemancaran cahaya (*Emission Pattern*)

Pola cahaya yang dipancarkan mempengaruhi jumlah cahaya yang memasuki serat optik. Makin baik kesesuaian dengan diameter inti serat, maka performansi sistem akan semakin baik. Sumber optik LD mempunyai pola pemancaran sempit, terarah dan mempunyai frekuensi yang mendekati monokromatis.

### 4. Mempunyai efisiensi kopling cahaya cukup tinggi, yang dibangkitkan oleh sumber optik ke dalam kabel serat optik. Rumus efisiensi kopling adalah :

## 2.5.9 Detektor Optik

Detektor optik pada sistem komunikasi serat optik berfungsi mengubah sinyal cahaya menjadi arus listrik. Karakteristik performansi yang penting dari detektor optik adalah sensitifitas yang tinggi, noise yang rendah dan respon yang cepat untuk *data rate* yang tinggi. Jenis detektor optik yang sering digunakan ada dua, yaitu *diode PIN* dan *avalanche photodiodes (APD)*.

Detektor PIN dan APD terbuat dari perangkat *photodiode* berbasis semikonduktor yang memiliki kestabilan dan ketahanan yang tinggi. Namun pada APD terdapat efek *avalanche multiplication* pada sinyal *photocurrent* yang masuk yang dapat meningkatkan sensitifitas penerima optik. Faktor pengali ini disimbolkan dengan *gain M*, namun dengan membuat faktor pengali menjadi sangat besar dapat meningkatkan

*noise current*. PIN dapat dioperasikan dengan *power supply* standart (antara 5-15 volt). Sedangkan APD yang memiliki sensitifitas lebih baik dari PIN membutuhkan *power supply* lebihstabil sehingga relatif lebih mahal.

### • Spesifikasi Detektor Optik

Pemilihan detektor bergantung pada kecepatan penyaluran data dan jarak transmisi pada sistem. Untuk itu ada beberapa parameter umum yang perlu diperhatikan adalah :

#### 1. *Photocurrent* (Arus Cahaya)

Arus cahaya adalah arus yang dibangkitkan ketika daya optik minimum terdeteksi oleh detektor. Detektor APD memiliki arus cahaya yang lebih besar dari PIN, karena memiliki penguatan.

#### 2. Responsifitas

Karena terdapat penguatan pada APD, maka APD lebih sensitif daripada PIN.

#### 3. Penguatan

Penguatan dalam hal ini adalah penguatan *avalanche* dari sepasang *electron-hole* dalam detektor optik jenis APD. Penguatan maksimum dari APD bervariasi antara 10-250 [Hoss, 1990].

#### 4. *Noise* Detektor

*Noise* detektor umumnya diakibatkan [Hoss, 1990] :

- Gerakan elektron pada detektor yang menimbulkan arus yang mengalir setelah sinyal optik yang mengenainya berhenti (*dark current*). *Dark current* bertambah seiring kenaikan temperatur.
- Arus yang bocor pada permukaan detektor. Pada APD terdapat *noise* yang lebih besar dari PIN dikarenakan adanya penguatan.

Tabel 2.3 Karakteristik Berbagai Macam *Photodetector*

Parameter	Silicon PIN	Silicon APD	InGaAs PIN	InGaAs APD
Wavelength range (nm)	400–1100	400–1100	900–1700	900–1700
Responsivity (A/W)	0.6	77–130	0.63–0.8 at 1300 nm 0.75–0.97 at 1550 nm	
Gain	1	150–250	1	10–30
Dark current (nA)	1–10	0.1–1	1–20	1–5
Rise time (ns)	0.5–1	0.1–2	0.06–0.5	0.1–0.5

(Sumber : K. Thyagarajan, Ajoy Ghatak, 2007 : 114)

## 2.6 Arsitektur Jaringan Lokal Akses Serat Optik (Jarlokaf)

Selama ini serat optik hanya dipakai untuk transmisi antar sentral, sebagai jaringan *backbone*, dan digunakan untuk komunikasi jarak jauh. Lalu mulai dikembangkanlah suatu jaringan lokal bahkan sampai ke terminal pelanggan dengan media serat optik. Sistem transmisi serat optik yang digunakan pada jaringan lokal tersebut dinamakan jaringan lokal akses fiber (jarlokaf). Jarlokaf merupakan sebuah solusi strategis bagi jaringan akses pelanggan. Namun, ketepatan dalam segi perencanaan dan operasional, serta pemilihan arsitektur dan teknologi jaringan yang digunakan akan sangat mempengaruhi kesuksesan kegiatan operasi, perawatan, efektivitas investasi, serta kemudahan pengembangan jaringan dan layanan jasa.

Sistem jarlokaf setidaknya memiliki 2 buah perangkat opto elektronik, yaitu satu perangkat opto elektronik di sisi sentral dan satu perangkat opto elektronik di sisi pelanggan. Lokasi perangkat opto elektronik di sisi pelanggan selanjutnya disebut titik konversi optik (TKO). Secara praktis TKO berarti batas terakhir kabel optik ke arah pelanggan yang berfungsi sebagai lokasi konversi sinyal optik ke sinyal elektronik. Pada sistem PON ataupun GPON, TKO berada pada perangkat ONU. Perbedaan letak TKO menimbulkan modus aplikasi atau arsitektur jarlokaf berbeda pula, yaitu :

### 1. *Fiber To The Building* (FTTB)

TKO terletak di dalam gedung dan biasanya terletak pada ruang telekomunikasi di *basement*. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga *indoor* atau IKR. FTTB dapat diterapkan bagi pelanggan-pelanggan bisnis di gedung bertingkat atau bagi pelanggan yang bertempat tinggal di apartemen.

### 2. *Fiber To The Zone* (FTTZ)

TKO terletak di suatu tempat di luar bangunan, baik di dalam kabinet maupun *manhole*. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa kilometer. FTTZ umumnya diterapkan pada daerah perumahan yang letaknya jauh dari sentral atau bila infrastruktur *duct* pada arah yang bersangkutan, sudah tidak memenuhi lagi untuk ditambahkan dengan kabel tembaga. FTTZ dapat dianalogikan sebagai pengganti rumah kabel (RK).

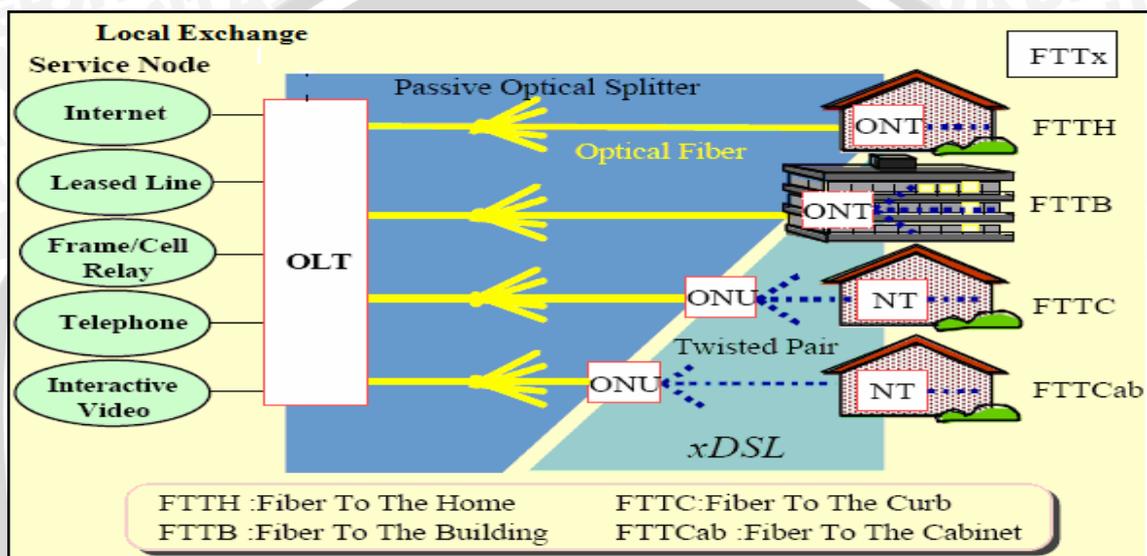
### 3. *Fiber To The Curb* (FTTC)

TKO terletak di suatu tempat di luar bangunan, baik di dalam kabinet, di atas tiang maupun *manhole*. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa ratus meter. FTTC dapat diterapkan bagi pelanggan bisnis yang letaknya terkumpul di suatu area terbatas namun tidak berbentuk gedung-gedung

bertingkat atau bagi pelanggan perumahan yang pada waktu dekat akan menjadi pelanggan jasa hiburan. FTTC dapat dianalogikan sebagai pengganti kotak pembagi (KP).

#### 4. *Fiber To The Home (FTTH)*

TKO terletak di rumah pelanggan. Dengan arsitektur ini keberadaan kabel tembaga dapat dihilangkan sama sekali, sehingga keterbatasan kemampuan dalam menyediakan *bandwidth* yang lebar dan interferensi tidak terjadi. Jaringan FTTH merupakan jaringan masa depan berbasis *full optic*.



Gambar 2.17 Arsitektur jaringan lokal akses *fiber* FTTX

(Sumber : Elektro Indonesia, tanpa tahun)

## 2.7 Layanan *Triple Play*

*Triple play* adalah komunikasi suara, akses internet (data), dan layanan video atau televisi melalui satu saluran. Dengan layanan *triple play* ini *user* bisa menikmati secara bersamaan dan membayar sekaligus ketiga kebutuhan informasi ini yang terdiri dari mengakses data (internet), menggunakan telepon (suara), dan menikmati hiburan (televisi). Namun dengan keberadaan layanan *triple play* ini secara otomatis dibutuhkan koneksi berkecepatan tinggi untuk mengakomodasi layanan tersebut.

Media fisik untuk mendukung koneksi berkecepatan tinggi tersedia berbagai macam bentuk dan teknis. Mulai dari kabel tembaga sampai serat optik. Teknologi pembawa datanya pun tersedia banyak jenis, mulai dari ATM, Ethernet, DSL, SONET/SDH, *Passive Optical Network* (PON), sampai WDM. Semua teknologi fisik pembawa tersebut dapat digunakan untuk mendukung *triple play*.

Berikut beberapa contoh spesifikasi yang dapat mendukung servis-servis pada teknologi *triple play* :

- Aplikasi Suara

Aplikasi suara sama sensitifnya dengan aplikasi video. Untuk itu, spesifikasi jaringan yang dapat mendukung servis ini dengan lancar hampir sama dengan yang dibutuhkan oleh video, namun tingkat urgensinya lebih kecil dibandingkan aplikasi video, yaitu :

1. Tingkat gangguan *delay*, *jitter*, dan *loss* yang rendah.
2. Proteksi gangguan fisik di bawah 50 *milisecond*.

- Aplikasi *High Speed* Internet

Untuk memenuhi kebutuhan ber-internet dengan kecepatan yang tinggi dan memuaskan, jaringan *triple play* harus memiliki kemampuan yang cukup berbeda dari kedua aplikasi di atas. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut berikut ini adalah spesifikasinya:

1. Dapat menjamin dan menggaransi *bandwidth* yang diberikan untuk internet bagi semua pelanggan servis ini.
2. Memiliki kemampuan untuk memberikan "*burst bandwidth*" untuk menangani masalah kekurangan bandwidth pada saat-saat tertentu ketika sangat dibutuhkan.
3. Memiliki kemampuan berinteraksi dan berkolaborasi dengan media-media lain yang berbeda-beda jenis dan berinteraksi dengan perangkat jaringan pendukungnya seperti *router*, modem, *switch*, dan banyak lagi.

- Aplikasi Video

Untuk menghantarkan komunikasi yang berupa informasi video, sebuah jaringan *triple play* haruslah memenuhi spesifikasi sebagai berikut :

1. Tingkat *delay* yang sangat rendah.
2. Gangguan *jitter* (variasi *delay*) yang sangat rendah.
3. Tingkat data *loss* yang sangat rendah.
4. Dapat menyediakan bandwidth yang sangat tinggi untuk setiap pelanggannya.
5. Mekanisme *Broadcast*, *Multicast*, dan *Unicast* yang efisien dan aman dari gangguan.
6. Mampu dikembangkan untuk keperluan *Video on Demand* di masa mendatang.
7. Proteksi gangguan fisik di bawah 50 ms.

## 2.8 Parameter Performansi Sistem

Untuk mengetahui performansi pada sistem yang direncanakan dalam skripsi ini digunakan beberapa parameter antara lain :

- *link power budget*
- *link rise time budget*
- *throughput*
- *delay*

### 2.8.1 Link Power Budget

*Link power budget* adalah perhitungan terhadap kebutuhan daya dalam suatu *link* system komunikasi serat optik yang harus dipenuhi agar didapatkan performansi sistem sebagaimana yang diinginkan. Besarnya *power budget system* harus lebih besar dari redaman total dari saluran. Redaman total adalah besarnya rugi-rugi yang disebabkan oleh komponen-komponen komunikasi serat optik yang digunakan dalam sistem. Dalam sistem *Passive Optical Network* (PON) digunakan kelas-kelas *attenuation range* untuk perhitungan *power budget*. *Attenuation range* adalah jangkauan redaman total antara pemancar dan penerima optik yang diperbolehkan dalam jangkauan transmisi 10-20 km, yaitu :

- *Class A* : 5-20 dB
- *Class B* : 10-25 dB
- *Class B+* : 15-28 dB
- *Class C* : 15-30 dB

*Power budget* dapat diketahui dengan menghitung selisih antara daya optik yang dipancarkan *optical transmitter* dengan daya optik terendah yang masih dapat dideteksi oleh *optical receiver* (Max King dan Kang Liu, 1996 : 132)

$$P_t = P_s - P_r \quad (2-7)$$

dengan :

$P_t$  = *Power budget* (dB)

$P_s$  = *Daya output* pemancar (dB)

$P_r$  = Sensitifitas penerima (dB)

Secara umum *loss* pada suatu *link* transmisi serat optik disebabkan oleh komponen-komponen berikut :

- a) *Loss* serat optik

- b) *Loss* akibat penyambungan (*splicing*)
- c) *Loss* akibat konektor
- d) *Loss* akibat *splitter*
- e) *Loss* akibat WDM Coupler

secara matematis rumus redaman total pada PON sebagai berikut (PT. Telkom, 2000) :

$$a_{\text{total}} = (\alpha_f \times D) + (N_s \times L_s) + (N_c \times L_c) + S + L_{\text{coupler}} \quad (2-8)$$

dengan :

- $a_{\text{total}}$  = redaman total (dB)
- $\alpha_f$  = rugi serat optik (dB)
- $D$  = panjang serat optik (km)
- $N_s$  = jumlah sambungan
- $L_s$  = rugi sambungan (dB)
- $N_c$  = jumlah konektor
- $L_c$  = rugi konektor (dB)
- $S$  = rugi *splitter* (dB)
- $L_{\text{coupler}}$  = rugi WDM *coupler*

Setelah mengetahui besarnya redaman total pada sistem, maka *sistem margin* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$M = (P_s - P_r) - a_{\text{total}} - 3 [\text{safety margin}] \quad (2-9)$$

dengan :

$M$  = *margin system* (dB)

*Sistem margin* adalah faktor keamanan daya optik untuk perencanaan jaringan dengan menambahkan daya ekstra pada kebutuhan daya untuk mengkompensasi kemungkinan terjadinya degradasi (penurunan) pada *link*. Degradasi *link* dapat terjadi karena beberapa faktor seperti :

- Penurunan kemampuan sumber optik disebabkan oleh umur.
- Nilai *loss* pada komponen *splice* dan konektor di lapangan lebih besar dari yang diperkirakan.
- *Losses* yang didapat ketika terjadi perbaikan pada kabel serat optik.

Jika nilai *margin system* masih diatas 0, maka jaringan masih memenuhi syarat untuk kelayakan operasi

### 2.8.2 LinkRise-Time Budget

Analisa *rise time budget* digunakan untuk mengetahui kapasitas informasi maksimum dari jaringan serat optik. Pendekatan dalam analisa *rise time budget*  $t_{\text{sys}}$  adalah dengan mengakarkan penjumlahan kuadrat total kontributor-kontributor *rise time* dari jaringan.

Lima elemen dasar yang memungkinkan untuk membatasi kecepatan sistem adalah *rise time* pemancar  $t_{\text{Tx}}$ , *rise time* dispersi intermodal pada serat *multi-mode*  $t_{\text{mod}}$ , *rise time* dispersi intramodal  $t_{\text{intra}}$ , *rise time* PMD pada serat optik  $t_{\text{PMD}}$  dan *rise time* penerima  $t_{\text{Rx}}$ . Maka *rise time budget* sistem  $t_{\text{sys}}$  adalah (Gerd Keiser, 2006 : 201) :

$$t_{\text{sys}} = (t_{\text{Tx}}^2 + t_{\text{mod}}^2 + t_{\text{intra}}^2 + t_{\text{PMD}}^2 + t_{\text{Rx}}^2)^{1/2} \quad (2-10)$$

dengan :

$t_{\text{Tx}}$  = *rise time* pemancar (s)

$t_{\text{Rx}}$  = *rise time* penerima (s)

$t_{\text{mod}}$  = *rise time* dispersi intermodal pada serat *multi-mode* (s)

$t_{\text{intra}}$  = *rise time* intramodal (s)

$t_{\text{PMD}}$  = *rise time* PMD (s)

Pada serat *single-mode* tidak mengalami dispersi intermodal ( $t_{\text{mod}} = 0$ ), sehingga dispersi yang terjadi pada serat *single-mode* hanya dispersi intramodal dan PMD.

Besarnya degradasi sinyal jika data yang dikirimkan dalam format *non return to zero* (NRZ) adalah *rise time* total tidak boleh melebihi 70 % dari maksimum *rise time* dari *bit rate* sinyal NRZ atau 35 % pada format *return to zero* (RZ).

*Rise time* pada pemancar dan penerima optik dapat diketahui dari *data sheet*. *Rise time* pada pemancar optik disebabkan dari kecepatan respon sumber optik terhadap arus *drive*. Dari *data sheet* didapatkan untuk sumber optik jenis LED *rise time* adalah sebesar 2 ns sedangkan jenis LD *rise time* sebesar 0,12 ns (Cedric Lam, 2007). *Rise time* pada penerima optik dihasilkan dari kecepatan respon *photodetector* dan *bandwidth-3dB* elektrik dari penerima *front-end*. Umumnya *rise time* dispesifikasikan sebagai waktu yang dibutuhkan *output* detektor untuk meningkat dari titik 10% ke 90% seperti Gambar 3.3. Hubungan *bandwidth* dan *rise time* dapat dilihat pada persamaan berikut (Tim J. Sobering, 1999 : 2) :

$$T_{\text{RX}} = 0,35 / B_{\text{RX}} \quad (2-11)$$

dengan :

$B_{RX}$  = *bandwidth* penerima *front-end* (MHz)

$T_{RX}$  = *rise time* penerima (ns)

Apabila dalam sistem digunakan sinyal dengan format NRZ, maka *rise time* total pada sistem atau  $t_{sys}$  tidak boleh kurang dari :

$$t_{sys} < 0,7 / B_{RX} \quad (2-12)$$

dengan :

$t_{sys}$  = *rise time* total sistem (ns)

$B_{RX}$  = *bandwidth* penerima *front-end* (MHz)

Laju bit informasi maksimum  $Br_{sis}$  diperoleh melalui persamaan [Hoss,1990 : 160] :

$$Br_{sis} = 0,7/t_{sys} \quad (2-13)$$

dengan :

$Br_{sis}$  = Laju bit informasi maksimum

$t_{sys}$  = *rise time* total sistem (ns)

### 2.8.3 Throughput

*Bandwidth* adalah kecepatan transmisi maksimum dari suatu jaringan. Namun dalam suatu sistem transmisi terdapat bit-bit *overhead* dalam satu paket data sehingga mengurangi efisiensi dari *bandwidth*, sehingga dapat diartikan *throughput* adalah kecepatan sebenarnya (efektif) dari suatu jaringan. Pada GPON *throughput* dari jaringan dapat diketahui menggunakan *utilization link*, dimana *utilization* dari *link* pada arah *downstream* dapat diketahui dari persamaan (Sami Lallukka & Pertti Raatikainen, 2006 : 98) :

$$\rho_{GPD} = \frac{l_p}{l_{GEMo} + l_p} \left[ \frac{t_{Gpdf} \times R_{GPbr} - l_{GPdo} \cdot l_{GPua} \times \left[ \frac{N_{ONU} \times t_{Gpdf}}{t_{ct}} \right]}{t_{Gpdf} \times R_{GPbr}} \right] \quad (2-14)$$

dengan :

$\rho_{GPD}$  = *downstream utilisation* pada GPON

$l_p$  = panjang *payload*

$l_{GEMo}$  = panjang GEM *overhead*

$t_{Gpdf}$  = durasi dari GEM *frame*

$R_{GPbr}$  = bit *rate* pada *link* GPON

$l_{GPdo}$  = panjang dari GPON *downstream overhead*

$l_{GPua}$  = panjang dari *upstream allocation overhead*

$t_{ct}$  = *cycle time*

$N_{ONU}$  = jumlah dari ONU

Sedangkan *utilisation* pada arah *upstream* dari GPON dapat diketahui dari persamaan (Sami Lallukka & Pertti Raatikainen, 2006 : 99) :

$$\rho_{Gpu} = \frac{l_p}{l_{GEMo} + l_p} \left[ t_{Gpdf} \times R_{GPbr} - \left[ \frac{N_{ONU} \times t_{Gpdf}}{t_{ct}} \right] (l_{plou} + l_{dbru}) \right] \quad (2-15)$$

dengan :

$\rho_{Gpu}$  = *upstream utilization* pada GPON

$l_{plou}$  = panjang dari *physical layer overhead* (termasuk PLOAMu *field*)

$l_{dbru}$  = jumlah dari DBRu *field* pada *frame upstream* GPON

Karena ONU dapat mengirim beberapa GEM *frame* selama *time slot* dan hanya pada urutan yang pertama yang membawa PLOu *field* dan semua *frame* membawa DBRu *field*, nilai rata-rata DBRu adalah :

$$l_{DBRu} = \frac{\left[ \frac{t_{ct} \times R_{GPbr}}{N_{ONU}} \right] l_{plou}}{l_{dbru} + l_{GEM}} \quad (2-16)$$

dimana  $l_{GEM}$  :

$$l_{GEM} = l_{GEMo} + l_{Ep} \quad (2-17)$$

dengan :

$l_{DBRu}$  = jumlah DBRu *field* pada GPON *frame*

Maka *throughput* dari *linkdownstream / upstream* dapat diketahui dengan :

$$T_{downstream/upstream} = \rho_{downstream/upstream} \times C_T \quad (2-18)$$

dengan

$T$  = *throughput*

$\rho$  = *link utilization*

$C_T$  = kapasitas maksimal *link*

### 2.8.4 Delay

*Delay* pada jaringan GPON dapat dikategorikan dalam komponen yang berbeda, yaitu *delay* pemrosesan, *delay* transmisi, *delay* antrian dan *delay* propagasi (Martin Reisslein dkk., 2009 : 6)

#### a. Delay Pemrosesan

*Delay* pemrosesan adalah waktu yang diperlukan untuk memproses paket data dan untuk menentukan ke mana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses pada jaringan berupa *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi.

*Delay* enkapsulasi terjadi saat proses pembentukan dan pembungkusan data dalam format paket tertentu untuk setiap layer. *Delay* ini terjadi pada *node* sumber. Besarnya *delay* enkapsulasi adalah :

$$t_{enc} = \frac{L}{C_{proc}}$$

(2-19)

dengan

$t_{enc}$  = *delay* enkapsulasi (detik)

$L$  = panjang paket (bit)

$C_{proc}$  = kecepatan proses sebuah simpul sumber (bps)

Proses dekapsulasi merupakan kebalikan dari proses enkapsulasi. *Delay* ini terjadi pada simpul tujuan. Besarnya *delay* dekapsulasi adalah :

$$t_{dec} = n \frac{L}{C_{proc}}$$

(2-20)

dengan

$t_{dec}$  = *delay* dekapsulasi (detik)

$L$  = panjang paket (bit)

$C_{proc}$  = kecepatan proses sebuah simpul tujuan (bps)

$n$  = jumlah paket

Jadi besarnya *delay* proses  $t_{proc}$  adalah :

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec}$$

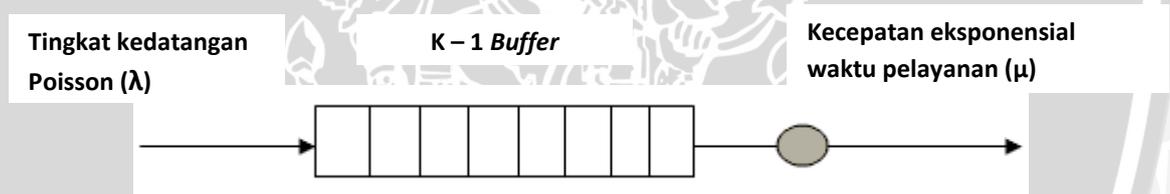
(2-21)

### b. Delay Transmisi

*Delay* akibat proses transmisi antara waktu pertama dan terakhir bit dari paket ditransmisikan. Durasi *frame* dari GEM adalah *fix* sebesar 125  $\mu$ s, sehingga *delay* transmisi pada jaringan GPON adalah sebesar 125  $\mu$ s (Martin Reisslein dkk., 2009 : 6).

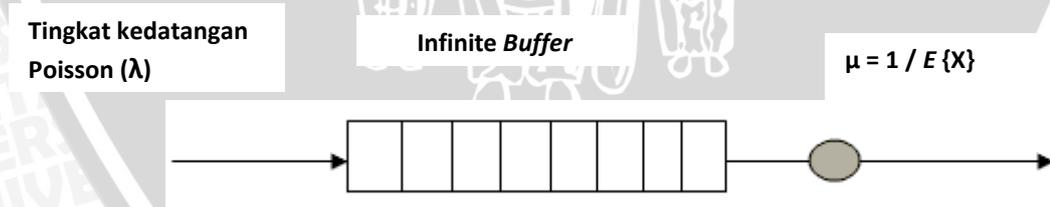
### c. Delay Antrian

*Delay* antrian adalah waktu dimana paket ditugaskan dalam suatu antrian untuk transmisi dan waktu start saat ditransmisikan. Selama waktu ini, paket menunggu selagi paket lain di dalam antrian transmisi dipancarkan. *Delay* antrian pada GPON dapat dimodelkan sebagai antrian M/G/1. Dianggap server tunggal sistem antrian dimana saat kedatangan pelanggan menurut proses Poisson dengan perbandingan  $\lambda$ . Tetapi waktu pelayanan pelanggan memiliki pendistribusian umum – tidak perlunya eksponensial dalam sistem M/M/1. Dibawah ini gambar sistem pemodelan antrian M/M/1 dan M/G/1.



Gambar 2.18 Sistem Antrian M/M/1

(Sumber : Alberto Leon-Garcia , 2001 )



Gambar 2.19 Sistem Antrian M/G/1

(Sumber : Alberto Leon-Garcia , 2001 )

Dimana rata-rata kedatangan paket pada OLT adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{m}{t} \quad (2.22)$$

Dengan:

$\lambda$  = Rata – rata kedatangan paket pada OLT (paket /s)

m = Total paket yang dibangkitkan dalam 1 second (paket)

t = Waktu referensi yang digunakan (second)

Sehingga pelayanan rata-rata adalah :

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (2.23)$$

Dengan:

$\mu$  = Pelayanan rata-rata (Paket / s)

C = Bit rate transmisi (bps)

L = Panjang paket (byte)

Sehingga waktu pelayanan rata-rata adalah sebagai berikut :

$$\bar{X} = E\{X\} = \frac{1}{\mu} \quad (2.24)$$

$$\overline{X^2} = E\{X^2\} \quad (2.25)$$

Waktu tunggu pelanggan saat antrian W didapatkan dari Pollackzeck-Khinchin formula, yaitu:

$$W = \frac{\lambda \overline{X^2}}{2(1-\rho)} \quad (2.26)$$

dimana,

$$\rho = \lambda/\mu = \lambda \bar{X} \quad (2.27)$$

maka total waktu tunggu dalam antrian dan dalam pelayanan T adalah:

$$T = \bar{X} + \frac{\lambda \overline{X^2}}{2(1-\rho)} \quad (2.28)$$

dengan:

$\bar{X}$  = waktu pelayanan rata-rata

$\overline{X^2}$  = kuadrat waktu pelayanan rata-rata

$\mu$  = rata-rata pelayanan (paket per detik)

$\lambda$  = rata-rata kedatangan paket (paket per detik)

$\rho$  = *utilization* dari link

Rata-rata kedatangan paket  $\lambda$  ke OLT adalah :

$$\lambda = \frac{m}{t} \quad (2.29)$$

Nilai  $\lambda$  untuk masing-masing pelanggan dipengaruhi oleh aplikasi yang diterapkan saat itu. Aplikasi yang berbeda akan menghasilkan nilai  $\lambda$  yang berbeda pula. Rata-rata paket yang dibangkitkan tiap detik, dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{gen} = \frac{B}{P_{size}} \quad (2.30)$$

Sehingga total paket yang dibangkitkan :

$$P_{gen} = \sum P_{gen} \times n_i \quad (2.31)$$

dan rata-rata waktu pelayanan,  $\mu$ , didapatkan dari persamaan

$$\mu = \frac{c}{L} \quad (2.32)$$

Dengan kecepatan kedatangan data adalah  $\lambda$  (paket/s), dan kecepatan pelayanan adalah  $\mu$  (paket/s) maka performansi system antrian ditunjukkan dalam bentuk  $\rho$  (*utilization*) :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.33)$$

dengan :

$m$  = total paket yang dibangkitkan dari node (paket)

$t$  = waktu pengiriman paket (detik)

$C$  = bit rate transmisi (bps)

$L$  = rata-rata panjang *frame* (bit/s)

$P_{gen}$  = paket yang dibangkitkan (paket/s)

$B$  = *bandwidth*, sesuai aplikasi yang diterapkan (bps)

$P_{size}$  = ukuran paket yang ditransmisikan (bit)

$P_{total}$  = paket total yang dibangkitkan (paket/s)

$P_{gen-I}$  = paket yang dibangkitkan untuk aplikasi I (paket/s)

$n_i$  = total pelanggan dengan aplikasi I dalam satu ONU

#### d. Delay Propagasi

*Delay* propagasi adalah waktu bit akhir ditransmisikan di titik kepala dari jaringan dan waktu bit terakhir diterima pada titik ekor (*tail node*) atau sebanding dengan jarak fisik antara penerima (*receiver*) dan pengirim (*transmitter*). Pada sisten komunikasi serat optik tergantung pada kecepatan cahaya di dalam media serat optik dan bergantung pada jarak transmisi. Maka besarnya *delay* propagasi (Halsall, 1992 : 48) :

$$D_{prop} = \frac{s}{v}$$

(2-34)

dimana,

$$v = \frac{c}{n}$$

(2-35)

dengan:

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$v$  = kecepatan cahaya dalam serat optik

$s$  = jarak transmisi (m)

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian yang bersifat aplikatif yaitu merencanakan GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play* di *residential* Citra Land di kota Surabaya. Tahapan yang dilakukan dalam perencanaan ini terdiri atas penentuan jenis data dan cara mendapatkan data, menentukan variabel dan analisa data, membuat rangka solusi masalah yang diungkapkan dalam bentuk *flowchart* atau digram alir.

#### 3.1 Jenis Data dan Cara Pengambilan Data

Jenis data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

##### 3.1.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diambil berdasarkan studi lapangan berupa pengamatan lapangan. Data ini diambil dari PT.Telkom dan bagian pemasaran *residential* Citra Land di Surabaya. Data primer yang diperoleh adalah :

1. Jarak *fiber* optik dari Sentral Otomat Telepon (STO) sampai *residential* Citra Land.
2. *site plan* *residential* Citra Land di Surabaya.

##### 3.1.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet dan forum-forum resmi mengenai perencanaan GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play*. Beberapa data sekunder yang digunakan antara lain :

- Spesifikasi OLT dan ONU untuk aplikasi GPON.
- Spesifikasi dan karakteristik sumber optik, detektor optik, komponen optik meliputi kabel serat optik *single-mode*, konektor, *splicer*, *WDM coupler*, dan *PLC passive splitter*.
- Dari *data sheet* perangkat OLT dan ONU untuk aplikasi GPON panjang gelombang yang digunakan dalam sistem transmisi adalah 1310 nm untuk sinyal transmisi *upstream*, 1490 nm untuk sinyal transmisi *downstream*, dan 1550 nm untuk sinyal transmisi *broadcast analog video overlay*.

- *Optical Distribution Network*(ODN) menggunakan *attenuation range* kelas B+ (15-28 dB).
- *Packet Framing* menggunakan metode *GPON Encapsulation Method* (GEM).
- Asumsi kebutuhan layanan pada pelanggan *residential* berupa layanan telepon, *high speed internet*, *video over IP* (format HDTV) dan *analog broadcast video overlay*.

### 3.2 Variabel dan Cara analisis Data

#### 3.2.1 Variabel Data

Variabel data yang digunakan dalam skripsi ini terdiri dari *bandwidth*, *link power budget*, *link rise time budget*, *throughput*, *delay*.

- *Bandwidth* : Besaran yang menunjukkan seberapa banyak data yang dapat dilewatkan dalam koneksi melalui sebuah network. *Bandwidth* yang dimaksudkan disini adalah jalur lebar digital yang merujuk kepada jumlah atau volume data yang dilewatkan melalui satu saluran komunikasi yang diukur dalam unit bit per second (bps).
- *Link Power Budget* :kebutuhan daya dalam suatu *link* sistem komunikasi serat optik yang harus dipenuhi agar didapatkan performansi sistem sebagaimana yang diinginkan. Besarnya *power budget system* harus lebih besar dari redaman total dari saluran.
- *Link Rise Time Budget* :kapasitas informasi maksimum dari jaringan serat optik. Pendekatan dalam analisa *rise time budget*  $t_{sys}$  adalah dengan mengakarkan penjumlahan kuadrat total kontributor-kontributor *rise time* dari jaringan.
- *Throughput*: kapasitas *bandwidth* efektif dari link sistem (tanpa melibatkan gangguan).
- *Delay* : waktu tunda.

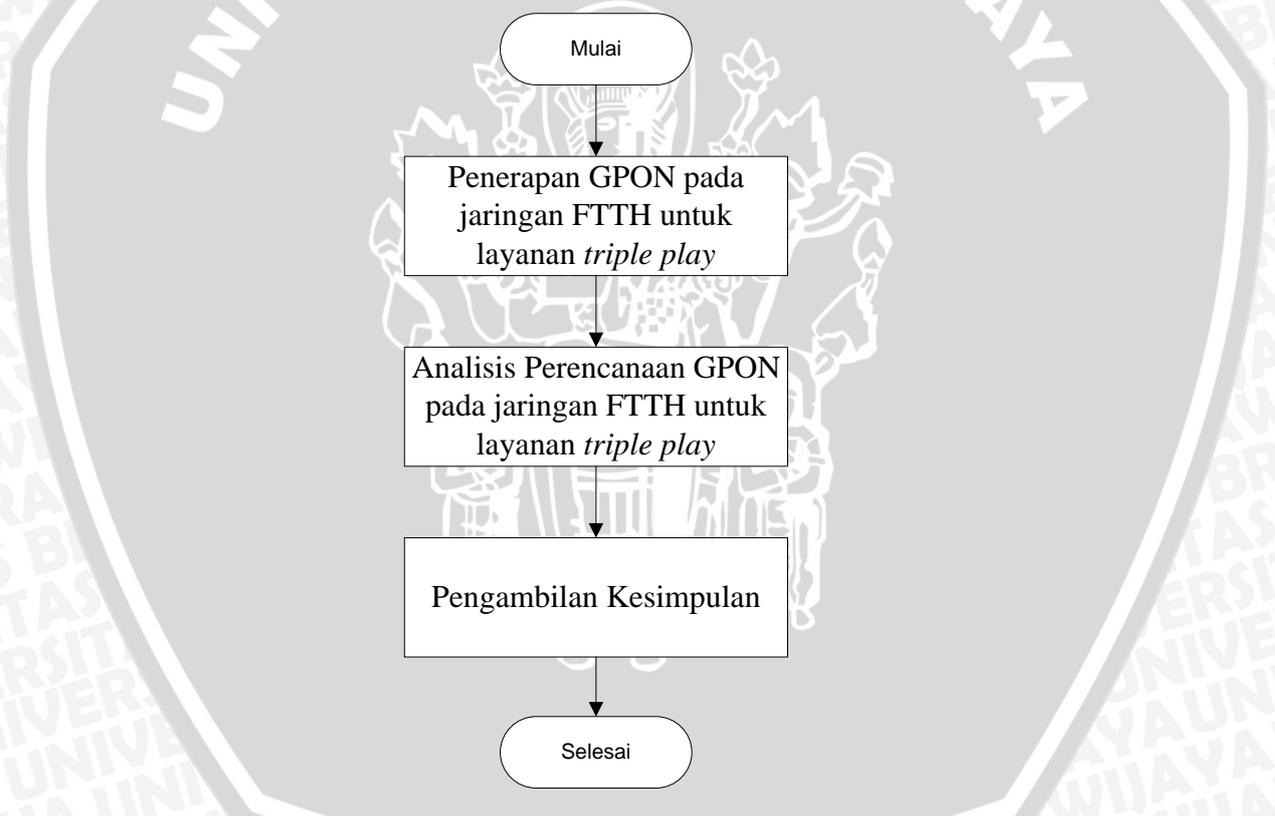
#### 3.2.2 Cara Analisis Data

Cara analisis data yang digunakan dalam perencanaan GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play* di *residential* Citra Land di kota Surabaya. Adalah sebagai berikut :

1. Analisis secara matematis yaitu mengumpulkan nilai dari parameter data-data primer dan sekunder dengan kesesuaian terhadap standar yang digunakan untuk kemudian dianalisis berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan. Analisis yang dilakukan meliputi : *bandwidth*, *link power budget*, *link rise time budget*, *throughput*, *delay*.
2. Analisis secara grafis yaitu melakukan hasil perhitungan ke dalam bentuk grafis sehingga dapat diketahui karakteristik sistem yang digunakan.

### 3.3 Kerangka Solusi Permasalahan

Rangka keseluruhan proses penyelesaian masalah yang telah dirumuskan dan ditelaah dari aspek tertentu, dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan dan dijabarkan dalam bentuk diagram alir



Gambar 3.1 Diagram alir solusi permasalahan  
Sumber : Perancangan

### 3.3.1 Penerapan GPON Pada FTTH Untuk Layanan *Triple Play*

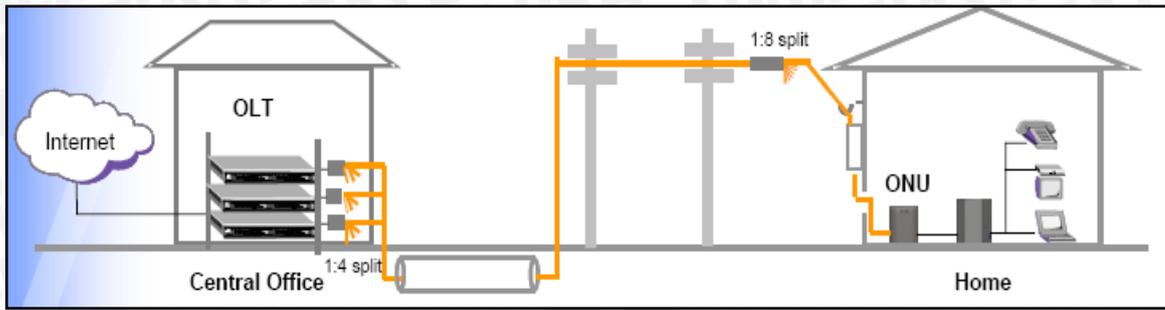
- **Penerapan GPON Pada FTTH**

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, *Fiber To The Home* (FTTH) merupakan pengembangan jaringan lokal akses fiber (jarlokaf) dari *Central Office* (CO) langsung ke arah rumah (*residential*). Dengan menerapkan FTTH pada pelanggan, diharapkan kebutuhan pelanggan akan *bandwidth* yang semakin besar dapat diatasi seiring terbatasnya kemampuan teknologi kabel tembaga akibat distorsi sinyal dan *crosstalk*. FTTH merupakan konfigurasi jarlokaf yang tidak menyertakan kabel tembaga dalam struktur jaringannya (*full fiber*), sehingga rugi-rugi yang didapat dari kabel tembaga dapat dihilangkan.

Dalam skripsi ini dipilih GPON sebagai teknologi jarlokaf yang diterapkan dalam jaringan FTTH. Dengan menerapkan teknologi GPON pada jaringan FTTH maka keuntungan yang didapat antara lain :

- Hemat dalam pemakaian serat optik.
- *Coverage* daerah layanan yang lebih luas daripada sistem kabel tembaga.
- Memiliki fleksibilitas yang tinggi.
- *Maintenance* yang lebih mudah karena penggunaan perangkat pasif.
- Menawarkan *data rate* yang tinggi hingga 2,488 Gbps dan 1,244 Gbps *upstream*.
- Dapat mencakup hingga 128 pelanggan per antarmuka GPON.
- Mendukung format protokol yang lebih variatif yaitu TDM (*Time Division Multiplexing*), ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) dan Ethernet.

Pemasangan kabel optik dalam arsitektur FTTH umumnya berupa penanaman kabel *duct* pada kabel *feeder* dan *aerial cable* pada kabel distribusi. *Passive splitter* ditempatkan pada suatu kabinet dengan pertimbangan kemudahan perawatan, keamanan dan persebaran pengguna yang bergantung pada kondisi lapangan.

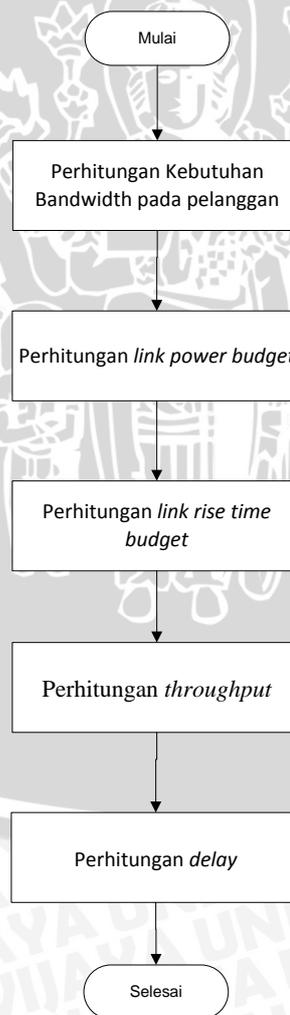


Gambar 3.2 Contoh penerapan GPON pada FTTH

Sumber : Udo Vetzer, 2009

### 3.3.2 Perencanaan GPON Pada Jaringan FTTH Untuk Layanan *Triple Play*

Dalam perencanaan GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play* di *residential* Ctra Land di kota Surabaya ini akan dilakukan beberapa tahap agar didapat hasil semaksimal mungkin. Tahap-tahap yang akan dilakukan dalam perencanaan ini adalah sesuai dengan diagram pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram alir perencanaan GPON pada jaringan FTTH untuk layanan *triple play*

Sumber : Perancangan

Berikut adalah penjelasan dari diagram alir diatas : langkah pertama adalah menghitung kebutuhan *bandwidth* pada pelanggan, setelah mendapatkan kebutuhan *bandwidth*, kita akan menghitung *link power budget*, jadi kita menghitung kebutuhan daya dalam suatu *link* sistem komunikasi serat optik yang harus dipenuhi agar didapatkan performansi sistem sebagaimana yang diinginkan, kemudian menghitung *link rise time budget*, di mana menghitung kapasitas informasi maksimum dari jaringan serat optik, kemudian menghitung *throughput* dan *delay*, untuk mengetahui kapasitas efektif dari *link* dan waktu tunda yang dihasilkan oleh jaringan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB IV

### PERENCANAAN JARINGAN *FIBER TO THE HOME* (FTTH) UNTUK LAYANAN *TRIPLE PLAY* MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK* (GPON) PADA *RESIDENTIAL CITRA LAND*

#### 4.1 Perhitungan Kebutuhan *Bandwidth* Pelanggan

Dalam perencanaan jaringan ini calon pelanggan adalah masyarakat *residential* di Citraland. Citraland merupakan perumahan baru yang ditujukan untuk pengguna dengan ekonomi golongan menengah ke atas. Dari *site plan residential* Citraland (lampiran 1) akan diasumsikan calon pengguna terdiri dari 54 rumah dan semua calon pengguna jasa PT Telkom. Perhitungan kebutuhan *bandwidth* dapat dihitung dengan memprediksi aplikasi apa saja yang akan di akses oleh masing-masing calon pelanggan FTTH tersebut. Untuk mengakses layanan *triple play* diasumsikan pelanggan menggunakan aplikasi telepon, *high speed* internet dan *video over IP*. Berikut kebutuhan *bandwidth* setiap pelanggan untuk mengakses layanan *triple play*. [Cedric Lam, 2007 :13]

- Telepon : 64 kbps
  - Internet : 2 Mbps
  - *Video over IP* (HDTV) : 20 Mbps
- Sehingga total *bit rate* : 22,64 Mbps

Dari perhitungan di atas, maka kebutuhan *bandwidth* untuk 54 pelanggan dalam perencanaan FTTH ini adalah  $54 \times 22,064 \text{ Mbps} = 1.191,456 \text{ Mbps}$

#### 4.2 Perencanaan Konfigurasi Jaringan

Jaringan serat optik yang direncanakan merupakan jaringan lokal akses serat optik (jarlokaf) yang menghubungkan Sentral Telepon Otomat (STO) Kandangan dengan *residential* Citraland. Di dalam perencanaan FTTH berbasis GPON beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu spesifikasi OLT, ODN, dan ONU di sisi pelanggan. Dapat dilihat pada Gambar 4.1.

##### 4.2.1 Spesifikasi *Optical Line Terminal* (OLT)

Perangkat *Optical Line Terminal* (OLT) yang menghubungkan perangkat *switching* dari jaringan *backbone* dengan jaringan akses ditempatkan dikantor STO

Kandungan. Di dalam perencanaan, teknologi GPON dapat melayani 64 pelanggan, jadi OLT yang dipilih adalah jenis OLT yang mempunyai 64 *interface cards* untuk melayani pelanggan. Adapun *bandwidth* yang dapat disampaikan adalah 2,48 Gbps. Spesifikasi dari OLT dengan MAGNM™ tipe L 6104 dapat dilihat pada lampiran III

#### 4.2.2 Spesifikasi *Optical Distribution Network* (ODN)

*Optical Distribution Network* (ODN) berfungsi untuk transport dan didistribusi data dari OLT ke ONU. ODN terdiri dari *transceiver* optik, kabel serat optik, *passive splitter*, konektor, WDM *coupler*, dan *splicer*.

##### a. Spesifikasi *Transceiver* Optik pada OLT

Pada perangkat OLT GPON digunakan perangkat *transceiver* optik OPGP-43-B3B1RS dari Delta Elektronik yang dapat dilihat pada lampiran IV. Dari *data sheet* tersebut dapat diketahui sumber dan penerima optik yang digunakan yaitu jenis DFB LD dan APD-TIA sehingga dapat diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan *link power budget* dan *link rise time budget*, yaitu :

- Panjang gelombang yang digunakan 1490 nm *transmitter*, 1310 nm *receiver*.
- Daya pancar sumber optik min. 1,5 dBm dan *rise time* 0,15ns
- Sensitifitas penerima -29 dBm dengan *rise time* 0,15 ns
- Untuk layanan *broadcast analog video overlay* digunakan perangkat *eksternal modulation transmitter* ET-5019 dengan sumber optik DFB LD, panjang gelombang 1550 nm, daya pancar sumber optik min.7 dBm dan *rise time* 0,12 ns [Cedric Lam, 2007 :163] pada lampiran IV.

##### b. *Splitter*

*Splitter* ditempatkan di kabinet FRF yang berada di lingkungan *residential* Citraland. Penempatan *splitter* di kabinet FRF dengan pertimbangan keamanan perawatan dan penyebaran pelanggan. Konfigurasi kabel distribusi yang menghubungkan *splitter* dengan rumah pelanggan direncanakan berdasarkan studi lapangan. Jenis *splitter* yang digunakan dalam perencanaan ini adalah PLC *splitter* Vlaknova Optika (lampiran V) dengan konfigurasi 1:64 dengan *insertion loss* maks. sebesar 21,0 dB untuk mengakomodasi 54 pelanggan.

##### c. Serat Optik

Panjang kabel serat optik yang digunakan dalam perencanaan jaringan lokal ini diperoleh dengan mengukur panjang jalan kaki dari sentral ke pelanggan ditambah

dengan toleransi sebesar 1% seperti yang telah diterapkan oleh PT. Telkom. Pemilihan jenis serat optik sangat mempengaruhi dalam perencanaan ini. Untuk serat optik bisa dipilih *single mode* atau *multy mode*. Pada perencanaan ini menggunakan serat optik *single mode* karena :

- 1) Disesuaikan dengan spesifikasi perangkat OLT dan *transceiver* optik.
- 2) Redaman yang dimiliki oleh serat optik *single mode* lebih kecil dibandingkan dengan serat optik *multy mode*.
- 3) Rekomendasi ITU-T G.984.1 untuk aplikasi GPON.

Rugi-rugi serat optik pada panjang gelombang tertentu ( $\alpha_f$ ) :

- 0,35 dB/Km pada panjang gelombang 1310 nm
- 0,22 dB/Km pada panjang gelombang 1490 nm
- 0,19 db/Km pada panjang gelombang 1550 nm

#### d. *Splicer*

*Splicer* digunakan untuk menyambung serat optik. Teknik *splicing* yang digunakan adalah *fusion splice* yang digunakan pada ujung *feeder cable* dan penyambung kabel di setiap 2 km. Dengan jarak maksimal pelanggan adalah 4,034 km sehingga *splicer* yang digunakan sebanyak 1 buah dengan *insertion loss* ( $L_s$ ) sebesar 0,1 dB per *splicer*.

#### e. *WDM Coupler*

Digunakan 2 buah perangkat *WDM coupler* ( $L_{coupler}$ ) dari AC *photonics* (lampiran VI) untuk mengkombinasi dan memisahkan panjang gelombang pada OLT dan ONU dengan *insertion loss* sebesar 0,8 dB.

#### f. *Konektor*

Untuk menyesuaikan dengan spesifikasi perangkat *tranceiver*, maka konektor yang digunakan pada *transceiver* adalah tipe SC produksi dari RIT dengan *insertion loss* 0,3 dB. Selain itu juga digunakan 2 buah konektor LC pada kabel drop dan distribusi serta 1 konektor LC sebagai *interface* antara *splitter* dan kabel distribusi dengan *insertion loss* ( $L_c$ ) sebesar 0,3 dB.

#### g. *Spesifikasi Transceiver Optik pada ONU*

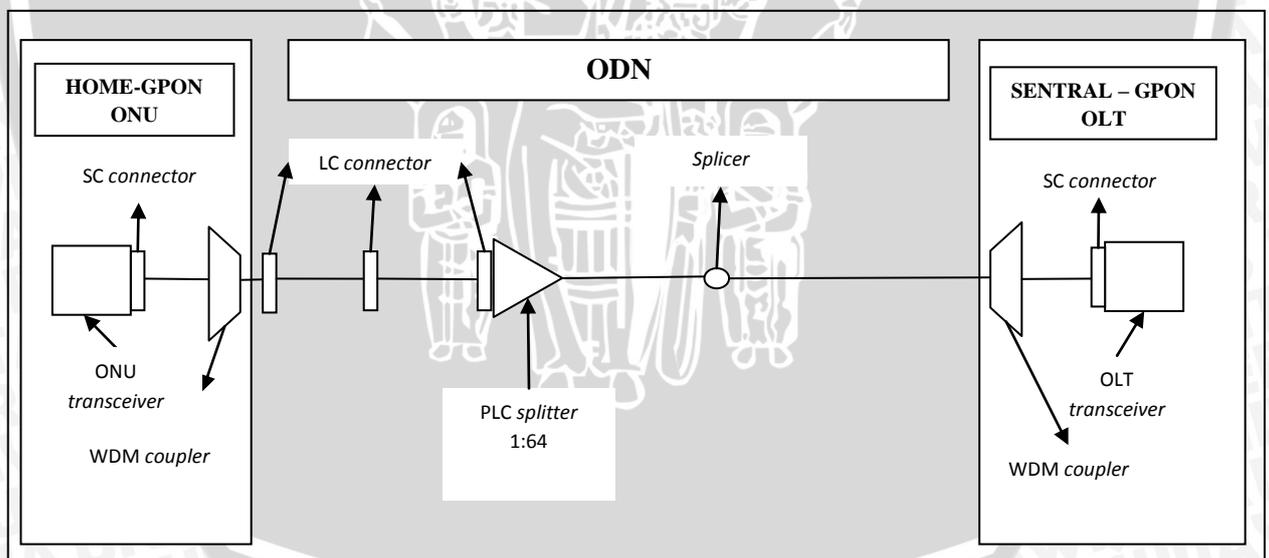
Untuk spesifikasi *transceiver* optik yang digunakan pada ONU adalah FTGN3025 Q1TAX dari Finisar. (lampiran VIII). Dari *data sheet* tersebut dapat dipilih sumber dan penerima optik yang digunakan yaitu jenis DFB LD dan APD-TIA serta

PIN-TIA untuk layanan video analog sehingga dapat diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan *link power budget* dan *link rise time budget*, yaitu :

- Panjang gelombang yang digunakan 1310 nm *transmitter*, 1490 nm *receiver* dan 1550 nm untuk layanan *broadcast analog video overlay*.
- Daya pancar sumber optik min. 0,5 dBm dan *rise time* 0,25 ns.
- Sensitifitas penerima min. -28 dBm dan *rise time* 0,16 ns.
- Untuk layanan *broadcast analog video overlay* digunakan penerima optik PIN-TIA, panjang gelombang 1550 nm, sensitifitas detektor optik -27 dBm dan *rise time* 0,5 ns.

#### 4.2.3 Spesifikasi ONU

Peletakan ONU pada perencanaan FTTH ini adalah di rumah pelanggan, ini berdasarkan modus aplikasi dari jaringan optik yaitu FTTH. Adapun spesifikasi dari ONU type 1600-712 dapat dilihat pada lampiran X. *Bandwidth* yang dapat dikirimkan adalah 1.25 Gbps. Untuk konfigurasi jaringan perencanaan FTTH berbasis GPON dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.1 Konfigurasi jaringan akses GPON dan komponen-komponennya

Sumber : Perencanaan

### 4.3 Perhitungan *Link Power Budget*

Sistem transmisi menggunakan tiga panjang gelombang yang berbeda, maka *link power budget* dihitung pada 3 panjang gelombang yang berbeda, karena untuk panjang gelombang yang berbeda dihasilkan nilai *atenuasi* pada serat optik yang berbeda ( rugi serat optik ). Untuk ukuran jarak dari OLT ke setiap ONU pelanggan dapat dilihat pada lampiran II. Sedangkan untuk contoh perhitungan akan digunakan jarak terjauh antara OLT ke ONU pelanggan yaitu 4,034 km.

#### 4.3.1 *Link Power Budget* pada 1310 nm

Panjang gelombang 1310 nm digunakan untuk transmisi *upstream* (dari ONU ke OLT). Pada serat optik SMF rugi serat optik ( $\alpha_f$ ) pada panjang gelombang 1310 nm sebesar 0,35 dB/km. Sumber optik yang digunakan pada transmisi *upstream* dari ONU dapat memancarkan daya ( $P_s$ ) minimal 0,5 dBm dan detektor optik pada OLT memiliki sensitifitas sebesar -29 dBm ( $P_r$ ) pada OLT.

Maka untuk jarak pelanggan terjauh (4,034 km), besar *power budget* ( $P_t$ ) :

$$\begin{aligned} P_t &= P_s - P_r \\ &= 0,5 \text{ dBm} - (-29 \text{ dBm}) \\ &= 29,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Total *optical power loss* atau redaman total pada jaringan :

$$\begin{aligned} a_{\text{total}} &= (\alpha_f \times D) + (N_s \times L_s) + (N_c \times L_c) + S + L_{\text{coupler}} \\ &= (0,35 \times 4,034) + (1 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + 21,0 + (2 \times 0,8) \\ &= 25,6119 \text{ dB} \end{aligned}$$

Margin sistem :

$$\begin{aligned} M &= (P_s - P_r) - a_{\text{total}} - 3 \\ &= 29,5 - 25,6119 - 3 \\ &= 0,8881 \text{ dB} \end{aligned}$$

Margin sistem masih di atas nol, maka jaringan masih memenuhi kelayakan operasi.

#### 4.3.2 Link Power Budget pada 1490 nm

Pada panjang gelombang 1490 nm digunakan untuk transmisi *downstream* (dari OLT ke ONU). Pada serat optik SMF rugi serat optik ( $\alpha_f$ ) pada panjang gelombang 1490 nm sebesar 0,22 dB/Km. Sumber optik yang digunakan pada transmisi *upstream* dari OLT dapat memancarkan daya ( $P_s$ ) sebesar 1,5 dBm dan detektor optik memiliki sensitifitas sebesar -29 dBm ( $P_r$ ) pada ONU.

Maka untuk jarak pelanggan terjauh (4,034 km), besar *power budget* ( $P_t$ ) :

$$\begin{aligned} P_t &= P_s - P_r \\ &= 1,5 \text{ dBm} - (-29 \text{ dBm}) \\ &= 30,5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Total *optical power loss* atau redaman total pada jaringan :

$$\begin{aligned} a \text{ total} &= (\alpha_f \times D) + (N_s \times L_s) + (N_c \times L_c) + S + L_{coupler} \\ &= (0,22 \times 4,034) + (1 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + 21,0 + (2 \times 0,8) \\ &= 25,08748 \text{ dB} \end{aligned}$$

Margin sistem :

$$\begin{aligned} M &= (P_s - P_r) - a \text{ total} - 3 \\ &= 30,5 - 25,08748 - 3 \\ &= 2,41252 \text{ dB} \end{aligned}$$

Margin sistem masih di atas nol, maka jaringan masih memenuhi kelayakan operasi.

#### 4.3.3 Link Power Budget pada 1550 nm

Pada perhitungan *link power budget* dengan panjang gelombang 1550 nm yang digunakan untuk arah transmisi *downstream* untuk *video CATV analog overlay* perbedaan parameternya adalah rugi serat optik ( $\alpha_f$ ) pada panjang gelombang 1550 nm sebesar 0,19 dB/km dan sumber optik yang digunakan pada transmisi *downstream* untuk *video CATV analog overlay* digunakan DFB laser yang dapat memancarkan daya

( $P_s$ ) sebesar 7,0 dBm dari OLT dan penerima optik memiliki sensitifitas sebesar -27 dBm pada ONU.

Maka untuk jarak pelanggan terjauh (4,034 km), besar *power budget* ( $P_t$ ) :

$$\begin{aligned} P_t &= P_s - P_r \\ &= 7,0 \text{ dBm} - (-27 \text{ dBm}) \\ &= 34 \text{ dBm} \end{aligned}$$

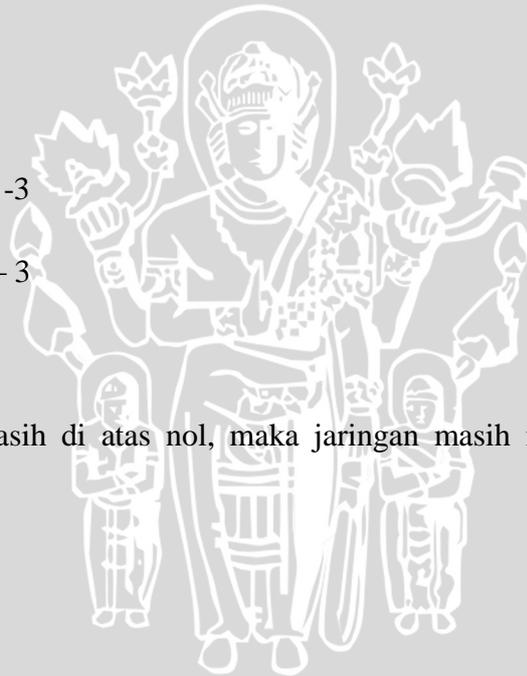
Total *optical power loss* atau redaman total pada jaringan :

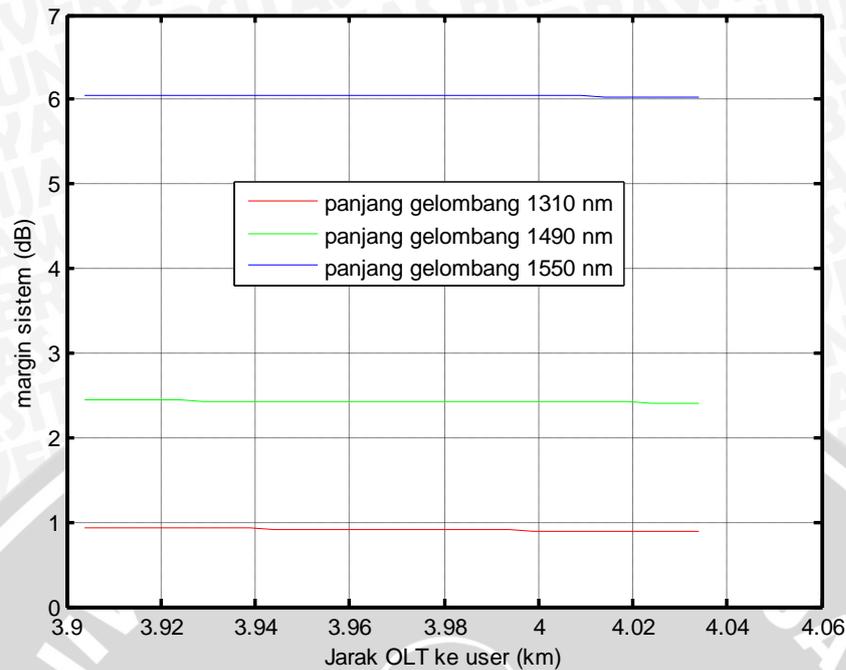
$$\begin{aligned} a \text{ total} &= (\alpha_f \times D) + (N_s \times L_s) + (N_c \times L_c) + S + L_{coupler} \\ &= (0,19 \times 4,034) + (1 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + 21,0 + (2 \times 0,8) \\ &= 24,96646 \text{ dB} \end{aligned}$$

Margin sistem :

$$\begin{aligned} M &= (P_s - P_r) - a \text{ total} - 3 \\ &= 34 - 24,96646 - 3 \\ &= 6,03354 \text{ dB} \end{aligned}$$

Margin sistem masih di atas nol, maka jaringan masih memenuhi kelayakan operasi.





Gambar 4.2 Margin Sistem terhadap Jarak OLT ke User

Sumber : Perhitungan

#### 4.4 Perhitungan *Link Rise Budget*

Analisis *rise time budget* diketahui untuk mengetahui kapasitas informasi maksimum dari *link*. Analisis juga dilakukan pada 3 panjang gelombang yang berbeda.

##### 4.4.1 *Rise Time Budget* pada 1310 nm

Untuk analisis *rise time budget* pada panjang gelombang 1310 nm digunakan komponen dengan parameter *link* sebagai berikut :

- *Rise time* dan lebar spektrum optik pada ONU sebesar 0,25 ns dan 1 nm.
- *Rise time* detektor optik pada OLT sebesar 0,26 ns
- Serat optik yang digunakan berjenis *single mode fiber* G.652 dengan indeks bias inti ( $n_1$ ) 1,45, indeks bias selubung ( $n_2$ ) 1,436, jari-jari inti ( $a$ ) 8,7  $\mu\text{m}$ , dan koefisien dispersi bahan 0,093 ps/nm.km.
- Koefisien PMD sebesar 0,05 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Langkah pertama dalam analisis *rise time budget* adalah dengan menghitung dispersi intermodal yang terdiri dari dispersi khromatis dan dispersi pandu gelombang.

Untuk dispersi khromatis dengan jarak terjauh (4,034 km) :

$$\begin{aligned}\tau_m &= t_{dm} \times \Delta\lambda \times D \\ &= 0,093 \times 1 \times 4,034 \text{ km} \\ &= 0,375162 \text{ ps}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai dispersi pandu gelombang melalui perhitungan berikut :

- selisih indeks bias :

$$\begin{aligned}\Delta s &= \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1,45 - 1,436}{1,45} \\ \Delta_s &= 9,655 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

- frekuensi ternormalisasi :

$$\begin{aligned}v &= \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta_s} \\ v &= \frac{2 \cdot 3,14}{1310 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 \sqrt{2 \cdot 9,655 \cdot 10^{-3}} \\ v &= 7,9207 \text{ Hz}\end{aligned}$$

- koefisien dispersi :

$$\begin{aligned}|D_w| &= \frac{4 \left( -\ln v \right)}{v^2} = \frac{4 \left( -\ln 7,9207 \right)}{(7,9207)^2} \\ |D_w| &= 0,0682\end{aligned}$$

maka, dispersi pandu gelombang sebesar :

$$\begin{aligned}\tau_w &= \frac{D}{c \cdot \lambda_0} (n_1 - n_2) D_w \cdot \Delta\lambda = \frac{4,034 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1310 \cdot 10^{-9}} (1,45 - 1,436) \cdot 0,0682 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \\ \tau_w &= 0,00980066972 \times 10^{-9}\end{aligned}$$

$$\tau_w = 0,00980066972 \text{ ns}$$

total nilai dispersi intramodal adalah

$$\begin{aligned}t_{intra} &= \tau_m + \tau_w \\ &= 0,375162 \text{ ps} + 9,80066972 \text{ ps} \\ &= 10,17583172 \text{ ps}\end{aligned}$$

Besar PMD adalah sebesar  $0,05 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ , sehingga  $t_{\text{PMD}}$  pada jarak terjauh (4,034 km) :

$$\begin{aligned}t_{\text{PMD}} &= 0,05 \text{ ps} \cdot \sqrt{4,034} \\ &= 0,024894423 \text{ ps}\end{aligned}$$

total rise time budget pada panjang gelombang 1310 nm :

$$t_{\text{sys}} = (t_{\text{Tx}}^2 + t_{\text{mod}}^2 + t_{\text{intra}}^2 + t_{\text{PMD}}^2 + t_{\text{Rx}}^2)^{1/2}$$

Sehingga total rise time adalah sebesar :

$$t_{\text{sys}} = (0,25^2 + 0 + 0,01017583172^2 + 0,000024894423^2 + 0,26^2)^{1/2}$$

$$= 0,360837288 \text{ ns}$$

Karena jaringan menggunakan format NRZ, besar laju bit maksimum :

$$\begin{aligned} Br_{sis} &= \frac{0,7}{t_{sys}} \\ &= 0,7 / 0,360837288 \\ &= 1,939932551 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

Laju bit maksimum masih memenuhi kebutuhan *bit rate upstream* sebesar 1,24 Gbps.

#### 4.4.2 Rise Time Budget pada 1490 nm

Koefisien dispersi bahan pada serat optik SMF dengan panjang gelombang 1490 nm sebesar 14 ps/nm.km. Sumber optik pada OLT memiliki *rise time* sebesar 0,15 ns, sedangkan detektor optik pada ONU memiliki *rise time* sebesar 0,16 ns. Dengan menggunakan metode analisis *rise time budget* yang sama dengan panjang gelombang 1310 nm, maka khromatis pada jarak terjauh (4,034 km):

$$\begin{aligned} \tau_m &= t_{dm} \times \Delta_\lambda \times D \\ &= 14 \times 1 \times 4,034 \text{ km} \\ &= 56,476 \text{ ps} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai dispersi pandu gelombang melalui perhitungan berikut, selisih indeks bias sebesar:

$$\begin{aligned} \Delta_s &= \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1,45 - 1,436}{1,45} \\ \Delta_s &= 9,655 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

frekuensi ternormalisasi:

$$\begin{aligned} v &= \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta_s} \\ v &= \frac{2 \cdot 3,14}{1490 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 \sqrt{2 \cdot 9,655 \cdot 10^{-3}} \\ v &= 6,9639 \text{ Hz} \end{aligned}$$

koefisien dispersi:

$$\begin{aligned} |D_w| &= \frac{4(1 - \ln v)}{v^2} = \frac{4(1 - \ln 6,9639)}{6,9639^2} \\ |D_w| &= 0,0776 \end{aligned}$$

maka, dispersi pandu gelombang:

$$\tau_w = \frac{D}{c \cdot \lambda_0} (n_1 - n_2) D_w \cdot \Delta \lambda = \frac{4,034 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1490 \cdot 10^{-9}} (1,45 - 1,436) 0,0776 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = 0,009804334676 \text{ ns}$$

total nilai dispersi intramodal adalah :

$$\begin{aligned} t_{\text{intra}} &= \tau_m + \tau_w \\ &= 56,476 \text{ ps} + 9,804334676 \text{ ps} \\ &= 66,28033468 \text{ ps} \end{aligned}$$

Besarnya *rise time budget*:

$$t_{\text{sys}} = (t_{\text{Tx}}^2 + t_{\text{mod}}^2 + t_{\text{intra}}^2 + t_{\text{PMD}}^2 + t_{\text{Rx}}^2)^{1/2}$$

sehingga total *rise time* adalah sebesar :

$$\begin{aligned} t_{\text{sys}} &= (0,15^2 + 0 + 0,06628033468^2 + 0,00002489^2 + 0,16^2)^{1/2} \\ &= 0,229113961 \text{ ns} \end{aligned}$$

Karena jaringan menggunakan format NRZ, laju bit maksimum adalah :

$$\begin{aligned} Br_{\text{sis}} &= \frac{0,7}{t_{\text{sys}}} \\ &= 0,7 / 0,229113961 \\ &= 3,055251727 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

Laju bit maksimum masih memenuhi kebutuhan *bit rate downstream* sebesar 2,4 Gbps.

#### 4.4.3 Rise Time Budget pada 1550 nm

Koefisien dispersi bahan pada serat optik SMF dengan panjang gelombang 1550 nm adalah sebesar 17 ps/nm.km. Sumber optik pada OLT untuk layanan video analog memiliki *rise time* sebesar 0,12 ns, sedangkan detektor optik pada ONU untuk layanan video analog memiliki *rise time* sebesar 0,4 ns. Dengan menggunakan metode analisis *rise time budget* yang sama dengan dua panjang gelombang sebelumnya, maka dispersi khromatis pada jarak terjauh (4,034 km) :

$$\begin{aligned} \tau_m &= t_{\text{dm}} \times \Delta \lambda \times D \\ &= 17 \times 1 \times 4,034 \\ &= 68,578 \text{ ps} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai dispersi pandu gelombang melalui perhitungan berikut, selisih indeks bias :

$$\Delta_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1,45 - 1,436}{1,45}$$

$$\Delta_s = 9,655 \times 10^{-3}$$

frekuensi ternormalisasi:

$$v = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta_s}$$

$$v = \frac{2 \cdot 3,14}{1550 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 \sqrt{2 \cdot 9,655 \cdot 10^{-3}}$$

$$v = 6,6943 \text{ Hz}$$

koefisien dispersi:

$$|D_w| = \frac{4(-\ln v)}{v^2} = \frac{4(-\ln 6,6943)}{6,6943^2}$$

$$|D_w| = 0,0804$$

maka, dispersi pandu gelombang sebesar :

$$\tau_w = \frac{D}{c \cdot \lambda_0} (n_1 - n_2) D_w \cdot \Delta\lambda = \frac{4,034 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1550 \cdot 10^{-9}} (1,45 - 1,436) 0,0804 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = 0,0097648825 \cdot 81^{-9}$$

$$\tau_w = 0,009764882581 \text{ ns}$$

total nilai dispersi intramodal adalah :

$$t_{\text{intra}} = \tau_m + \tau_w$$

$$= 68,576 \text{ ps} + 9,764882581 \text{ ps}$$

$$= 78,34288258 \text{ ps}$$

besarnya *time budget*:

$$t_{\text{sys}} = (t_{\text{Tx}}^2 + t_{\text{mod}}^2 + t_{\text{intra}}^2 + t_{\text{PMD}}^2 + t_{\text{Rx}}^2)^{1/2}$$

sehingga total *rise time* adalah:

$$t_{\text{sys}} = (0,12^2 + 0 + 0,07834288258^2 + 0,000024894423^2 + 0,4^2)^{1/2}$$

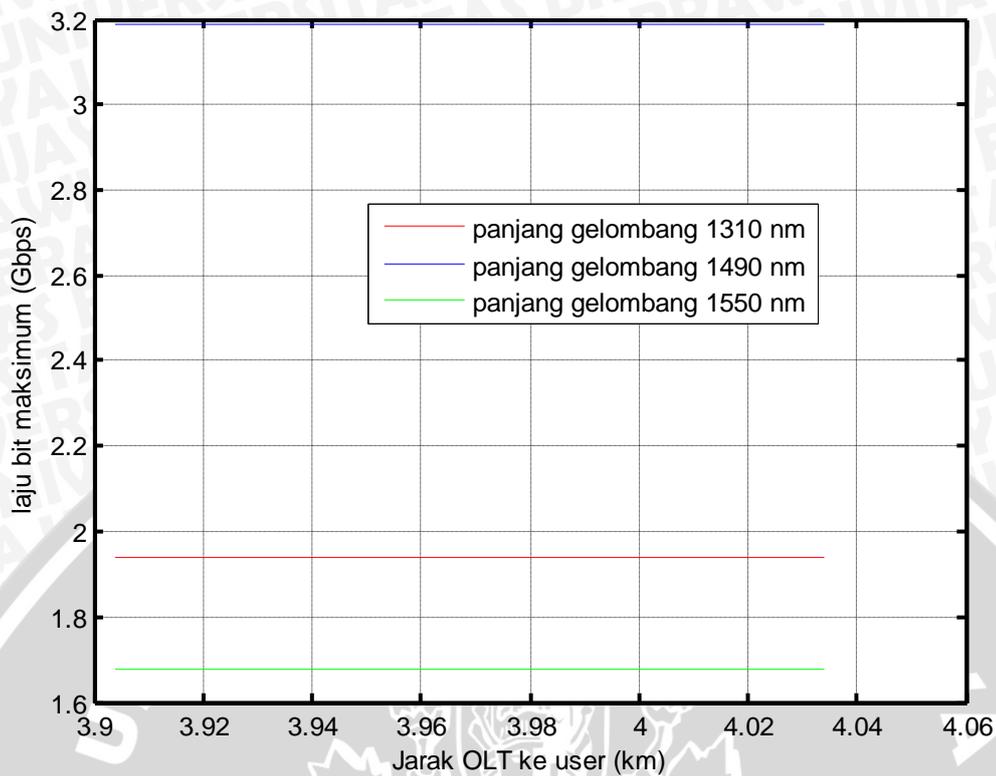
$$= 0,424897173 \text{ ns}$$

besar laju bit maksimum adalah :

$$Br_{\text{sis}} = \frac{0,7}{t_{\text{sys}}}$$

$$= 0,7/0,424897173$$

$$= 1,647457418 \text{ Gbps}$$



Gambar 4.3 Laju Bit Maksimum terhadap Jarak OLT ke User

Sumber : Perhitungan

Untuk hasil perhitungan lengkap *rise time budget* per pelanggan dapat dilihat pada lampiran XII.

#### 4.5 Perhitungan Throughput Jaringan

Untuk menganalisis performansi *throughput* layanan *triple play* dalam jaringan GPON digunakan asumsi bahwa pelanggan dalam jaringan menggunakan layanan telepon, internet dan *video over IP* secara bersamaan. Namun untuk layanan *video broadcast* perhitungan hanya dilakukan pada arah *downstream*. Sedangkan panjang *header* pada GTC *layer* dan GEM *segment* adalah sebagai berikut :

- Panjang *physical control block downstream* (PCBd) ( $l_{\text{GPD}_0}$ ) pada *downstream* GTC *layer* adalah 494 byte.
- Pada *upstream* GTC *layer* panjang *physical layer overhead upstream* (PLOu) sebesar 15 byte, PLOAMu 13 byte, DBRu sebesar 7 byte.
- GEM *header* ( $l_{\text{GEM}_0}$ ) terdiri dari PLI, *port ID*, PTI dan HEC sebesar 5 byte.

- *Payload* ( $l_p$ ) untuk layanan telepon, data dan video adalah  $160 + 1452 + 1356 = 2968$  byte pada arah *downstream*.
- *Payload* ( $l_p$ ) pada arah *upstream* untuk layanan telepon dan data adalah  $160 + 1452 = 1.612$  byte.

GTC *layer* pada arah *downstream* mempunyai ukuran maksimal 38.880 byte, sehingga dalam satu *frame* GTC dapat menampung beberapa GEM *segment*. Setelah membagi ukuran maksimal *frame* GTC dikurangi PCBd dengan total *payload* untuk layanan *triple play* dan ditambahkan GEM *header* dalam setiap layanan, maka didapatkan *frame* GTC berisi 36 GEM *segment* dengan rincian total keseluruhan GEM *header* sebesar 180 byte dan total *payload* GEM *segment* untuk layanan *triple play* sebesar 35.616 byte. Untuk mengetahui *utilization* dari *link* pada arah *downstream* :

$$\rho_{GPD} = \frac{l_p}{l_{GEMo} + l_p} \left[ \frac{t_{Gpdf} \times R_{GPbr} - l_{GPdo} - l_{GPua} \times \left[ \frac{N_{ONU} \times t_{Gpdf}}{t_{ct}} \right]}{t_{Gpdf} \times R_{GPbr}} \right]$$

$$= \frac{35616}{180 + 35616} \left[ \frac{125 \cdot 10^{-6} \times 2,488 \cdot 10^9 - 494 - 16 \times \left[ \frac{58 \times 125 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \right]}{125 \cdot 10^{-6} \times 2,488 \cdot 10^9} \right]$$

$$= 0,989$$

Maka *throughput* pada arah *downstream* :

$$T_{downstream} = \rho_{downstream} \times C_T$$

$$= 0,989 \times 2,488 \cdot 10^9$$

$$= 2,460 \cdot 10^9 \text{ bps}$$

Ukuran GTC *layer* pada arah *upstream* adalah 19440 byte. Setelah membagi ukuran maksimal *frame* GTC dikurangi PLOu dan PLOAMu dengan total *payload* untuk layanan *triple play* dan ditambahkan GEM *header* dan DBRu pada setiap GEM *segment*, maka didapatkan *frame* GTC berisi 22 GEM *segment* dengan rincian total keseluruhan GEM *header* sebesar 110 byte dan total *payload* GEM *segment* untuk layanan *triple play* sebesar 17.732 byte. Untuk analisis *throughput* pada arah *upstream* terlebih dahulu dihitung besar  $l_{GEM}$  dan DBRu *field* dari *link*. Besar  $l_{GEM}$ :

$$l_{GEM} = l_{GEMo} + l_{Ep}$$

$$= 5 \times 2 + 1.644$$

$$= 1.654 \text{ byte}$$

$$I_{DBRu} = \frac{\left[ \frac{t_{ct} \times R_{GPbr}}{N_{ONU}} - I_{plou} \right]}{I_{abru} + I_{GEM}}$$

$$I_{DBRu} = \frac{\left[ \frac{2 \cdot 10^{-3} \times 2,488 \cdot 10^9}{58} - 15 \right]}{7 + 1654}$$

$$= 51,64 \text{ byte}$$

Sedangkan *utilisation* pada arah *upstream* dari GPON:

$$\rho_{GPu} = \frac{I_p}{I_{GEMo} + I_p} \left[ \frac{t_{Gpdf} \times R_{GPbr} - \left[ \frac{N_{ONU} \times t_{Gpdf}}{t_{ct}} \right] (I_{plou} + I_{abru})}{t_{Gpdf} \times R_{GPbr}} \right]$$

$$\rho_{GPu} = \frac{\frac{17732}{110+18084} \left[ 125 \cdot 10^{-6} \times 1,244 \cdot 10^9 - \left[ \frac{58 \times 125 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \right] (15 + 51,64) \right]}{125 \cdot 10^{-6} \times 1,24 \cdot 10^9}$$

$$= 0,989$$

Maka *throughput* pada arah *upstream* :

$$T_{upstream} = \rho_{upstream} \times C_T$$

$$= 0,989 \times 1,244 \cdot 10^9$$

$$= 1,230 \cdot 10^9 \text{ bps}$$

#### 4.6 Perhitungan Delay Jaringan

*Delay* pada jaringan GPON terdiri dari *delay* pemrosesan, *delay* transmisi, *delay* antrian dan *delay* propagasi.

##### 4.6.1 Delay Pemrosesan

*Delay* pemrosesan terdiri dari *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi. *Delay* pemrosesan dihitung pada arah *downstream* dan *upstream*. Untuk *delay* enkapsulasi dihitung dengan Persamaan (2-19), dengan panjang paket  $L$  (PCBd + total GEM segment) 35.616 byte,  $C_{proc}$  sumber  $2,488 \cdot 10^9$  dan  $C_{proc}$  node tujuan  $1,244 \cdot 10^9$ , maka *delay* pemrosesan pada arah *downstream* :

$$t_{enc} = \frac{L}{C_{proc}}$$

$$= 35.616 \text{ byte} \times 8 \text{ bit} / 2,488 \cdot 10^9 \text{ bps}$$

$$= 114,52 \mu\text{s}$$

*Delay* dekapsulasi terjadi di *node* tujuan (ONU). *Delay* dekapsulasi diperoleh melalui :

$$t_{dec} = n \frac{L}{C_{proc}}$$

$$= 35.616 \text{ byte} \times 8 \text{ bit} / 1,244.10^9 \text{ bps}$$

$$= 229,04 \mu\text{s}$$

Maka delay pemrosesan pada arah *downstream* sebesar :

$$t_{\text{proc}} = t_{\text{enc}} + t_{\text{dec}}$$

$$= 114,52 \mu\text{s} + 229,04 \mu\text{s}$$

$$= 343,56 \mu\text{s}$$

Dengan cara yang sama, dengan panjang paket  $L$  (PLOu + PLOAMu + DBRu + total GEM *segment*), maka total panjang paket *upstream* sebesar 17.732 byte. Dengan  $C_{\text{proc}}$  sumber  $1,244.10^9 \text{ bps}$  dan node tujuan  $C_{\text{proc}} 2,488.10^9 \text{ bps}$ , *delay* pemrosesan pada arah *upstream* sebesar 171,05  $\mu\text{s}$ .

#### 4.6.2 Delay Transmisi

Durasi *frame* dari GEM adalah *fix* sebesar 125  $\mu\text{s}$ , sehingga *delay* transmisi pada jaringan GPON adalah sebesar 125  $\mu\text{s}$  [Martin Reisslein dkk., tanpa tahun : 6].

#### 4.6.3 Delay Antrian

Perhitungan *delay* antrian juga dilakukan pada arah *downstream* dan *upstream*. Dengan layanan berupa telepon (*bandwidth* 64 kbps), dengan ukuran paket data 160 byte membangkitkan paket data setiap detik sebesar :

$$P_{\text{telepon}} = \frac{B_{\text{telepon}}}{P_{\text{size}}}$$

$$= \frac{64000}{160 \times 8}$$

$$= 50 \text{ paket/s}$$

Demikian juga untuk aplikasi lainnya dapat dihitung dengan cara yang sama. Aplikasi *transfer* data membangkitkan aplikasi paket data  $P_{\text{data}} = 76,53 \text{ paket/s}$  dan  $P_{\text{video}} = 1.843,65 \text{ paket/s}$ . Sehingga total paket yang dibangkitkan :

$$P_{\text{total}} = P_{\text{telepon}} + P_{\text{data}} + P_{\text{video}}$$

$$= 50 + 76,53 + 1.843,65$$

$$= 1970,18 \text{ paket/s}$$

$$= 1.970 \text{ paket/s}$$

$P_{\text{total}}$  merupakan kedatangan  $m$  paket setiap detik waktu,  $m = 1.970 \text{ paket}$ ,  $t = 1 \text{ detik}$  :

$$\lambda = \frac{m}{t}$$

$$= 1.970 \text{ paket} / 1 \text{ detik}$$

$$= 1.970 \text{ paket/s}$$

$$\mu = \frac{C}{L}$$

$$= 2,488.10^9 / 36.674 \times 8 \text{ bit/byte}$$

$$= 8480,12 \text{ paket/s}$$

$$= 8.480 \text{ paket/s}$$

maka performansi sistem antrian dalam bentuk  $\rho$  :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$= \frac{1.970 \text{ paket/s}}{8.480 \text{ paket/s}}$$

$$= 0,232$$

dengan waktu pelayanan rata-rata :

$$\bar{X} = \frac{1}{\mu}$$

$$= 117,92 \mu\text{s}$$

$$\bar{X}^2 = 13,90\text{ns}$$

maka total waktu tunggu dalam antrian dan dalam pelayanan  $T$  pada arah *downstream* adalah :

$$T = \bar{X} + \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1 - \rho)}$$

$$= 117,92 \mu\text{s} + \frac{1.970 \text{ paket/s} \times 13,90 \text{ ns}}{2(1 - 0,232)}$$

$$= 135,76 \mu\text{s}$$

Dengan parameter  $C = 1,244. 10^9\text{bps}$  ,  $L = 17.732 \text{ byte}$  dan  $\lambda = 127 \text{ paket/s}$ , *delay* antrian pada arah *upstream* dapat dicari dengan cara yang sama. Total waktu tunggu dalam antrian dan dalam pelayanan  $T$  pada arah *upstream* adalah :  $131,82 \mu\text{s}$

#### 4.6.4 Delay Propagasi

Dengan jarak terjauh antara pengirim dan penerima 4,034 km, maka delay propagasi :

$$\begin{aligned} v &= \frac{c}{n} \\ &= 3 \times 10^8 / 1,45 \\ &= 2,069 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

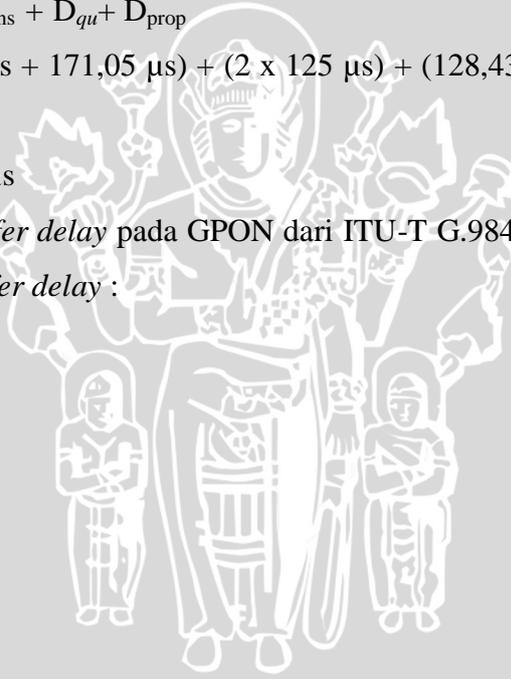
$$\begin{aligned} D_{\text{prop}} &= \frac{s}{v} \\ &= 4034 / 2,069 \times 10^8 \text{ m/s} \\ &= 1,949 \times 10^{-5} \text{ s} \\ &= 19,49 \mu\text{s} \end{aligned}$$

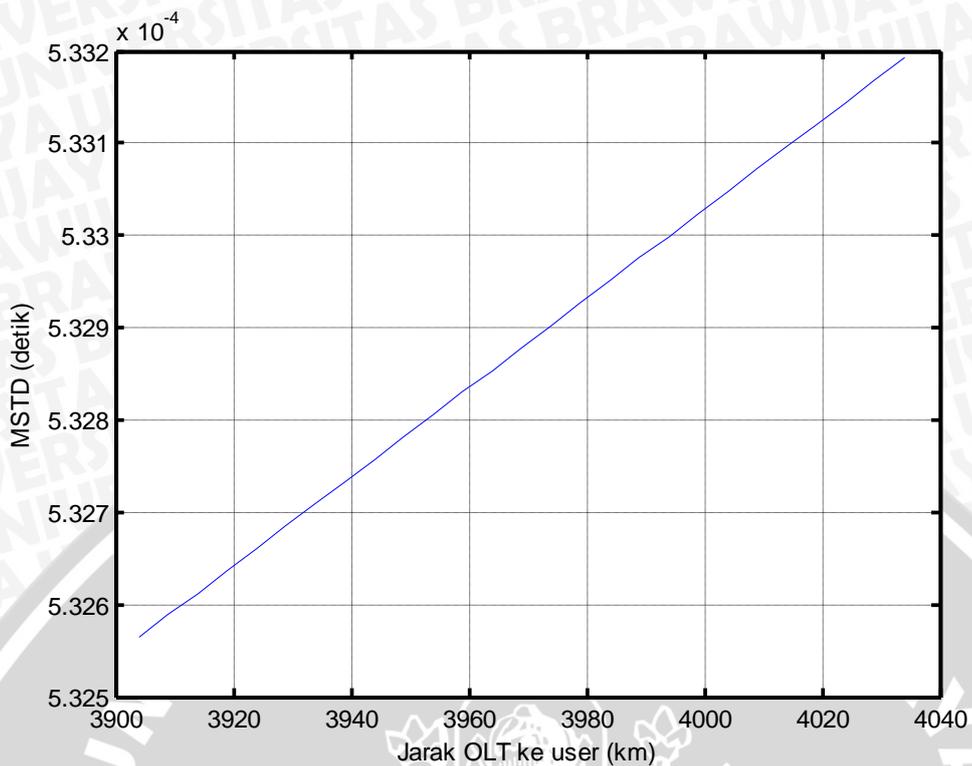
Dengan menjumlahkan seluruh komponen *delay*, maka total *delay end to end* pada jarak terjauh (4,034 km) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{end to end}} &= D_{\text{proc}} + D_{\text{trans}} + D_{\text{qu}} + D_{\text{prop}} \\ &= (343,56 \mu\text{s} + 171,05 \mu\text{s}) + (2 \times 125 \mu\text{s}) + (128,43 \mu\text{s} + 141,86 \mu\text{s}) + (2 \\ &\quad \times 19,49 \mu\text{s}) \\ &= 1.068,43 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Standar *mean signal transfer delay* pada GPON dari ITU-T G.984.1 adalah kurang dari 1,5 ms. *Mean signal transfer delay* :

$$\begin{aligned} \text{MSTD} &= \frac{D_{\text{end to end}}}{2} \\ &= \frac{1068,44 \mu\text{s}}{2} \\ &= 0,5342 \text{ ms} \end{aligned}$$





Gambar 4.4 Mean signal Transfer Delay terhadap jarak OLT ke User

Sumber : Perhitungan

Untuk perhitungan lengkap total *delay* per pelanggan dapat dilihat pada lampiran XIII.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisis perencanaan jaringan FTTH (*Fiber To The Home*) dengan menggunakan teknologi GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) untuk layanan *triple play* pada *residential* Citra Land di kota Surabaya yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada perencanaan ini menggunakan tiga perangkat utama untuk jaringan GPON yang telah ditetapkan oleh ITU-T G.984 series yaitu OLT, ODN, ONU. Perencanaan ini dilakukan di STO Kandangan Surabaya sebagai server dan *residential* Citra Land sebagai objek kajian.
2. Perangkat yang digunakan pada perencanaan jaringan ini disesuaikan dengan rekomendasi spesifikasi teknis dari ITU-T G series, yaitu sebagai berikut :
  - a. OLT : tipe MAGNM<sup>TM</sup> L-6140
  - b. Konektor : tipe SC produksi dari RIT dan tipe LC produksi Berk –Tek
  - c. *Transceiver Optik* pada OLT : tipe OPGP-43-B3B1RS
  - d. Kabel *Fiber Optik* : produksi dari corning tipe SMF-28e+
  - e. *Passive Splitter* : tipe PLC splitter Vlaknova optika
  - f. *WDM Coupler* : produksi dari AC photonics
  - g. *Transceiver Optik* pada ONU : tipe FTGN3025Q1Tax
  - h. ONU : type 1600-712
3. Besar *bandwidth* yang dibutuhkan oleh seluruh pelanggan *residential* Citra Land untuk layanan *triple play* sebesar 1.191,456 Mbps
4. Dari hasil studi lapangan dan perencanaan yang dilakukan didapatkan jarak transmisi pada jaringan dari STO Kandangan ke *residential* Citra Land sejauh 4034 m untuk titik rumah terjauh, sedangkan untuk jumlah *splicing* terdapat 1 *splicing*.
5. Dari hasil perhitungan *link power budget* dan *margin system* dilakukan pada jarak terjauh (4,034 km) pada setiap panjang gelombang, didapatkan sebagai berikut :
  - a) pada panjang gelombang 1310 nm didapatkan 29,5 dBm untuk *power budget* dan 0,8881 dB untuk *margin system*-nya.

- b) pada panjang gelombang 1490 nm didapatkan 30,5 dBm untuk *power budget* dan 2,41252 dB untuk *margin system*-nya.
- c) pada panjang gelombang 1550 nm didapatkan 34 dBm untuk *power budget* dan 6,03354 dB untuk *margin system*-nya.

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai *margin system* lebih dari 0 untuk semua panjang gelombang, sehingga jaringan ini memenuhi kelayakan operasional.

6. Dari hasil perhitungan *link rise time budget* dan laju bit maksimum pada jarak terjauh (4,034 km) pada setiap panjang gelombang, maka didapatkan sebagai berikut :
  - a) pada panjang gelombang 1310 nm didapatkan 0,360 ns untuk *link rise time budget* dan 1,939 Gbps untuk laju bit maksimumnya.
  - b) pada panjang gelombang 1490 nm didapatkan 0,229 ns untuk *link rise time budget* dan 3,055 Gbps untuk laju bit maksimumnya.
  - c) pada panjang gelombang 1550 nm didapatkan 0,424 ns untuk *link rise time budget* dan 1,647 Gbps untuk laju bit maksimumnya.

Dari hasil perhitungan dan analisis, laju bit maksimum dari perencanaan jaringan ini didapatkan hasil bahwa laju bit maksimum pada setiap panjang gelombang masih di atas laju informasi maksimum yang diharapkan untuk transmisi *upstream* 1,244 Gbps dan *downstream* 2,488 Gbps.

7. *Throughput* yang dihasilkan dengan asumsi layanan *triple play* dan jumlah pengguna yang diakomodasi oleh perangkat sejumlah 54 *user* adalah *downstream* sebesar 2,460 Gbps dan *upstream* sebesar 1,230 Gbps.
8. Dari hasil perhitungan total *delay end to end* pada jarak terjauh (4,034 km) adalah 1068,43 $\mu$ s dengan *mean signal transfer delay* sebesar 0,5534  $\mu$ s. Maka dari hasil tersebut jaringan ini masih memenuhi kelayakan operasi delay pada jaringan GPON sesuai rekomendasi ITU-T G.984.1 *series* yaitu dibawah 1,5 ms.

## 5.2 Saran

1. Perencanaan GPON pada FTTH ini bersifat terapan sehingga penekanan pembahasan pada faktor-faktor teknis. Untuk penerapan lebih jauh perencanaan GPON pada FTTH ini perlu penelitian lebih dalam mengenai faktor-faktor

ekonomis seperti *survey* kebutuhan pelanggan (khususnya tingkat kebutuhan masyarakat akan layanan *triple play*) dan biaya investasi serta faktor-faktor teknis di dalamnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Fetzer, Udo. 2009. *Acterna FTTX / PON Seminar*. Singapore. [www.acterna.com/FTTX Seminar](http://www.acterna.com/FTTX_Seminar).
- Herliani, Indri. 2008. *Perencanaan Teknologi VDSL Untuk Layanan Triple Play*. Bandung : IT Telkom
- Hoss, R.J. 1990. *Fiber Optic Communication Design Handbook*. Prentice-Hall Inc.
- ITU-T G.984.1. 2008. *General Characteristics for Gigabit-capable Passive Optical Networks*.
- ITU-T G.984.2. 2008. *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON) : Physical Media Dependent (PMD) layer specification*.
- ITU-T G.984.3. 2008. *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON) : Transmission Convergence Layer Specification*.
- Kantor Perusahaan PT Telkom. 1998. Divisi Riset Teknologi Informasi, Rilis Teknologi Strategi Implementasi Jarlokaf.
- Keisser, Gerd. 2006. *FTTX Concept and Application*. United States of America : John Wiley & Sons, Inc.
- Signh, Kumar Shakti. 2006. *GPON - The Next Generation Access Network*. Transwitch Corporation.
- Lam, Cedric. 2008. *Passive Optical Network Principles and Practice*. United States of America : Elsevier, Inc.
- Lee, C.H. & Sorin W.V. & Kim B.Y. 2006. *Fiber to the Home Using a PON Infrastructure*. Journal of Lightwave Technology, vol.24 no.12.
- Lallukka, Sami & Raatikainen, Pertti. 2006. *Passive Optical Networks Transport Concepts*. Espoo : VTT Publications 597. 123 p.
- Reisslein, Martin dkk. 2009. *Capacity and Delay Analysis of Next-Generation Passive Optical Networks (NG-PONs)*. United States of America : Department of Electrical Engineering Arizona State University, Tempe Arizona.
- Shaik, J.S. Tanpa Tahun. *FTTH Deployment Options for Telecom Operators*. Sterlite Optical Technologies Ltd.
- Thyagarajan, K. & Ghatak, Ajoy. 2007. *Fiber Optic Essentials*. United States of America : John Wiley & Sons, Inc.
- Vlaskova Optika, SQS. 2008. *Fiberoptic Passive Components : PLC Splitters*. Czech Republic.