

BAB III

TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON) PADA FIBER TO THE BUILDING (FTTB) UNTUK LAYANAN TRIPLE PLAY

3.1 Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) pada Fiber To The Building (FTTB)

3.1.1 Teknologi Jarlokaf

Teknologi JARLOKAF adalah teknologi yang sedang berkembang sehingga berbagai metoda transmisi dimungkinkan untuk diterapkan dan relatif masih terbatas jumlah implementasinya dilapangan. Teknologi Jarlokaf yang saat ini sudah berkembang dengan baik antara lain: *Digital Loop Carrier (DLC)*, *Passive Optical Network (PON)*, dan *Active Optical Network (AON)*.

Pemilihan teknologi JARLOKAF harus memperhatikan beberapa kriteria antara lain :

- Jenis jasa dan kapasitas.
- Kemudahan O&M.
- Konfigurasi dan kehandalan sistem (*reliability*).
- Kompatibilitas antarmuka dan sesuai standard (*compatibility*).
- Tidak mudah usang dan dijamin produksinya.
- Biaya efektif.
- Tahapan pembangunan dan pengembangan dari teknologi JARLOKAF.

Beberapa teknologi JARLOKAF (*fiber-copper*) yang sedang berkembang dan diurut berdasarkan jumlah implementasi terbanyak ditunjukkan pada Tabel 3.1 :

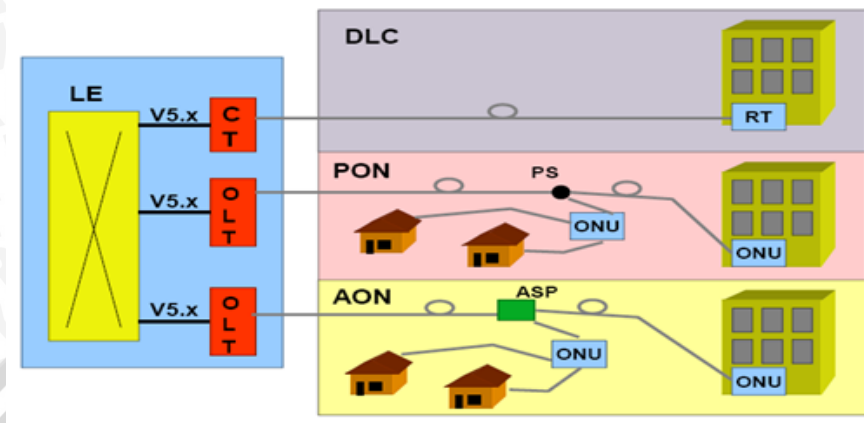
Tabel 3.1 Teknologi Sistem JARLOKAF

No	Teknologi	Konfigurasi Dasar	Tipe Jenis Jasa	Keterangan
1	DLC Konevensional	Point to point	IS-A	Telah banyak digunakan di dunia.
2	DLC generasi baru (NG DLC) atau Flexible Multipexer	Point to point	IS-A IS-B	Relatif baru dan belum banyak digunakan.
3	PON	<ul style="list-style-type: none"> Point to Multipoint Percabangan sinyal optik pasif 	IS-A IS-B DS	Mulai dioperasikan secara komersial pada tahun 1994
4	AON	Point to multipoint melalui perangkat percabangan sinyal optik aktif	IS-A IS-B	Dalam tahap pengembangan dan belum banyak digunakan.

(Sumber : PT. Telkom, 2004)

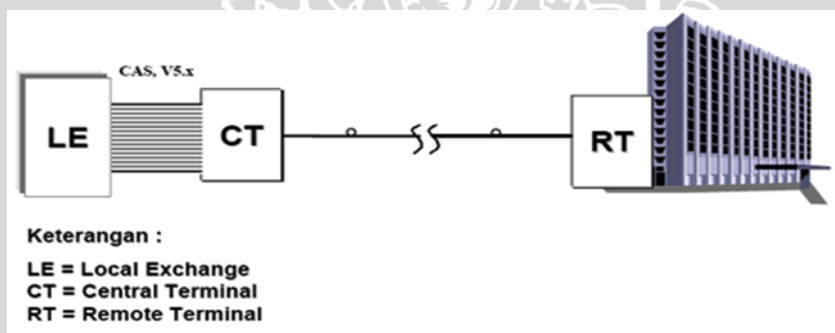
Dibawah ini adalah beberapa gambar konfigurasi dari masing-masing sistem

JARLOKAF :



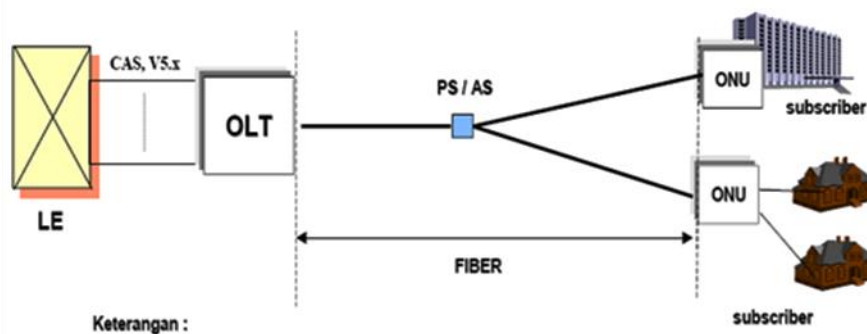
Gambar 3.1 Konfigurasi Sistem JARLOKAF (DLC, PON, AON)

(Sumber : *Optical Society Of America*, 2002)



Gambar 3.2 Konfigurasi Umum DLC

(Sumber : PT. Telkom, 2004)



Keterangan :

LE	= Local Exchange
OLT	= Optical Line Terminal
ONU	= Optical Network Unit
PON	= Passive Optical Network
AON	= Active Optical Network
PS	= Passive Splitter
AS	= Active Splitter

Gambar 3.3 Konfigurasi Umum PON/AON

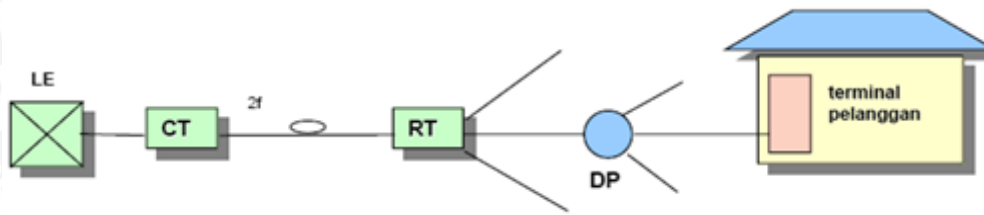
(Sumber : PT Telkom, 2004)

3.1.2 Modus Aplikasi

Sistem JARLOKAF paling sedikit memiliki 2 (dua) buah perangkat opto-elektronik yaitu 1 (satu) perangkat opto-elektronik di sisi sentral dan 1 (satu) perangkat di sisi pelanggan selanjutnya disebut Titik Konversi Optik (TKO). Perbedaan letak TKO menimbulkan modus aplikasi atau arsitektur JARLOKAF berbeda pula yaitu:

1. Fiber To The Zone (FTTZ)

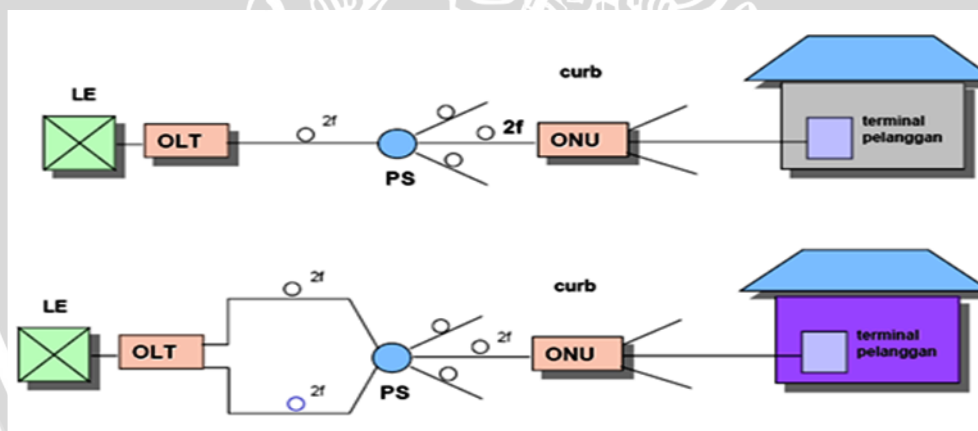
TKO terletak di suatu tempat diluar bangunan, baik didalam kabinet dengan kapasitas besar. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa kilometer. FTTZ umumnya diterapkan pada daerah perumahan yang letaknya jauh dari sentral atau bila infrastruktur *duct* pada arah yang bersangkutan, sudah tidak memenuhi lagi untuk ditambahkan dengan kabel tembaga.



Gambar 3.4 Modus Aplikasi dari FTTZ
(Sumber : PT Telkom, 2004)

2. *Fiber To The Curb* (FTTC)

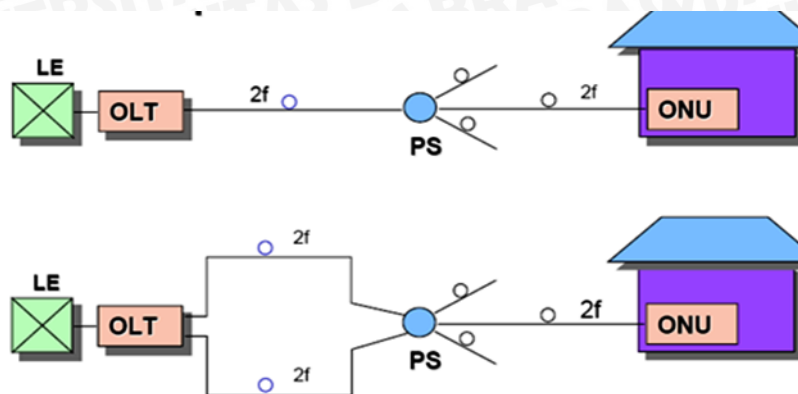
TKO terletak di suatu tempat diluar bangunan, didalam kabinet dan diatas tiang dengan kapasitas lebih kecil (£ 120 SST). Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga hingga beberapa ratus meter. FTTC dapat diterapkan bagi pelanggan bisnis yang letaknya terkumpul di suatu area terbatas namun tidak berbentuk gedung-gedung bertingkat atau bagi pelanggan perumahan yang pada waktu dekat akan menjadi pelanggan jasa hiburan.



Gambar 3.5 Modus Aplikasi dari FTTC
(Sumber : PT Telkom, 2004)

3. *Fiber To The Home* (FTTH)

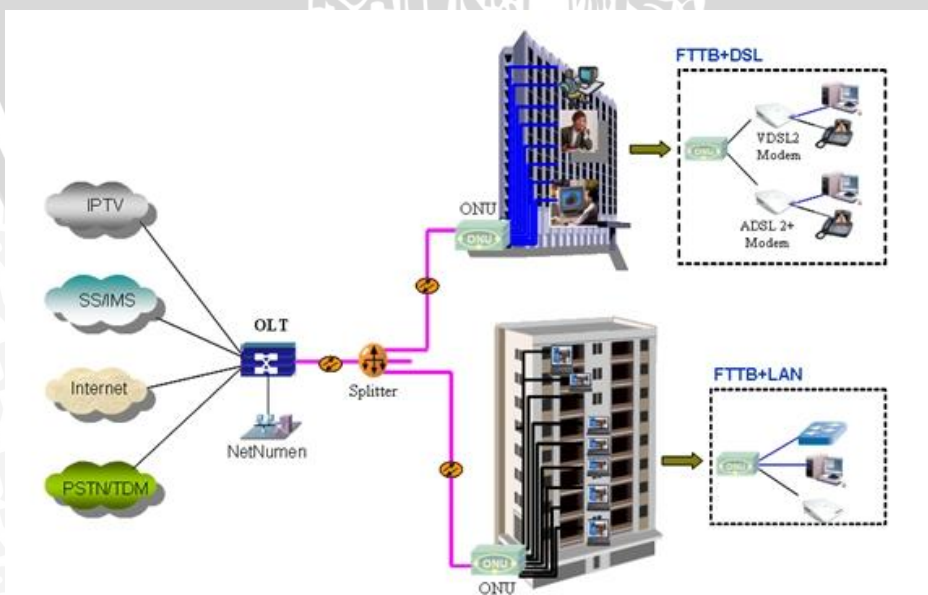
TKO terletak di dalam rumah pelanggan. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga indor atau IKR hingga beberapa puluh meter.



Gambar 3.6 Modus Aplikasi dari FTTH
(Sumber : PT Telkom, 2004)

4. Fiber To The Building (FTTB)

TKO terletak di dalam gedung dan biasanya terletak pada ruang telekomunikasi di basement namun juga dimungkinkan diletakkan pada beberapa lantai di gedung tersebut. Terminal pelanggan dihubungkan dengan TKO melalui kabel tembaga indoor atau IKR. FTTB dapat diterapkan bagi pelanggan bisnis di gedung-gedung bertingkat atau bagi pelanggan perumahan di apartemen dan perkantoran.



Gambar 3.7 Konfigurasi Jaringan FTTB Berbasis GPON
(Sumber : <http://www.en.zte.com.cn>, 2006)

3.2 Konfigurasi Jaringan GPON

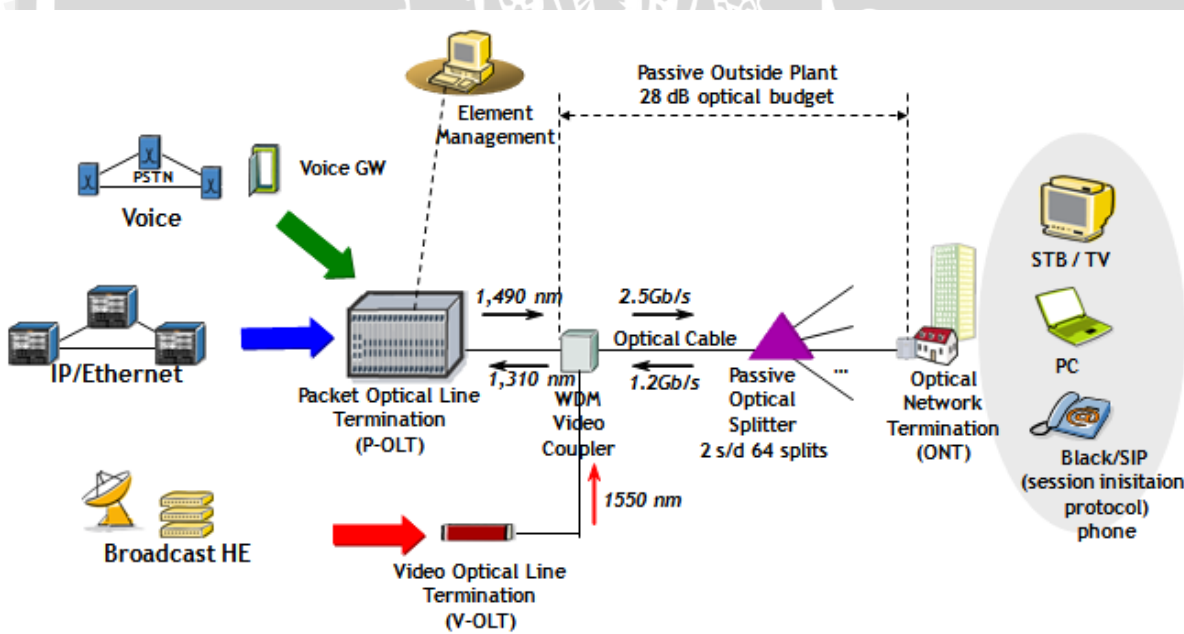
GPON merupakan teknologi FTTx yang dapat mendeliver *services* sampai ke *premise* pelanggan menggunakan *fiber optik cable*. Jika sebelumnya *customer* menggunakan kabel tembaga pada instalasi perkabelan di sisi pelanggan, maka sekarang instalasi perkabelan bisa menggunakan optik. Keunggulannya adalah *bandwidth* yang ditawarkan bisa mencapai 2.488 Gbps (*downstream*) sampai pelanggan tanpa ada kehilangan *bandwidth*.

Konfigurasi network GPON intinya dapat dibagi menjadi 3 bagian :

Optical Line Terminal (OLT)

Optical Distribution Network (ODN)

Optical Network Termination/Unit (ONT/ONU).

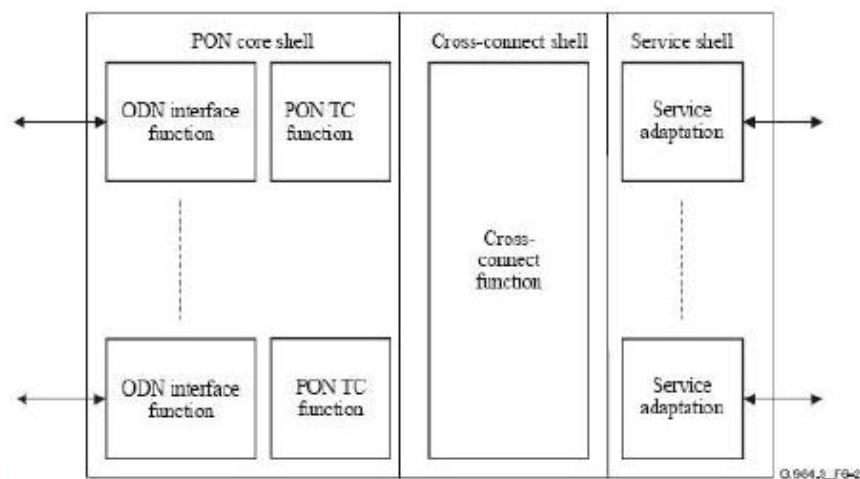


Gambar 3.8 Konfigurasi Jaringan GPON

(Sumber : [http:// digilib.itelkom.ac.id](http://digilib.itelkom.ac.id), Tanpa Tahun)

3.2.1 OLT (*Optical Line Terminal*)

OLT merupakan komponen dari jaringan kabel serat optik yang terhubung ke jaringan luar dan terhubung ke beberapa ODN. OLT menyediakan interface antara sistem PON dengan penyedia layanan (*service provider*) data, video, dan jaringan telepon. Bagian ini akan membuat link ke system operasi penyedia layanan melalui *Elemen Managemen System* (EMS). OLT juga menyediakan *interface* dengan sisi jaringan yaitu *Tributary Unit* (TU) dan dihubungkan dengan satu atau lebih ODN (*Optical Distribution network*). TU menyediakan pula *port* 2 Mbps yang menggunakan *interface* V5.1 yang sesuai dengan rekomendasi ITU-T G.703. Setiap perangkat OLT dapat menerima TU dari beberapa jenis layanan. Block diagram OLT dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.9 Blok Diagram OLT

(Sumber : ITU-T G. 984.3. 2008 :13)

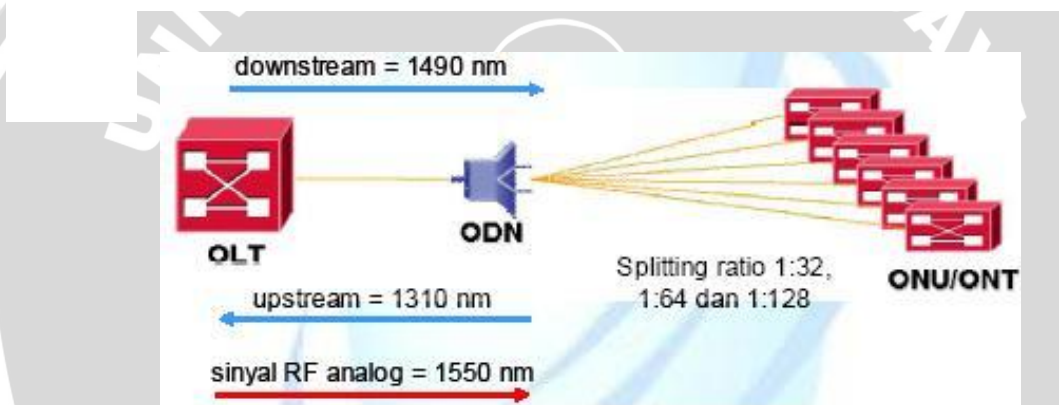
Blok fungsional OLT terdiri dari 3 *block*, yaitu:

1. *PON Core shell*. *Block* ini terdiri dari 2 bagian yaitu *ODN interface function* dan *PON TC function*.
2. *Cross-connect Shell*. Menyediakan koneksi antara *PON core shell* dan *Service shell*. Fungsi dari *cross connect* memilih mode GEM, ATM, atau Dual.

3. *Service Shell*. Shell ini sebagai *translator* antara *service interface* dan *TC frame interface* pada PON.

3.2.2 ODN (*Optical Distribution Network*)

Konfigurasi jaringan optik atau kadang disebut dengan istilah ODN (*Optical Distribution Network*) adalah jaringan optik antara perangkat OLT sampai perangkat ONU/ONT. Komponen ODN terdiri atas kabel optik dan *passive splitter*. Level sinyal optik (*Optical budget*) yang distandarkan adalah 28 sd. 29 dB. Jarak maksimum yang bisa dilayani 20 km dengan aturan pemecahan jaringan optik (*splitting ratio*) 1:32, 1:64 dan 1:128 dengan jumlah level *splitting ratio* maksimum 2 level.



Gambar 3.10 Skema Kerja Sistem ODN

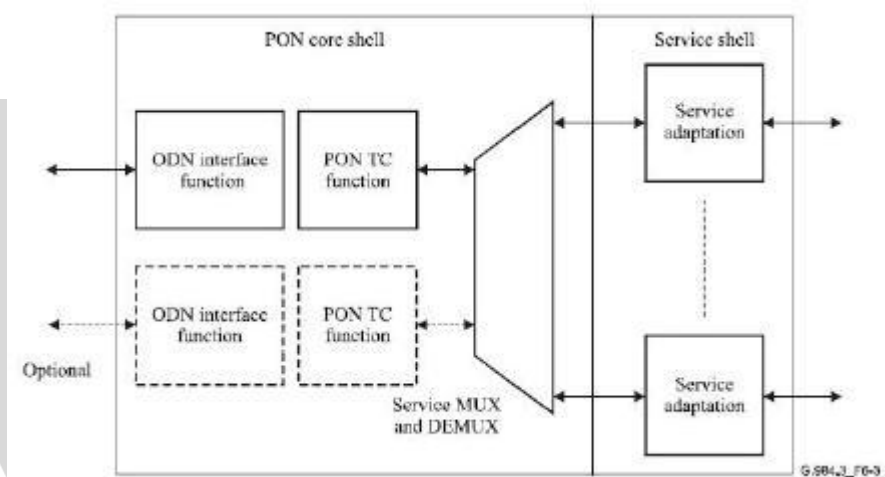
(Sumber: <http://digilib.itelkom.ac.id>, Tanpa tahun)

Transmisi gelombang optik pada jaringan PON menggunakan 3 panjang gelombang untuk membawa sinyal komunikasi dengan memanfaatkan perangkat WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Sinyal optik pertama dengan panjang gelombang 1490 nm digunakan untuk transmisi sinyal arah *downstream*, sinyal optik kedua dengan panjang gelombang 1310 nm sebagai sinyal transmisi *upstream* dan sinyal optik ketiga dengan panjang gelombang 1550 nm digunakan sebagai sinyal transmisi analog. Jenis kabel optik yang dipakai mengacu kepada standar kabel optik ITU-T G.652. Dalam kaitannya dengan kemampuan jarak operasi FTTx dan jumlah ONU yang bisa di *handle*, jaringan *outside plant* optik untuk FTTx dikelompokkan dalam beberapa kelas, yaitu class A, B dan C. Berdasarkan hasil evaluasi teknis RFI, para *vendor* umumnya menggunakan class

B atau B+ untuk sistem FTTxnya. Class B+ yang dimaksud adalah ODN dengan kemampuan jarak operasi 20 km dengan kemampuan menangani ONT sampai dengan 32 ONT.

3.2.2 ONU / ONT (*Optical Network Unit / Terminal*)

ONU menyediakan *interface* antara jaringan optik dengan pelanggan. Sinyal optik yang ditransmisikan melalui ODN diubah oleh ONU menjadi sinyal elektrik yang diperlukan untuk *service* pelanggan. Pada arsitektur FTTB, ONU diletakkan di sisi pelanggan yakni pada ruang telekomunikasi di basement ataupun pada beberapa lantai di gedung tersebut. ONU dihubungkan dengan pelanggan dengan menggunakan *twisted copper pair* melalui suatu *Adaptation Unit* (AU) yang menyediakan fungsi penyesuai antara ONU dan sisi pelanggan. Pada gambar di bawah ini ditunjukkan diagram blok fungsional ONU.



Gambar 3.11 Blok Diagram ONU

(Sumber : ITU-T G. 984.3. 2008 :14)

3. 3 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*.

Kebutuhan *bandwidth* pelanggan bergantung pada layanan apa yang ditawarkan ke pelanggan. Dengan menawarkan konsep layanan *triple play* pada pelanggan perkantoran dalam hal ini perbankan, maka pelanggan dapat mengakses layanan suara, data dan video secara bersama-sama. Kebutuhan aplikasi layanan *triple play* pada pelanggan perkantoran dalam hal ini perbankan dengan *bandwidth* yang dibutuhkan per pelanggan adalah sebagai berikut :

- Layanan telepon

Panjang paket layanan telepon adalah sebesar 160 byte dengan *bandwidth* yang dibutuhkan sebesar 64 kbps. Data berbentuk TDM pada GPON dienkapsulasi ke dalam GEM *frame* dengan melepaskan *ingress control overhead* dan memasukkan data ke dalam *frame* GEM

- Layanan data

Layanan data internet umumnya berupa segmen TCP dengan ukuran maksimum 1452 byte dengan asumsi *bandwidth* yang dibutuhkan sebesar 2 Mbps.

- Layanan *video over IP*

Video dengan standar codec MPEG-2 dengan panjang paket masing-masing 188 byte, *bandwidth* yang dibutuhkan adalah sebesar 20 Mbps. Metode paling banyak digunakan dalam streaming video adalah dengan menggunakan *User Datagram Protocol* (UDP) *over IP*. Tujuh buah *frame* MPEG-2 dapat dienkapsulasikan ke dalam satu *frame* Ethernet, oleh karena itu ukuran dari

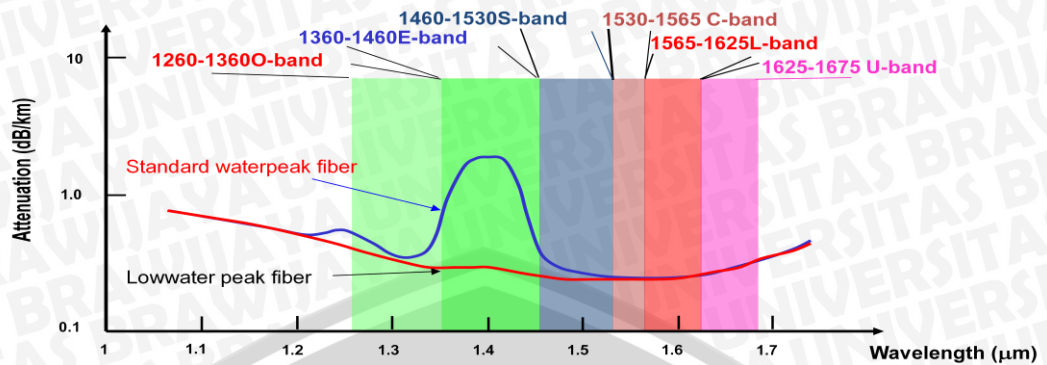
Ethernet payload tersebut dengan menambahkan *Real-Time Transport Protocol* dan *Internet Protocol* adalah (IP+RTP+UDP+7x188 byte) 1356 byte.

- Layanan *video broadcast* analog melalui panjang gelombang 1550 nm
 Dengan standar codec MPEG-2 satu kanal TV analog PAL mempunyai bandwidth 8 MHz, sedangkan satu kanal TV analog NTSC mempunyai *bandwidth* sebesar 6 MHz. Satu kanal TV digital dengan codec MPEG-2 mempunyai bit rate 4 Mbps. Umumnya delapan kanal TV digital MPEG-2 dimultipleks menjadi sebuah sinyal digital dengan bit rate 32 Mbps. Sinyal digital 32 Mbps ini kemudian dimodulasikan pada sebuah sinyal carrier. *Bandwidth* sinyal carrier membawa delapan sinyal TV digital MPEG-2 sebesar 6 MHz.

3.4 Pemilihan Panjang Gelombang

Metode WDM digunakan untuk memisahkan sinyal transmisi *upstream* dan *downstream* menggunakan panjang gelombang yang berbeda. Untuk memudahkan control panjang gelombang pada system PON, umumnya digunakan panjang gelombang 1310 nm untuk *upstream*, 1490 untuk *downstream*, dan 1510 untuk *analog broadcast video overlay*. Window pada setiap panjang gelombang dibuat sedemikian rupa sehingga tidak dibutuhkan *temperature control* untuk menstabilkan sinyal keluaran dari laser dan menghindari interferensi sinyal pada panjang gelombang yang berdekatan. Window optik merupakan range frekuensi optik di mana redaman serat optik paling rendah. Sehingga range frekuensi ini yang digunakan sebagai *carrier*. ITU menentukan enam window yang digunakan untuk transmisi jarang menengah dan jauh pada sistem komunikasi serat optik, yaitu:

<i>Original Band</i> (O-Band)	: 1260-1360 nm
<i>Extended Band</i> (E-Band)	: 1360-1460 nm
<i>Short Band</i> (S-Band)	: 1460-1530 nm
<i>Conventional Band</i> (C-Band)	: 1530-1565 nm
<i>Long Band</i> (L-Band)	: 1565-1625 nm
<i>Ultralong Band</i> (U-Band)	: 1625-1675 nm



Gambar 3.12 Spektrum Frekuensi Optik

(Sumber : <http://nanobioart.com>, tanpa tahun)

3.5 Parameter Unjuk Kerja untuk Menganalisis Performansi *Link* Transmisi GPON pada FTTB

Dalam perancangan suatu perencanaan sistem transmisi serat optik diperlukan suatu pengujian terhadap hasil perencanaan tersebut, hal ini diperlukan agar sistem yang direncanakan tersebut layak untuk diterapkan di lapangan. Adapun syarat-syarat yang diperlukan untuk menganalisis *link* transmisi serat optik, yaitu :

1. Jarak transmisi yang diinginkan
2. *Bandwidth* jaringan yang tersedia
3. *Bit Rate Utilization Link*
4. *Link Rise Time Budget*
5. *Power Budget Link*
6. *Delay*
7. Jumlah Sambungan / *Splicing*
8. Alokasi *Bandwidth* yang dibutuhkan pelanggan

Untuk memenuhi syarat-syarat ini, maka karakteristik yang berhubungan dengan komponen-komponen yang dipilih adalah sebagai berikut :

1. *Multi mode* atau *single mode* fiber optik

- a. Ukuran dari *core*
- b. Profile indeks bias dari *core*
- c. *Bandwidth* atau dispersi
- d. Redaman/*attenuasi*
- e. *Numerical aperture*

2. Sumber optik *LED* atau laser dioda

- a. Panjang gelombang emisi
- b. Daya keluaran
- c. Pola emisi

3. *PIN* atau *APD*

- a. Responsivitas
- b. Panjang gelombang operasi
- c. Kecepatan
- d. Sensitivitas

Dua analisis yang biasanya digunakan untuk memastikan bahwa system komunikasi serat optik yang diinginkan telah terpenuhi adalah melalui analisis *power link budget* dan *rise time budget* sistem. Pada analisis *power link budget*, mula-mula menentukan rentang daya (*power margin*) antara *output transmitter* optik dan sensitivitas minimum dari *receiver* sehingga sesuai dengan spesifikasi dari BER. Kemudian batas ini dialokasikan ke konektor, sambungan dan rugi-rugi serat, ditambah lagi beberapa batasan lain yang diperlukan untuk degradasi atau efek temperatur dari komponen yang dipakai.

Apabila analisis dengan *power link budget* telah memenuhi kriteria maka selanjutnya menggunakan analisis *rise time budget*. Perhitungan *rise time budget*

merupakan metode untuk menentukan keterbatasan akibat pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah untuk

menganalisis apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi bit rate transmisi yang diinginkan.

3.5.1 Jarak Transmisi

Pada saat perencanaan jaringan serat optik, pemilihan jalur serat optik merupakan hal yang harus diperhatikan karena akan menyangkut beberapa hal penting, yaitu panjang kabel yang akan dibutuhkan yang sangat menyangkut dengan jarak transmisi yang akan dilakukan, jumlah sambungan kabel yang akan dibutuhkan, jumlah *power transmit* yang dibutuhkan serta perlu tidaknya penguat didalam jaringan serat optik tersebut. Untuk itu disarankan pemasangan kabel serat optik mengikuti jalan yang menghubungkan masing-masing daerah yang ingin dilewati kabel serat optik. Cara pemilihan rute ini memberikan beberapa keuntungan, diantaranya:

1. Memudahkan *survey* dilapangan
2. Memudahkan instalasi serat optik
3. Memudahkan pemeliharaan serat optik

Kabel yang akan digunakan adalah kabel darat, dan kabel ini akan ditanam didalam tanah. Disini tidak dipilih pemasangan kabel di udara karena pertimbangan rentannya jenis kabel ini terhadap cuaca serta lingkungan sekitar, seperti pohon yang tumbang, atau tanah longsor. Kabel ini akan ditanam dengan kedalaman sekitar 1,5 meter.

Jadi untuk menentukan parameter ini salah satu caranya adalah dengan mensurvei daerah yang akan kita lakukan perencanaan jaringan serat optik, yang dalam hal ini adalah jarak dari STO Pamekasan ke Bank Negara Indonesia Cabang Pamekasan - Madura.

3.5.2 *Bandwidth* Jaringan yang tersedia

Bandwidth adalah suatu ukuran dari banyaknya informasi yang dapat mengalir dari suatu tempat ke tempat lain dalam suatu waktu tertentu. *Bandwidth*

dapat dipakaikan untuk mengukur baik aliran data analog mau pun aliran data digital. Sekarang telah menjadi umum jika kata bandwidth lebih banyak dipakaikan untuk mengukur aliran data digital.

Satuan yang dipakai untuk *bandwidth* adalah bits per second atau sering disingkat sebagai bps, dimana Bit atau binary digit merupakan basis angka yang terdiri dari angka 0 dan 1. Satuan ini menggambarkan seberapa banyak bit (angka 0 dan 1) yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain dalam setiap detiknya melalui suatu media.

Bandwidth adalah konsep pengukuran yang sangat penting dalam jaringan, tetapi konsep ini memiliki kekurangan atau batasan, tidak peduli bagaimana cara mengirimkan informasi maupun media apa yang dipakai dalam penghantaran informasi. Hal ini karena adanya hukum fisika mau pun batasan teknologi. Ini akan menyebabkan batasan terhadap panjang media yang dipakai, kecepatan maksimal yang dapat dipakai, mau pun perlakuan khusus terhadap media yang dipakai. Berikut adalah contoh tabel batasan panjang medium dan kecepatan maksimum aliran data.

Tabel 3.2 Batasan panjang medium dan kecepatan maksimum aliran data

Media	Panjang Maksimum	Kecepatan Maksimum
Kabel Coaxial 50 Ohm (Ethernet 10Base2, ThinNet)	200 m	10-100 Mbps
Kable Coaxial 75 Ohm (Ethernet 10Base5, ThickNet)	500 m	10-100 Mbps
UTP Kategori 5 (Ethernet 10BaseT, 100Base-TX)	100 m	10 Mbps
UTP Kategori 5 (Ethernet 100Base-TX, Fast Ethernet)	100 m	100 Mbps
Multimode (62.5/125um) Serat Optik 100Base-FX	2 km	100 Mbps
Singlemode (10um core) Serat Optik 1000Base-LX	3 km	1000 Mbps (1 Gbps)
Teknologi lain yang sedang diteliti	40 km	2400 Mbps (2,4 Gbps)
Wireless	100 m	2 Mbps
Infra Red (IrDA)	1 m	4 Mbps

Sumber : twinscommunity.awardspace.com/jaringan/dewo-bandwidth

Sedangkan batasan terhadap perlakuan atau cara pengiriman data misalnya adalah dengan pengiriman secara paralel (*synchronous*), serial (*asynchronous*), perlakuan terhadap media yang spesifik seperti media yang tidak boleh ditekuk (serat optik), pengirim dan penerima harus berhadapan langsung (*line of sight*), kompresi data yang dikirim, dll.

Dari penjelasan yang telah dijelaskan di atas bahwa *bandwidth* adalah jumlah bit yang dapat dikirimkan dalam satu detik maka didapatkan persamaan untuk mengukur *bandwidth* pada suatu jaringan telekomunikasi yang berbentuk digital adalah sebagai berikut :

$$bandwidth = \frac{\sum bits}{s} \tag{3.1}$$

3.5.3 Bit Rate Utilization Link

Utilization Link adalah gambaran sederhana dari *Throughput* pada suatu link yang diekspresikan sebagai presentasi dari access rate link tersebut (Brownlee & Loosley, 2001 : 142). Pada GPON *Throughput* dari jaringan dapat diketahui menggunakan *utilization link*, dimana *utilization* dari link pada arah *downstream* dapat diketahui dari persamaan (Sami Lalluka & Pertti Raatikainen, 2006 : 98):

$$\rho_{GPD} = \frac{I_p}{I_{GEMo} + I_p} \left[\frac{t_{Gpdf} \times R_{GPbr} - I_{GPdo} - I_{GPua} \times \left[\frac{N_{ONU} \times t_{Gpdf}}{t_{ct}} \right]}{t_{Gpdf} \times R_{GPbr}} \right] \tag{3.2}$$

Dengan:

- ρ_{GPD} = downstream utilization pada GPON
- I_p = panjang *payload* (byte)
- I_{GEMo} = Panjang GEM *overhead* (byte)
- t_{Gpdf} = durasi dari GEM frame (μ s)
- R_{GPbr} = *bit rate* pada link GPON (bps)
- I_{GPdo} = panjang dari GPON *downstream overhead* (byte)
- I_{GPua} = panjang dari *upstream allocation overhead* (byte)
- t_{ct} = *cycle time* (ms)
- N_{ONU} = jumlah dari ONU



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

$$\rho_{GPU} = \frac{\frac{I_p}{I_{GEMo} + I_p} \left[t_{Gpdf} \times R_{GPbr} - \left[\frac{N_{ONU} \times t_{Gpdf}}{t_{ct}} \right] (I_{plou} + I_{dbru}) \right]}{t_{Gpdf} \times R_{GPbr}} \quad (3.3)$$

Dengan:

ρ_{GPU} = *upstream utilization* pada GPON

I_{plou} = panjang dari *physical layer overhead* (termasuk *PLOAMu field*) (byte)

I_{dbru} = jumlah dari *DBRu field* pada *frame upstream* GPON (byte)

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*, harga rata-rata *DBRu* adalah:

$$I_{DBRu} = \frac{\left[\frac{t_{ct} \times R_{Gpbr}}{N_{ONU}} - I_{plou} \right]}{I_{dbru} + I_{GEM}} \quad (3.4)$$

Dimana I_{GEM} :

$$I_{GEM} = I_{GEMo} + I_{Ep} \quad (3.5)$$

Dengan :

I_{DBRu} = jumlah *DBRu field* pada GPON frame (byte)

Maka *Bit Rate Utilization Link* dari link *downstream / upstream* dapat diketahui dengan

$$L_{\text{downstream / upstream}} = \rho_{\text{downstream / upstream}} \times C_T \quad (3.6)$$

Dengan:

L = *Bit Rate Utilization Link*

ρ = *link utilization*

C_T = kapasitas maksimal link

3.5.4 Link Rise Time Budget

Analisa rise time budget merupakan suatu metode yang mudah untuk mengurangi limitasi / batasan dispersi dari suatu hubungan serat optik. Dalam pendekatan ini, total rise time t_{sys} dari suatu link adalah akar kuadrat dari rise time tiap-tiap kontributor t_i terhadap degradasi pulsa rise time :

$$t_{sys} = (t_{tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{intra}^2 + t_{PMD}^2 + t_{rx}^2)^{1/2} \quad (3.7)$$

dengan:

- t_{tx} = rise time pemancar (s)
- t_{mod} = rise time Intermodal (s)
- t_{intra} = rise time intramodal (s)
- t_{PMD} = rise time PMD (s)
- t_{rx} = rise time penerima (s)

Oleh karena itu untuk mendapatkan besarnya link rise time yang terjadi harus dilakukan langkah – langkah perhitungan sebagai berikut ini:

a) Perhitungan dispersi khromatis

Dispersi khromatis merupakan suatu fenomena saat kecepatan fase suatu gelombang bergantung kepada frekuensi atau pada saat kecepatan grup gelombang tersebut bergantung pada frekuensi gelombang tersebut (Wikipedia.org), sehingga didapatkan persamaan untuk perhitungan disperse khromatis adalah sebagai berikut (Andi Mochammad M, ST : 2009) :

$$\tau_m = t_{dm} \times \Delta\lambda \times D \quad (3.8)$$

Dengan :

- τ_m = Dispersi khromatis (ps)
- t_{dm} = Koefisien disperse bahan fiber optic (ps/nm . km)
- $\Delta\lambda$ = Lebar spectrum Detektor optic pada ONU (nm)
- D = Jarak transmisi (km)

b) Pehitungan selisih indeks bias dan frekuensi ternormalisasi

Pada fiber optik yang digunakan mempunyai indeks bias core dan cladding yang berbeda sehingga perhitungn selisih indeks bias dilakukan untuk menentukan frekuensi ternormalisasi yang terjadi, maka perhitungan selisih

indeks bias dilakukan dengan persamaan berikut ini (Bahan Ajar Mata kuliah Komunikasi Serat optic : 2011) :

$$\Delta_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.9)$$

Dengan :

n_1 = Indeks bias inti serat optik yang digunakan

n_2 = Indeks bias selubung serat optik yang digunakan

Maka, didapatkan persamaan untuk menentukan frekuensi ternormalisasi adalah sebagai berikut: (Andi Mochammad M, ST : 2009)

$$v = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta_s} \quad (3.10)$$

Dengan :

v = Frekuensi ternormalisasi (Hz)

λ_0 = Panjang gelombang yang digunakan (nm)

a = Jari – jari inti fiber optic yang digunakan (μm)

n_1 = Indeks bias inti serat optik yang digunakan

Δ_s = Selisih indeks bias

c) Pehitungan koefisien disperse dan disperse pandu gelombang

Dispersi pandu gelombang merupakan disperse yang hanya terjadi pada fiber optic single mode, dimana disperse ini terjadi pada saat kecepatan rambat gelombang didalam sebuah pandu gelombang bergantung pada frekuensinya, karena adanya pengaruh struktur geometris medium (Wikipedia.org). Untuk mendapatkan nilai dari disperse pandu gelombang yang terjadi, terlebih dahulu dilakukan perhitungan koefisien disperse dengan persamaan sebagai berikut ini : (Bahan Ajar Mata kuliah Komunikasi Serat optic : 2011)

$$D_w = \frac{4 (1 - \ln v)}{v^2} \quad (3.11)$$

Dengan :

D_w = Koefisien disperse

v = Frekuensi ternormalisasi (Hz)

Sehingga didapatkan persamaan untuk menentukan disperse pandu gelombang adalah sebagai berikut : (Andi Mochammad M, ST : 2009)

$$\tau_w = \frac{D}{c \cdot \lambda_0} (n_1 - n_2) \cdot D_w \cdot \Delta\lambda \quad (3.12)$$

Dengan :

- τ_w = Dispersi pandu gelombang (ns)
- D = Jarak transmisi (km)
- n_1 = Indeks bias inti serat optik yang digunakan
- n_2 = Indeks bias selubung serat optik yang digunakan
- D_w = Koefisien disperse
- $\Delta\lambda$ = Lebar spectrum Detektor optic pada ONU (nm)
- λ_0 = Panjang gelombang yang digunakan (nm)
- c = Kecepatan rambat cahaya (m/s)

Sehingga didapatkan perhitungan untuk menentukan total disperse intramodal adalah sebagai berikut : (Andi Mochammad M, ST : 2009)

$$t_{intra} = \tau_m + \tau_w \quad (3.13)$$

Dengan:

- t_{intra} = Total disperse intramodal (ps)
- τ_m = Dispersi Khromatis (ps)
- τ_w = Dispersi pandu Gelombang (ns)

Pada serat *single-mode* tidak mengalami *dispersi intermodal* ($t_{mod} = 0$), sehingga disperse yang terjadi pada serat *single – mode* hanya disperse intramodal dan PMD. Pada umumnya, degradasi total transition-time dari suatu hubungan digital tidak boleh lebih dari 70% dari NRZ (*non-return-to-zero*) periode bit atau 35% dari data RZ (*return-to-zero*) [Andi Mochamad M, ST : 2009], dimana satu periode bit didefinisikan sebagai *reciprocal* dari *data rate*. *Rise time transmitter* dapat dianggap berasal dari sumber cahaya dan rangkaian pembangkitnya. Hasil *rise time receiver* diperoleh dari respons *photodetector* dan *bandwidth* elektrik 3-dB pada ujung-ujung depan *receiver*. Respon dari ujung-ujung *receiver* dapat dirumuskan oleh filter *lowpass* derajat satu yang memiliki fungsi step :

$$g(t) = [1 - \exp(-2 \pi B_{3dB} t)] u(t) \quad (3.14)$$

dimana B_{rx} adalah *bandwidth* elektrik 3-dB dan $u(t)$ sebagai fungsi unit step yang harganya 1 untuk $t \geq 0$ dan 0 untuk $t < 0$. *Rise time* t_{rx} dari *receiver* biasanya didefinisikan sebagai interval waktu antara $g(t) = 0.1$ dan $g(t) = 0.9$. Karena itu, jika B_{rx} diberikan dalam satuan megaHertz, maka *rise time* ujung depan *receiver* dalam satuan nanodetik adalah :

$$T_{rx} = \frac{350}{B_{rx}} \quad (3.15)$$

Dengan:

B_{rx} = *bandwith* penerima front – end (MHz)

T_{rx} = *Rise time* penerima (ns)

Untuk serat-serat *multi mode*, *rise time* nya tergantung pada *dispersi modal* dan material. Analisisnya lebih rumit, karena merupakan fungsi dari panjang serat, tipe dari sumber optik yang digunakan dan panjang gelombang yang beroperasi.

Dalam prakteknya, hubungan serat optik jarang terdiri dari suatu serat yang kontinu dan terpisah. Kesulitan dalam memperkirakan *bandwidth* dari suatu seri dari serat-serat yang dihubungkan dalam satu rangkaian muncul dari observasi bahwa total rute *bandwidth* dapat merupakan fungsi dari derajat dimana serat-serat digabungkan.

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

$$t_{sys} < 0,7 / B_{rx} \quad (3.16)$$

dengan:

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

B_{rx} = bandwith penerima front – end (MHz)

Sehingga laju bit informasi maksimum Br_{sis} diperoleh melalui persamaan (Hoss, 1990 : 160):

$$Br_{sis} = 0.7 / t_{sys} \quad (3.17)$$

3.5.5 Link Power Budget

Power budget link adalah perhitungan terhadap kebutuhan daya dalam suatu *link system* komunikasi serat optik yang harus dipenuhi agar didapatkan performansi system sebagaimana yang diinginkan. Besarnya *power budget system* harus lebih besar dari redaman total dari saluran. Redaman total dalah besarnya rugi-rugi yang disebabkan oleh komponen-komponen komunikasi serat optik yang digunakan dalam sistem.

Power budget link dapat diketahui dengan menghitung selisih antara daya optik yang dipancarkan *optical transmitter* dengan daya optik terendah yang masih dapat dideteksi oleh *optical receiver*, dengan persamaan sbb:

$$P_t = P_s - P_r \quad (3.18)$$

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 berikut:

- Loss* serat optik
- Loss* akibat penyambungan (*splicing*)
- Loss* akibat konektor
- Loss* akibat *splitter*
- Loss* akibat WDN coupler

Secara Matematis persamaan redaman total pada PON adalah sebagai berikut (PT.Telkom, 2000):

$$\mathbf{a\ total = (\alpha_f \times D) + (N_s + L_s) + (N_c + L_c) + S + L_{coupler}} \quad (3.19)$$

Dengan:

$a\ total$ = Redaman Total (dB)

α_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)

$L_{coupler}$ = Rugi WDM coupler

Setelah mengetahui besarnya redaman total pada sistem, maka sistem margin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Robert J. Hoss, 1990):

$$\mathbf{M = (P_s - P_r) - a\ total - 3\ dB [safety\ Margin]} \quad (3.20)$$

Dengan

M = *Margin system* (dB)

Sistem margin adalah factor keamanan daya optik untuk perencanaan jaringan dengan menambahkan daya ekstra pada kebutuhan daya untuk mengkompensasi kemungkinan terjadinya degradasi (penurunan) pada link.

3.5.6 Delay

Delay pada jaringan GPON dapat dikategorikan dalam komponen yang berbeda, yaitu *delay* pemrosesan, *delay* transmisi, *delay* antrian, dan *delay* propagasi.

3.5.6.1 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* pemrosesan dihitung pada arah *downstream* dan *upstream*. Besarnya *delay* enkapsulasi adalah:

$$t_{enc} = \frac{L}{C_{proc}} \quad (3.21)$$

Dengan:

t_{enc} = *delay* enkapsulasi (s)

L = panjang paket (bit)

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

Besarnya *delay* dekapsulasi adalah :

$$t_{dec} = n \frac{L}{C_{proc}} \quad (3.22)$$

Dengan:

t_{dec} = *delay* enkapsulasi (s)

L = panjang paket (bit)

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

n = jumlah paket

Jadi besarnya *delay* proses t_{proc} adalah penjumlahan dari *delay* enkapsulasi (t_{enc}) dan *delay* dekapsulasi (t_{dec}):

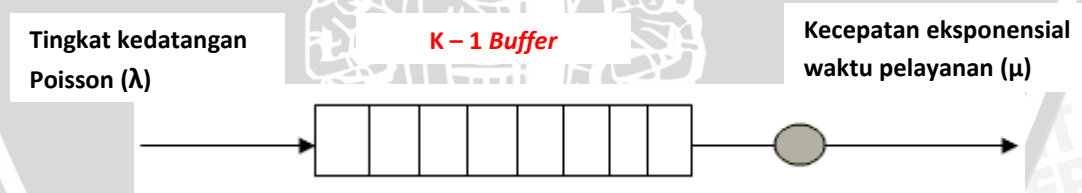
$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \tag{3.23}$$

3.5.6.2 Delay Transmisi

Delay akibat proses transmisi antara waktu pertama dan terakhir bit dari paket ditransmisikan. Durasi frame dari GEM adalah fix sebesar 125 μ s, sehingga *delay* transmisi pada jaringan GPON adalah sebesar 125 μ s.

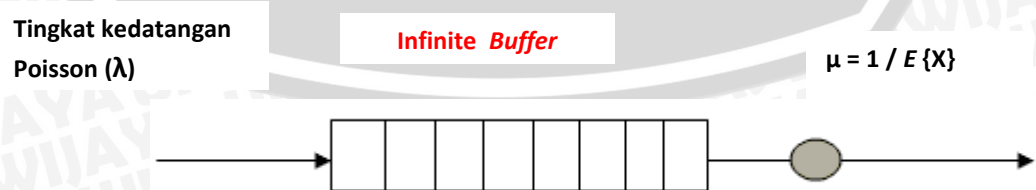
3.5.6.3 Delay Antrian

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 λ . 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 3.13 Sistem Antrian M/M/1

(Sumber : Alberto Leon-Garcia , 2001)



Gambar 3.14 Sistem Antrian M/G/1

(Sumber : Alberto Leon-Garcia , 2001)

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

$$\lambda = \frac{m}{t} \quad (3.24)$$

Dengan:

λ = 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 :

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (3.25)$$

Dengan:

ρ = Pelayanan rata-rata (Paket / s)

C = Bit rate transmisi (bps)

L = Panjang paket (byte)

Sehingga waktu pelayanan rata-rata adalah sebagai berikut :

$$\bar{X} = E\{X\} = \frac{1}{\mu} \quad (3.26)$$

$$\bar{X}^2 = E\{X^2\} \quad (3.27)$$

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

$$W = \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1 - \rho)} \quad (3.28)$$

dimana,

$$\rho = \lambda/\mu = \lambda\bar{X} \quad (3.29)$$

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

$$T = \bar{X} + \frac{\lambda\bar{X}^2}{2(1-\rho)} \quad (3.30)$$

dengan:

\bar{X} = waktu pelayanan rata-rata

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

μ = rata-rata pelayanan (paket per detik)

λ = rata-rata kedatangan paket (paket per detik)

ρ = *utilization* dari link

Rata-rata kedatangan paket λ ke OLT adalah :

$$\lambda = \frac{m}{t} \quad (3.31)$$

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

$$P_{gen} = \frac{B}{P_{size}} \quad (3.32)$$

Sehingga total paket yang dibangkitkan :

$$P_{gen} = \sum P_{gen} \times n_i \quad (3.33)$$

dan rata-rata waktu pelayanan, μ , didapatkan dari persamaan

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (3.34)$$

Dengan kecepatan kedatangan data adalah λ (paket/s), dan kecepatan pelayanan adalah μ (paket/s) maka performansi system antrian ditunjukkan dalam bentuk ρ (utilization) :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.35)$$

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

3.5.6.4 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 dan pengirim. Pada system komunikasi serat optik tergantung pada kecepatan cahaya di dalam media serat optik dan bergantung pada jarak transmisi. Maka besarnya *delay* propagasi :

$$D_{prop} = \frac{s}{v} \quad (3.36)$$

dimana,

$$v = \frac{c}{n} \quad (3.37)$$

Dengan:

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

v = kecepatan cahaya dalam serat optik

s = jarak transmisi (m)

3.5.6.5 Total Delay (Delay end to end)

Delay end to end merupakan total delay yang terjadi pada saat system berjalan, sehingga besarnya delay end to end merupakan penjumlahan dari semua delay yang terjadi pada system, yaitu sebagai berikut :

$$D_{end\ to\ end} = D_{proc} + D_{trans} + D_{qu} + D_{prop} \quad (3.38)$$

Dengan

D_{proc} = Delay pemrosesan (μ s)

D_{trans} = Delay transmisi (μ s)

D_{qu} = Delay antrian (μ s)

D_{prop} = Delay Propagasi (μ s)

$D_{end\ to\ end}$ = Delay end to end (μ s)

Sehingga untuk menentukan besarnya *Mean signal transfer delay* (MSTD) yang merupakan parameter utama dalam perancangan suatu jaringan Gigabit Passive Optical Network (GPON) sebagai berikut :

$$MSTD = \frac{D_{end\ to\ end}}{2} \quad (3.39)$$

$D_{end\ to\ end}$ = Delay end to end (μ s)

MSTD = Besarnya *Mean signal transfer* (μ s)

3.5.7 Jumlah Sambungan

Pada suatu perencanaan jaringan serat optik, kehadiran sambungan (*splice*) serat optik dan konektor sangat diperlukan. Sambungan serat optik diperlukan

karena panjang gulungan kabel serat optik yang ada dipasaran panjangnya terbatas (3 km/roll untuk kabel darat dan 50 km/roll untuk kabel laut) sehingga untuk menjangkau jarak transmisi sesuai dengan perencanaan maka kabel serat optik tersebut harus disambung. Ketika melakukan proses penyambungan, tingkat ketelitian sangat diperlukan, hal ini dikarenakan apabila sambungan kabel tidak sempurna maka sambungan serat optik tersebut akan menyumbangkan jumlah redaman yang tidak kecil. Selain sambungan serat optik, jumlah konektor juga wajib diperhitungkan karena kedua komponen ini memiliki nilai redaman yang juga mempengaruhi pada perhitungan *link power budget*. Sehingga pada perencanaan jaringan serat optik ini, kita harus melakukan survey tentang jarak transmisi dari STO Pamekasan ke Bank BNI Cab. Pamekasan, sehingga kita dapat menentukan jumlah *splicing* yang ada pada jaringan serat optik ini.

3.5 8 Alokasi *Bandwidth* Yang Dibutuhkan Pelanggan

GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) merupakan salah satu teknologi jaringan akses serat optik. Teknologi ini banyak mempunyai keunggulan diantaranya sudah mendukung aplikasi layanan *triple play*, mempunyai kecepatan *downstream* 2,488 Gbps dan *Upstream* 1,244 Gbps, memiliki proteksi yang handal. Seperti yang telah dikatakan pada Latar belakang Teknologi ini sangat cocok diterapkan pada dunia perbankan dengan melihat kebutuhan dunia perbankan atas akses data yang sangat cepat sekali dan sangat menuntut akan pesatnya perkembangan dunia teknologi dan telekomunikasi. GPON menyediakan *bandwidth downstream* dan *upstream* sebesar 2,488 Gbps dan 1,24 Gbps yang dishare sesuai jumlah pelanggan yang diakomodasi oleh OLT. Untuk satu OLT maksimal jumlah pelanggan yang dapat diakomodasi sesuai dengan rekomendasi ITU-T G.984 adalah sebanyak 64 pelanggan.

Sehingga untuk menentukan alokasi bandwidth yang dibutuhkan pelanggan, yang dalam hal ini adalah Bank Negara Indonesia Cabang Pamekasan Madura, maka kita harus melakukan studi lapangan pada Bank Negara Indonesia Cabang Pamekasan Madura, untuk mengetahui jumlah parameter / perangkat yang digunakan oleh pelanggan untuk mendukung layanan *triple play*, sehingga kita

dapat menghitung total kebutuhan bandwidth pelanggan untuk mengakses layanan triple play adalah sebagai berikut [Cedric Lam, 2007 : 13] :

- Bw Telepon : Jumlah perangkat x 64 kbps
- Bw High speed internet : Jumlah perangkat x 2Mbps
- Bw Video over IP : Jumlah perangkat x 20 Mbps

$$\text{Total Bw} = \text{Bw Telepon} + \text{Bw High Speed Internet} + \text{Bw Video Over IP} \quad (3.40)$$

