

BAB V

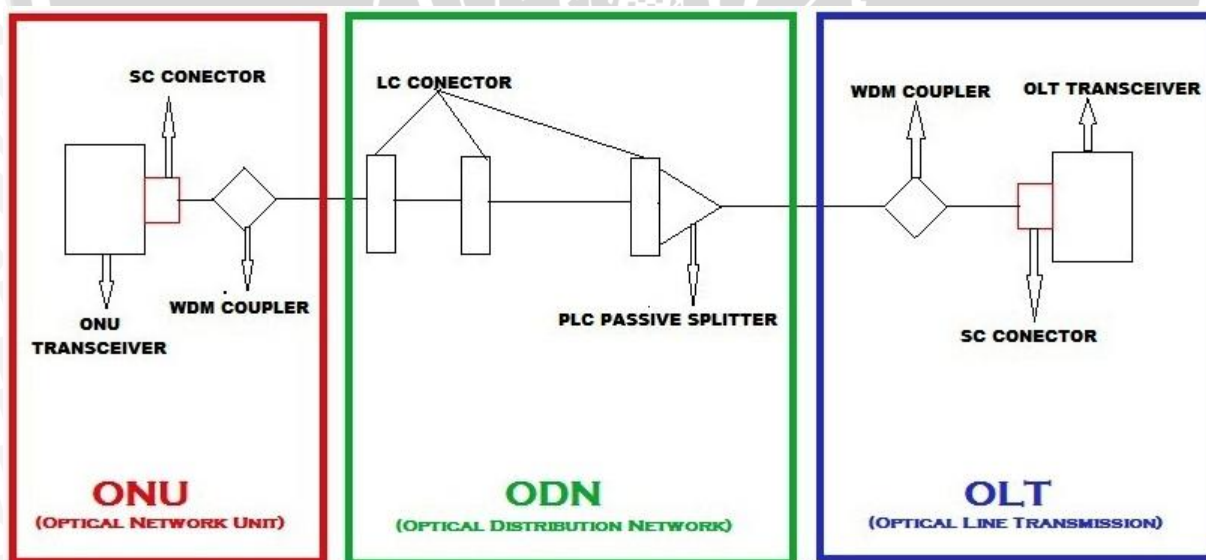
HASIL DAN ANALISIS PERENCANAAN

5.1 Perencanaan Konfigurasi Jaringan

Pada perencanaan jaringan *Gigabit Passive optical Network* (GPON) ini dilakukan perancangan pada Bank Negara Indonesia (BNI) Cab. Pamekasan dimana bank tersebut masuk di dalam wilayah jaringan PT Telkom Pamekasan, dengan jalur perencanaan sebagaimana terlampir pada lampiran I. Pada perencanaan ini digunakan perangkat yang telah direkomendasikan oleh ITU – G.984 series.

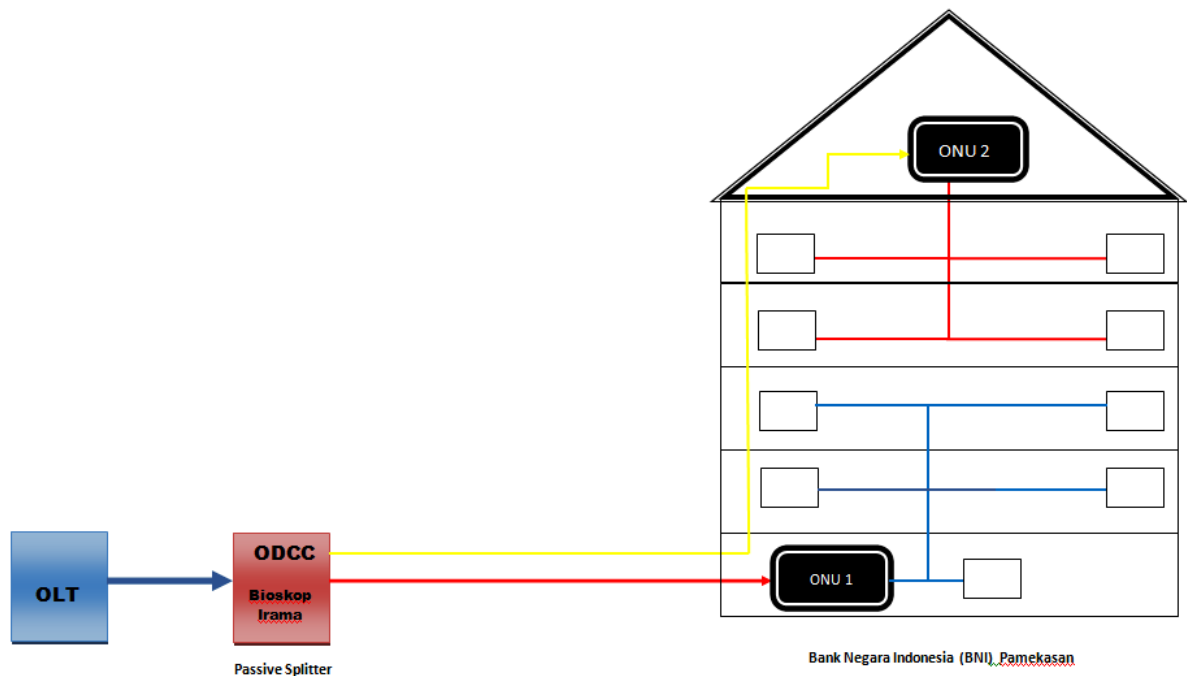
Secara teknis perencanaan jaringan ini terdiri dari 3 komponen utama pendukung, yakni

1. OLT (*Optical Line Terminal*)
2. ODN (*Optical Distribution Network*)
3. ONU (*Optical Network Unit*)



Gambar 5.1 Konfigurasi Perencanaan FTTB Berbasis GPON

(Sumber : Perencanaan, 2012)



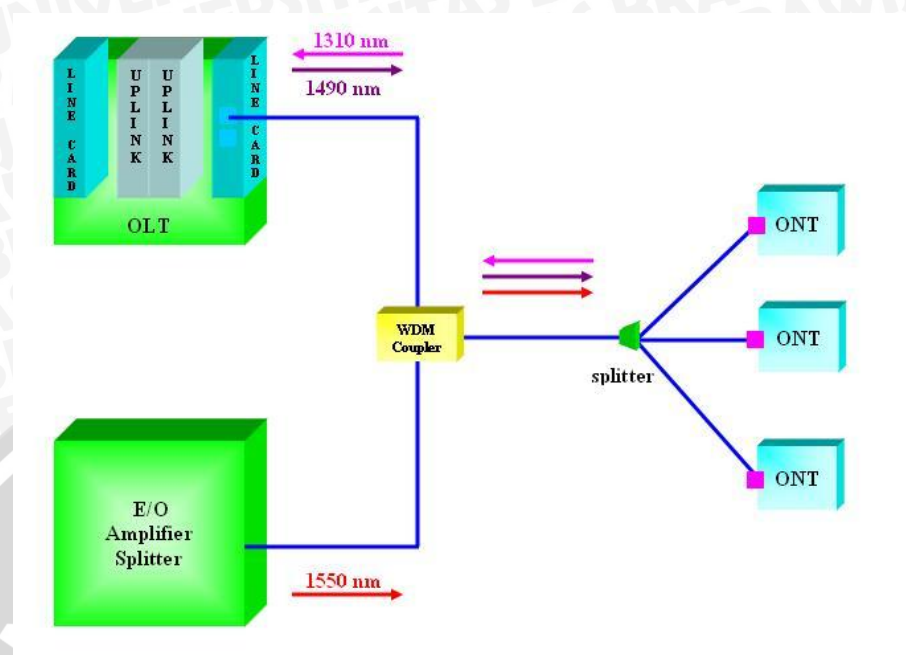
Gambar 5.2 Konfigurasi Perencanaan FTTB Berbasis GPON Pada BNI Pamekasan
(Sumber : Perencanaan, 2012)

5.1.1 Spesifikasi OLT

Perangkat *Optical Line Terminal* (OLT) yang merupakan komponen dari jaringan kabel serat optik yang terhubung ke jaringan luar dan terhubung ke beberapa ODN yang bertugas menghubungkan perangkat *switching* dari jaringan *backbone* dengan jaringan akses ditempatkan di kantor STO Pamekasan. 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 di-*deliver* adalah 2,48 Gbps. Spesifikasi dari port OLT yang dapat digunakan adalah tipe **MAGNM™ L-6140** yang data sheet nya dapat dilihat pada Lampiran II , sebagaimana di rekomendasikan oleh ITU-T G.984 series.

5.1.2 Spesifikasi ODN

Seperti yang telah kita ketahui bersama pada bab sebelumnya bahwa ODN berfungsi untuk transport dan distribusi data dari OLT ke ONU



Gambar 5.3 *Optical Distribution Network*

(Sumber: <http://digilib.itelkom.ac.id>, 2011)

Terlihat bahwa *Optical Distribution Network* memiliki beberapa komponen yang harus diperhitungkan, yaitu, konektor, transceiver optik, kabel fiber optik, *passive splitter*, WDM coupler dan splicer cable. Dari sini, kita akan lihat definisinya satu persatu agar memperjelas sebelum kalkulasi link budget dilakukan.

a) Konektor

Konektor merupakan cara terminasi kabel fiber agar bisa disambung dengan interface optik lainnya. Pada fiber optik terdapat beberapa jenis konektor seperti SC, ST, FC, LC dengan SPC, APC, dll. Penggunaan konektor pada fiber optik tentu saja membuat *attenuation* (pelemahan) pada sinyal optik yang sedang ditransmisikan. Pada transceiver yang digunakan konektor yang digunakan adalah konektor tipe SC produksi dari RIT dengan *insertion loss* \square 0,3 dB dimana data sheet nya dapat dilihat pada lampiran III. Selain itu juga digunakan 2 buah konektor LC pada kabel drop dan distribusi dan juga digunakan konektor LC produksi Berk -Tek sebagai *interface* antara *splitter* dan kabel distribusi dengan *insertion loss* (Lc) sebesar 0,3 dB juga diman untuk data sheet nya dapat dilihat pada lampiran IV.

b) **Transceiver Optik pada OLT**

Pada *Transceiver* optik yang digunakan pada OLT GPON, perangkat yang digunakan adalah tipe **OPGP-43-B3B1RS** seperti yang telah direkomendasikan oleh ITU – T G984.2 series dimana spesifikasi lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran V.

c) **Kabel Fiber Optik**

Kabel optik memiliki beberapa komponen, yaitu core, cladding, dan jacket. Core terbuat dari glass dan biasanya ukuran bervariasi dari 8 – 10 mikron untuk single mode fiber, 50 dan 62.5 mikron untuk multimode fiber. Cladding juga terbuat dari kaca, tetapi memiliki indeks refraksi yang lebih kecil. Ukuran cladding biasanya 125 mikron. Pembungkus kabel optik biasanya disebut jacket terbuat dari material PVC. Kadang orang berbicara fiber optik 9/125 yang artinya ukuran diameter core 9 mikron dengan ukuran cladding 125 mikron.

Untuk perencanaan jaringan GPON pada FTTB ini kabel fiber optik yang digunakan adalah tipe fiber optik single mode yang telah diterapkan oleh PT . Telkom, produksi dari **corning tipe SMF-28e+** dimana spesifikasi lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran VI, seperti yang direkomendasikan oleh ITU-T G 652 series.

d) **Passive Splitter**

Splitter ini ditempatkan di odcc bioskop irama yang berada di depan bioskop irama Pamekasan, yang memiliki fungsi untuk memecah signal perangkat ke beberapa ONT. *Splitter* juga merupakan salah satu penyumbang terbesar attenuasi pada ODN. Bayangkan satu splitter (1:2) memiliki attenuasi sekitar 3 dB, maka membuat split 32 dibutuhkan 5 tahap 1:2 dengan attenuasi sekitar 15dB (hitungan kasar). Jika 64 split, maka 18dB harus di-budget. Dari 28 dB, sekitar 64% adalah budget untuk splitter.

Jenis *splitter* yang digunakan dalam perencanaan ini adalah tipe PLC splitter Vlaknova optika dengan konfigurasi 1 : 64 dengan *insertion loss* maksimal 21,0 dB untuk mengakomodasi sebanyak maksimal 64 ONU termasuk 2 ONU yang ditempatkan pada Bank Negara Indonesia Cabang Pamekasan. Dimana data

sheet dari *splitter* tersebut dapat dilihat pada lampiran VII, sedangkan konfigurasi kabel distribusi yang menghubungkan splitter dengan ONT pada Bank Negara Indonesia Pamekasan direncanakan berdasarkan studi lapangan yang telah dilakukan.

e) **WDM Coupler**

Pada perencanaan jaringan GPON FTTB ini digunakan 2 buah perangkat WDM coupler (*Lcoupler*) dari **AC photonics** untuk spesifikasi lengkapnya dapat dilihat pada lampiran VIII dengan besar insertion loss sebesar 0,7 dB.

f) **Splicer Cable**

Penyambungan kabel optik bisa menggunakan konektor ataupun disambung dengan teknik splicing. Jika penyambungan dengan konektor maka bersiaplah dengan attenuasi yang besar. Teknik splicing lebih dapat diandalkan untuk memperkecil nilai splicing. Teknik splicing sendiri terdiri dari 2 jenis, yaitu *mechanical splicing* dan *fusion splicing*. Dua teknik ini juga menghasilkan attenuasi yang berbeda. *Fusion splicing* akan menghasilkan 0.01 – 0.1 dB sedangkan *mechanical splicing* dapat menghasilkan 0.05 dB sampai 0.2 dB. Teknik penyambungan dengan konektor memberikan keuntungan fleksibilitas sedangkan splicing menguntungkan dari segi attenuasi.

Pada perencanaan jaringan GPON ini digunakan teknik *fusion splicing* dengan *insertin loss* (L_s) maksimal yang dihasilkan pada setiap proses splicing adalah 0,1 dB

g) **Transceiver Optik pada ONU**

Pada *Transceiver optik* yang digunakan pada ONU GPON, perangkat yang digunakan adalah tipe **FTGN3025Q1TAx** seperti yang telah direkomendasikan oleh ITU –T G 984.2 class B+ dimana spesifikasi *transceiver optik* pada ONU tersebut lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran IX. Dari data sheet tersebut dapat dipilih sumber dan penerima optik yang digunakan yaitu jenis DFB LD dan APD – TIA serta PIN – TA.

5.1.3 Spesifikasi ONU

Pada perencanaan jaringan ini kita menggunakan 2 buah ONU, yang diletakkan 1 buah pada lantai basement pada gedung BNI pamekasan, dan juga 1 buah pada lantai 4 gedung tersebut. Adapun spesifikasi ONU yang akan digunakan adalah type **ZNID – GPON - 8324** seperti yang telah di rekomendasikan oleh ITU – T G 984 series, yang data sheet dari ONU tersebut dapat dilihat pada lampiran X.

5.2 Alokasi Kebutuhan *Bandwidth* Bank BNI Pamekasan

Dalam perencanaan jaringan GPON pada FTTB ini pelanggan yang akan dilakukan perancangan ini adalah Bank Negara Indonesia Pamekasan yang dimana Bank Negara Indonesia ini dimana BNI pamekasan ini menggunakan jasa PT Telkom Pamekasan untuk menangani sistem jaringan untuknya. Alokasi perhitungan *bandwidth* ini dilakukan dari studi lapangan yang dilakukan pada BNI pamekasan yakni tentang jumlah perangkat yang digunakan BNI pamekasan untuk layanan triple play, dimana diasumsikan pelanggan menggunakan aplikasi telepon, *high speed internet*, serta video over IP. Berikut ini adalah kebutuhan bandwidth pelanggan untuk mengakses layanan triple play adalah sebagai berikut [Cedric Lam, 2007 : 13] :

- Telepon : 64 kbps
- High speed internet : 2Mbps
- Video over IP : 20 Mbps

Dimana data yang telah didapatkan dari hasil studi lapangan pada BNI Pamekasan tentang jumlah perangkat yang digunakan oleh BNI pamekasan saat ini adalah sebagai berikut :

- Telepon : 16 perangkat
- TV : 9 perangkat
- Komputer : 86 perangkat

Sehingga jika kita asumsikan BNI menggunakan layanan triple play, perhitungan kebutuhan *bandwidth* yang dibutuhkan oleh BNI pamekasan untuk saat ini adalah sbb (Andi Mochammad M, ST: 2009) :

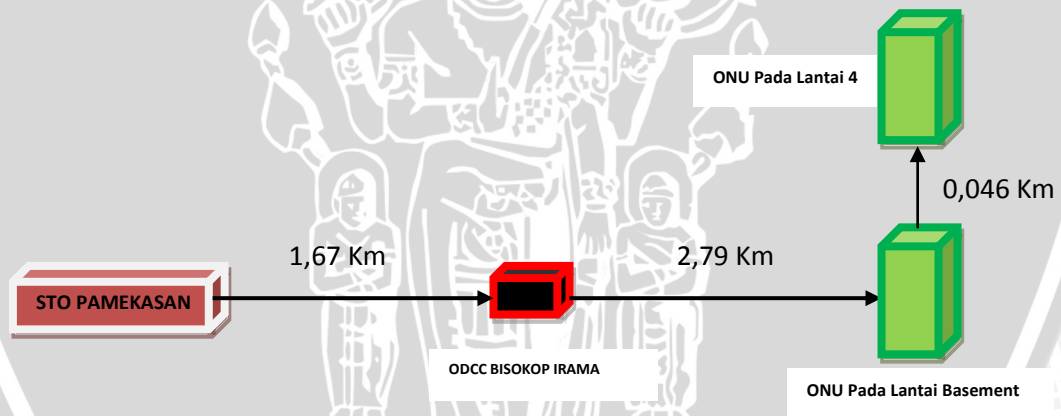
- ❖ Komputer dengan koneksi *High Speed Internet* : $86 \times 2 \text{ Mbps} = 172 \text{ Mbps}$
- ❖ IPTV : $9 \times 20 \text{ Mbps} = 180 \text{ Mbps}$
- ❖ Telepon : $16 \times 64 \text{ Kbps} = 1,024 \text{ Mbps}$

Sehingga Total kebutuhan *bandwidth* yang dibutuhkan oleh BNI pamekasan adalah sbb:

$$\text{TOTAL} = 172 + 180 + 1,024 = 353,024 \text{ Mbps}$$

5.3 Perhitungan Jarak Transmisi

Dari studi lapangan yang didapatkan kami mendapatkan jalur perancangan fiber optik yang dilakukan oleh PT. Telkom Pamekasan untuk Bank Negara Indonesia Pamekasan adalah seperti yang terlampir pada Lampiran I, dimana untuk jaraknya secara detail sebagai berikut:



Gambar 5.4 Jarak Transmisi

(Sumber : Studi Lapangan , 2012)

Jadi dapat kita hitung bahwa jarak transmisi maksimum pada perencanaan jaringan GPON ini adalah sepanjang :

$$\text{Jarak STO} - \text{ONU1} = 1,67 + 2,79 = 4,46 \text{ km}$$

$$\text{Jarak STO} - \text{ONU 2} = 1,67 + 2,79 + 0,046 = 4,506 \text{ km}$$

Sehingga dapat kita ketahui bahwa jarak transmisi maksimum pada jaringan ini adalah sebagai berikut :

$$\text{Jarak Transmisi} = \text{Jarak STO} - \text{ONU 2} = 4,506 \text{ km}$$

5.4 Perhitungan Jumlah Splicing

Dari hasil study lapangan yang dilakukan pada daerah perancangan, maka jarak yang didapatkan untuk perancangan ini adalah sebesar 4,506 Km, sehingga jika kita kaitkan dengan panjang fiber optik yang biasa digunakan oleh PT. Telkom yakni sejauh 3 Km, maka kita tidak membutuhkan Jumlah Splicing pada Perancangan Jaringan GPON pada STO Pamekasan – Bank Negara Indonesia Pamekasan, sebab jarak antara STO ke ODCC hanya 1,67 km, dan jarak dari ODCC ke Bank BNI Pamekasan hanya 2,79 km, jadi dapat disimpulkan bahwa :

$$\text{jumlah splicing} = 0$$

5.5 Bandwidth Yang Tersedia Oleh Jaringan

Pada perencanaan jaringan ini digunakan type fiber optik *single mode*, sehingga berdasarkan tabel 4 pada bab 3, maka didapatkan data bahwa setiap kabel fiber optic dengan tipe *single mode* mempunyai kecepatan maksimum 1000 Mbps (1 Gbps), sehingga dapat kita hitung *bandwidth* yang tersedia oleh jaringan secara teoritis adalah sbb:

$$\text{bandwidth} = \frac{\sum \text{bits}}{s}$$

$$\text{bandwidth} = \frac{1000 \text{ Mbps}}{1}$$

$$\text{bandwidth} = 1000 \text{ Mbps}$$

Jadi secara teoritis *bandwidth* yang dapat dipenuhi oleh jaringan ini adalah sebesar 1000 Mbps, sehingga jika kita bandingkan dengan kebutuhan *bandwidth* pelanggan yakni sebesar 353,024 Mbps, maka dapat disimpulkan jaringan ini dapat memenuhi kebutuhan *bandwidth* pelanggan tersebut.

5.6 Perhitungan *Link Power Budget*

Link Power Budget adalah perhitungan terhadap kebutuhan daya dalam suatu *link system* komunikasi serat optik yang harus dipenuhi agar didapatkan performansi system sebagaimana yang diinginkan. Pada jaringan GPON ini digunakan 3 macam panjang gelombang, yakni 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm, sehingga untuk pengukuran *link power budget* maka dilakukan perhitungan pada ketiga panjang gelombang yang digunakan sebab nilai *variable – variable* yang digunakan pada perhitungan ini berdasarkan data sheet yang ada pada setiap perangkat yang digunakan berbeda. Maka setelah dilakukan perhitungan dengan listing program yang tercantum pada lampiran XI, didapatkan sebagai berikut:

5.6.1 *Link Power Budget* pada panjang gelombang 1310 nm

Panjang gelombang 1310 nm digunakan untuk transmisi *upstream* pada jaringan GPON, dimana yang dimaksud *upstream* disini adalah *upstream* dari ONU ke OLT, sehingga kita membutuhkan daya minimum yang dipancarkan oleh perangkat ONU dan sensitifitas minimum yang dimiliki oleh perangkat OLT, serta redaman yang dimiliki oleh fiber optic yang kita gunakan disini pada panjang gelombang 1310 nm. Sehingga dari data sheet perangkat yang digunakan kita dapatkan sbb:

- Rugi serat optik pada 1311 nm (α_f) = 0,35 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat ONU (P_s) = 0,5 dBm (Pada Lampiran IX)
- Sensitifitas perangkat OLT (P_r) = - 29 dBm (Pada Lampiran V)

Selain itu, jarak transmisi dari OLT ke ONU 1 dan ONU 2 berbeda, sehingga dilakukan perhitungan *link power budget* pada kedua ONU dengan jarak transmisi yang berbeda.

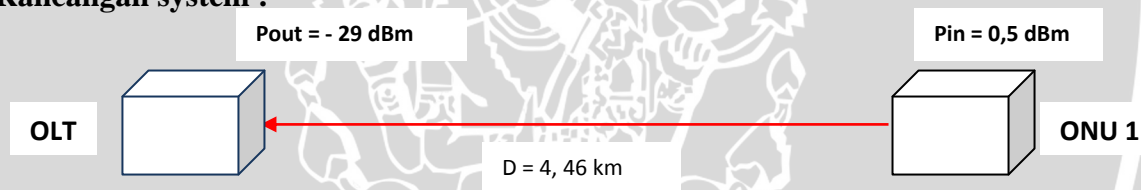
5.6.1.2 *Link Power Budget* Pada ONU 1

Maka untuk besarnya *link power budget* pada ONU 1, dengan jarak transmisi sejauh 4,46 km, adalah sebagai berikut :

Dari pembahasan sebelumnya maupun dari data sheet perangkat yang digunakan, kita dapatkan:

- Rugi serat optic pada 1310 nm (α_f) = 0,35 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat ONU (P_s) = 0,5 dBm (Pada Lampiran IX)
- Sensitifitas perangkat OLT (P_r) = - 29 dBm (Pada Lampiran V)
- Jarak Transmisi (D) = 4,46 km
- Jumlah splicing / sambungan (N_s) = 0
- Rugi sambungan (L_s) = 0,1 dB
- Jumlah konektor (N_c) = 5
- Rugi Konektor (L_c) = 0,3 dB (Pada Lampiran III dan IV)
- Rugi Splitter Maxium (S) = 21,0 dB (Pada Lampiran VII)
- Rugi WDM Coupler = 0,7 dB (Pada Lampiran VIII)

Rancangan system :



Sehingga didapatkan sbb:

a.) *Power Budget*

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 0,5 - (-29) \text{ dBm}$$

$$P_t = 29,5 \text{ dBm}$$

b.) **Total Redaman yang ada pada jaringan perancangan :**

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

$$a \text{ total} = (0,35 \times 4,46) + (0 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + (21,0) + (2 \times 0,7)$$

$$a \text{ total} = 1,561 + 0 + 1,5 + 21,0 + 1,4$$

$$a \text{ total} = 25,161 \text{ dB}$$

c.) **Margin system :**

$$M = (P_s - P_r) - a_{\text{total}} - 3 \text{ dB [safety Margin]}$$

$$M = 29,5 - 25,161 - 3 \text{ dB}$$

$$M = 1,339 \text{ dB}$$

Dari hasil perhitungan diatas kita dapatkan sebagai berikut :

- Nilai *Margin system* diatas nol ($> 0 \text{ dB}$)
- Daya total lebih besar daripada total redaman yang terjadi pada system ($P_r > a_{\text{total}}$)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan tersebut masih memenuhi kelayakan operasi pada suatu perencanaan jaringan FTTB menggunakan jaringan GPON.

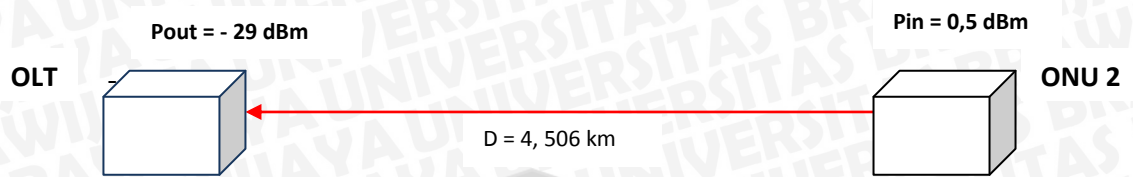
5.6.1.2 **Link Power Budget Pada ONU 2**

Maka untuk besarnya link power budget pada ONU 2, dengan jarak transmisi sejauh 4,506 km, adalah sebagai berikut :

Dari pembahasan sebelumnya maupun dari data sheet perangkat yang digunakan, didapatkan sebagai berikut:

- Rugi serat optic pada 1310 nm (α_f) = 0,35 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat ONU (P_s) = 0,5 dBm (Pada Lampiran IX)
- Sensitifitas perangkat OLT (P_r) = - 29 dBm (Pada Lampiran V)
- Jarak Transmisi (D) = 4,506 km
- Jumlah splicing / sambungan (N_s) = 0
- Rugi sambungan (L_s) = 0,1 dB
- Jumlah konektor (N_c) = 5
- Rugi Konektor (L_c) = 0,3 dB (Pada Lampiran III dan IV)
- Rugi *Splitter Maxium* (S) = 21,0 dB (Pada Lampiran VII)
- Rugi WDM Coupler = 0,7 dB (Pada Lampiran VIII)

Rancangan system :



Sehingga didapatkan sbb:

a.) **Power Budget**

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 0,5 - (-29) \text{ dBm}$$

$$P_t = 29,5 \text{ dBm}$$

b.) **Total Redaman yang ada pada jaringan perancangan :**

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

$$a \text{ total} = (0,35 \times 4,506) + (0 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + (21,0) + (2 \times 0,7)$$

$$a \text{ total} = 1,5771 + 0 + 1,5 + 21,0 + 1,4$$

$$a \text{ total} = 25,4771 \text{ dB}$$

d.) **Margin system :**

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

$$M = 29,5 - 25,4771 - 3$$

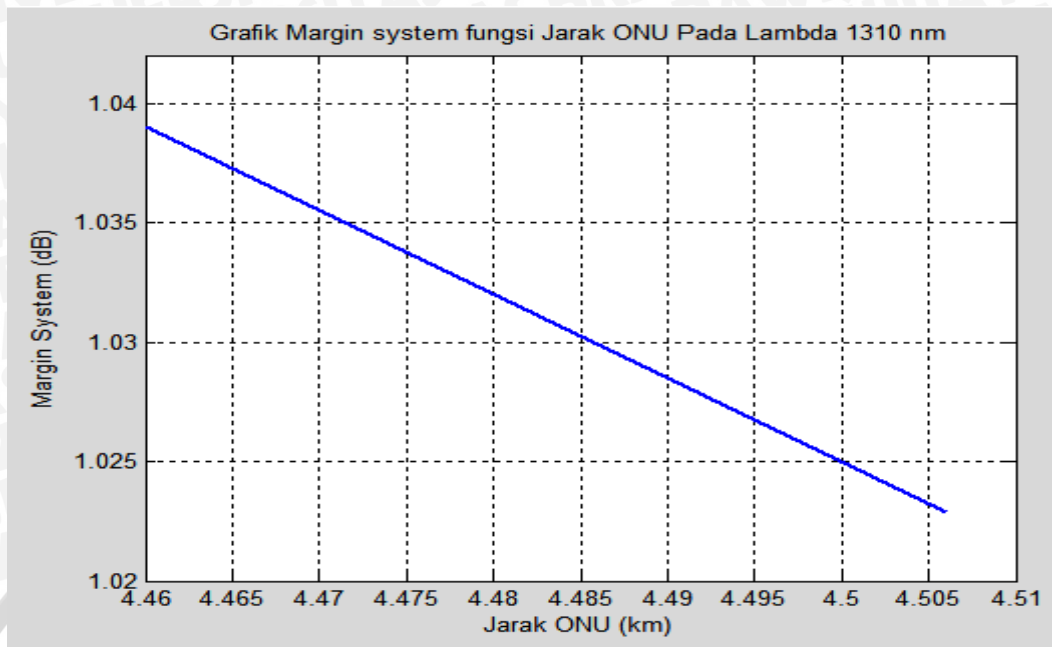
$$M = 1,022 \text{ dB}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan sebagai berikut :

- Nilai Margin system diatas nol ($> 0 \text{ dB}$)
- Daya total lebih besar daripada total redaman yang terjadi pada system ($P_r > a \text{ total}$)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan tersebut masih memenuhi kelayakan operasi pada suatu perencanaan jaringan FTTB menggunakan jaringan GPON.

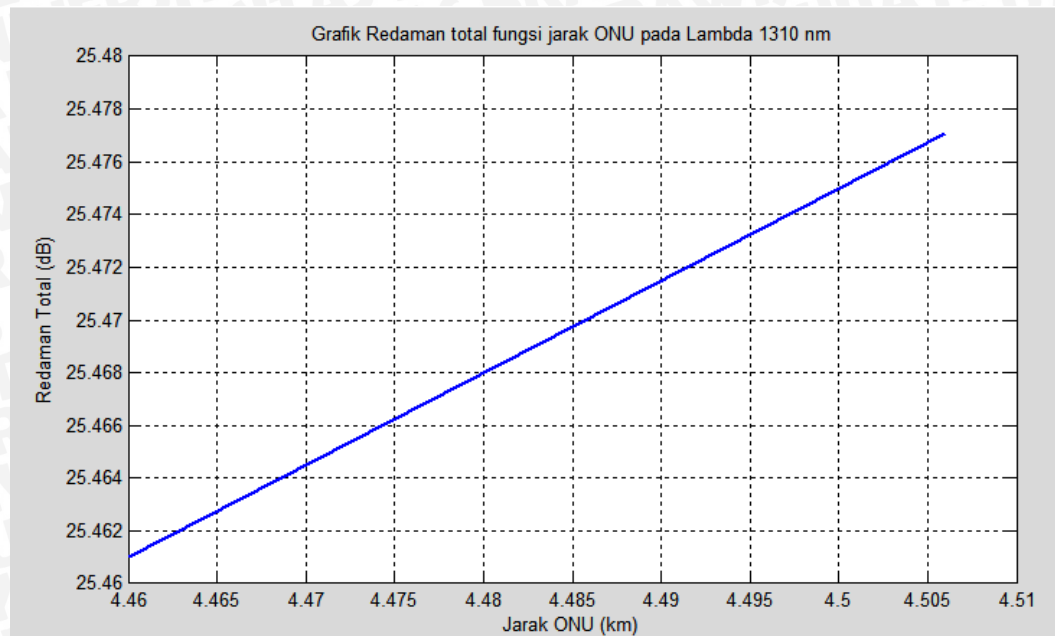
Setelah dilakukan analisis pada ONU 1 dan ONU 2 maka didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 5.5 Grafik Margin System fungsi Jarak ONU pada lambda 1310 nm

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa Margin Sistem pada lambda 1310 nm berbanding terbalik dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain margin sistem akan semakin kecil ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni " $M = (P_s - P_r) - a_{total} - 3 \text{ dB}$ [safety Margin]" ketika jarak transmisi (D) semakin besar maka redaman total jaringan (a_{total}) akan semakin besar pula, sehingga margin sistem dari jaringan tersebut akan semakin kecil.



Gambar 5.6 Grafik Redaman total fungsi Jarak ONU pada lambda 1310 nm

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa redaman total pada lambda 1310 nm berbanding lurus dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain redaman total akan semakin besar ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni " $a_{total} = (\alpha_f \times D) + (N_s + L_s) + (N_c + L_c) + S + L_{coupler}$ ", terbukti bahwa jarak transmisi (D) berbanding lurus dengan redaman total jaringan (a_{total}).

5.6.2 Link Power Budget pada panjang gelombang 1490 nm

Panjang gelombang 1490 nm digunakan untuk transmisi *downstream* pada jaringan GPON, dimana yang dimaksud *downstream* disini adalah *downstream* dari OLT ke ONU, sehingga dibutuhkan daya minimum yang dipancarkan oleh perangkat OLT dan sensitifitas minimum yang dimiliki oleh perangkat ONU, serta redaman yang dimiliki oleh fiber optic yang kita gunakan disini pada panjang gelombang 1490 nm. Sehingga dari data sheet perangkat yang digunakan kita dapatkan sbb:

- Rugi serat optic pada 1490 nm (α_f) = 0,24 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat OLT (P_s) = 1,5 dBm (Pada Lampiran IX)

- Sensitifitas perangkat ONU (P_r) = - 28 dBm (Pada Lampiran V)

Selain itu, jarak transmisi dari OLT ke ONU 1 dan ONU 2 berbeda, sehingga dilakukan perhitungan link power budget pada kedua ONU dengan jarak transmisi yang berbeda.

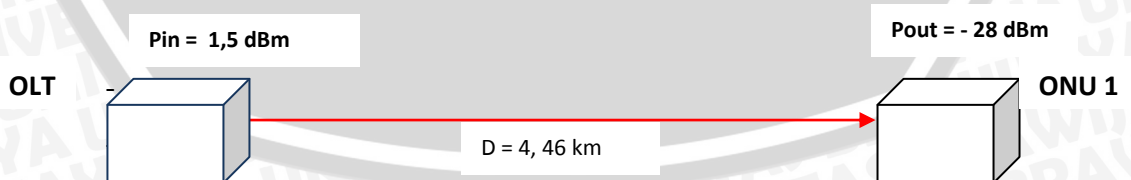
5.6.2.1 Link Power Budget Pada ONU 1

Maka untuk besarnya *link power budget* pada ONU 1, dengan jarak transmisi sejauh 4,46 km, adalah sebagai berikut :

Dari pembahasan sebelumnya maupun dari data sheet perangkat yang digunakan, didapatkan:

- Rugi serat optic pada 1490 nm (α_f) = 0,24 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat OLT (P_s) = 1,5 dBm (Pada Lampiran IX)
- Sensitifitas perangkat ONU (P_r) = - 28 dBm (Pada Lampiran V)
- Jarak Transmisi (D) = 4,46 km
- Jumlah splicing / sambungan (N_s) = 0
- Rugi sambungan (L_s) = 0,1 dB
- Jumlah konektor (N_c) = 5
- Rugi Konektor (L_c) = 0,3 dB (Pada Lampiran III dan IV)
- Rugi Splitter Maxium (S) = 21,0 dB (Pada Lampiran VII)
- Rugi WDM Coupler = 0,7 dB (Pada Lampiran VIII)

Rancangan system :



Sehingga didapatkan sbb:

a.) *Power Budget*

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 1,5 - (-28) \text{ dBm}$$

$$P_t = 29,5 \text{ dBm}$$

b.) *Total Redaman yang ada pada jaringan perancangan :*

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

$$a \text{ total} = (0,24 \times 4,46) + (0 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + (21,0) + (2 \times 0,7)$$

$$a \text{ total} = 1,0704 + 0 + 1,5 + 21,0 + 1,4$$

$$a \text{ total} = 24,9704 \text{ dB}$$

c.) *Margin system :*

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

$$M = 29,5 - 24,9704 - 3$$

$$M = 1,5296 \text{ dB}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan sebagai berikut :

- Nilai Margin system diatas nol ($> 0 \text{ dB}$)
- Daya total lebih besar daripada total redaman yang terjadi pada system ($P_r > a \text{ total}$)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan tersebut masih memenuhi kelayakan operasi pada suatu perencanaan jaringan FTTB menggunakan jaringan GPON.

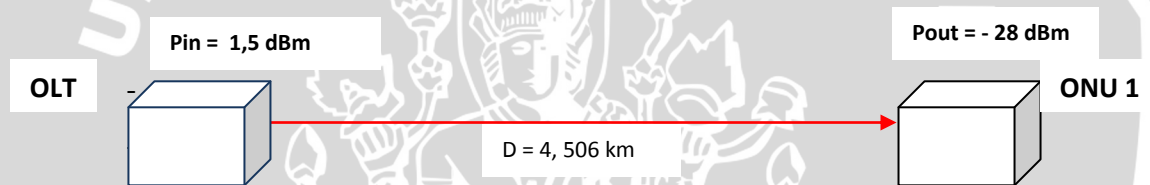
5.6.2.2 *Link Power Budget Pada ONU 2*

Maka untuk besarnya link power budget pada ONU 2, dengan jarak transmisi sejauh 4,506 km, adalah sebagai berikut :

Dari pembahasan sebelumnya maupun dari data sheet perangkat yang digunakan, kita dapatkan:

- Rugi serat optic pada 1490 nm (α_f) = 0,24 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat OLT (P_s) = 1,5 dBm (Pada Lampiran IX)
- Sensitifitas perangkat ONU (P_r) = - 28 dBm (Pada Lampiran V)
- Jarak Transmisi (D) = 4,506 km
- Jumlah splicing / sambungan (N_s) = 0
- Rugi sambungan (L_s) = 0,1 dB
- Jumlah konektor (N_c) = 5
- Rugi Konektor (L_c) = 0,3 dB (Pada Lampiran III dan IV)
- Rugi Splitter Maxium (S) = 21,0 dB (Pada Lampiran VII)
- Rugi WDM Coupler = 0,7 dB (Pada Lampiran VIII)

Rancangan system :



Sehingga kita dapatkan sbb:

a.) Power Budget

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 1,5 - (-28) \text{ dBm}$$

$$P_t = 29,5 \text{ dBm}$$

b.) Total Redaman yang ada pada jaringan perancangan :

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

$$a \text{ total} = (0,24 \times 4,506) + (0 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + (21,0) + (2 \times 0,7)$$

$$a \text{ total} = 1,0814 + 0 + 1,5 + 21,0 + 1,4$$

$$a \text{ total} = 24,9814 \text{ dB}$$

c.) **Margin system :**

$$M = (P_s - P_r) - a_{\text{total}} - 3 \text{ dB [safety Margin]}$$

$$M = 29,5 - 24,9814 - 3$$

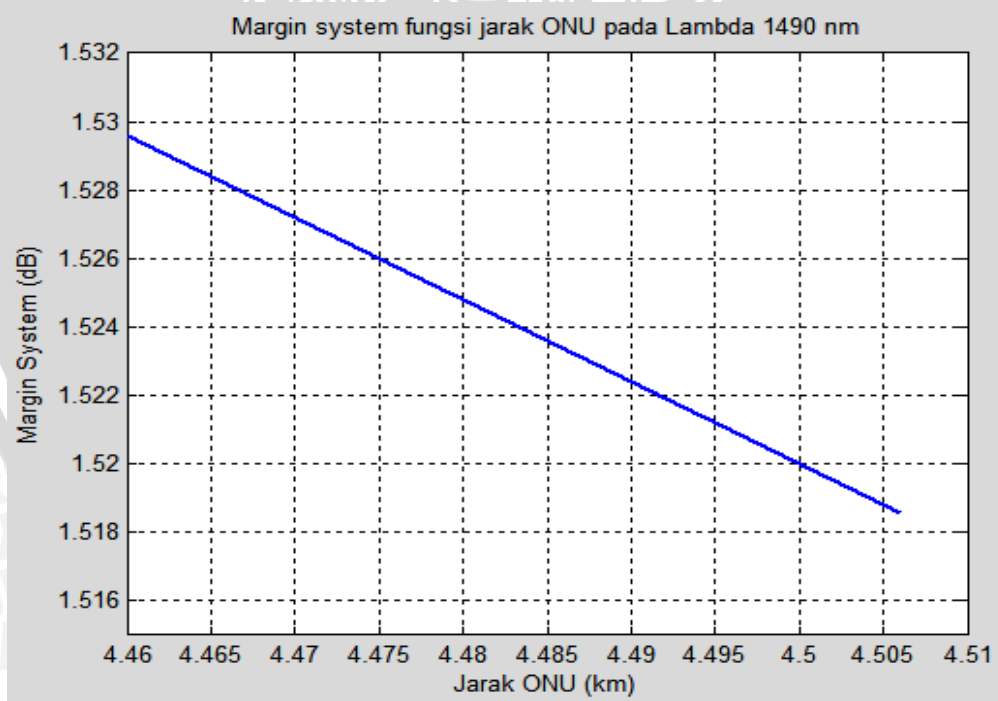
$$M = 1,5186 \text{ dB}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan sebagai berikut :

- Nilai Margin system diatas nol (> 0 dB)
- Daya total lebih besar daripada total redaman yang terjadi pada system ($P_r > a_{\text{total}}$)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan tersebut masih memenuhi kelayakan operasi pada suatu perencanaan jaringan FTTB menggunakan jaringan GPON.

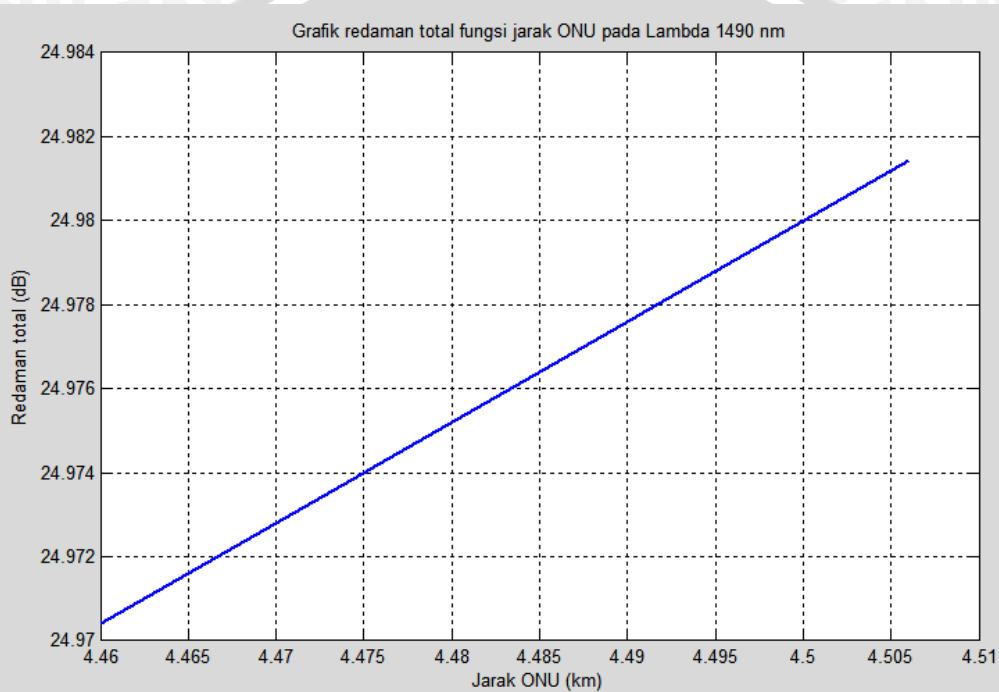
Setelah dilakukan analisis pada ONU 1 dan ONU 2 maka didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 5.7 Grafik Margin System fungsi Jarak ONU pada lambda 1490 nm

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa Margin Sistem pada lambda 1490 nm berbanding terbalik dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain margin sistem akan semakin kecil ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni “ $M = (P_s - P_r) - a_{total} - 3$ [safety Margin]” ketika jarak transmisi (D) semakin besar maka redaman total jaringan (a_{total}) akan semakin besar pula, sehingga margin sistem dari jaringan tersebut akan semakin kecil.



Gambar 5.8 Grafik Redaman total fungsi Jarak ONU pada lambda 1490 nm

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa redaman total pada lambda 1490 nm berbanding lurus dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain redaman total akan semakin besar ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni “ $a_{total} = (\alpha_f \times D) + (N_s + L_s) + (N_c + L_c) + S + L_{coupler}$ ”, terbukti bahwa jarak transmisi (D) berbanding lurus dengan redaman total jaringan (a_{total}).

5.6.3 Link Power Budget pada panjang gelombang 1550 nm

Panjang gelombang 1550 nm digunakan untuk transmisi *downstream* untuk video CATV *analog overlay* pada jaringan GPON, dimana yang dimaksud

downstream disini adalah *downstream* dari OLT ke ONU, sehingga dibutuhkan daya minimum yang dipancarkan oleh perangkat OLT dan sensitifitas minimum yang dimiliki oleh perangkat ONU, serta redaman yang dimiliki oleh fiber optik yang kita gunakan disini pada panjang gelombang 1550 nm. Sehingga dari data sheet perangkat yang digunakan didapatkan sebagai berikut:

- Rugi serat optic pada 1550 nm (α_f) = 0,2 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat OLT (P_s) = 8,0 dBm (Pada Lampiran V)
- Sensitifitas perangkat ONU (P_r) = - 28 dBm (Pada Lampiran V)

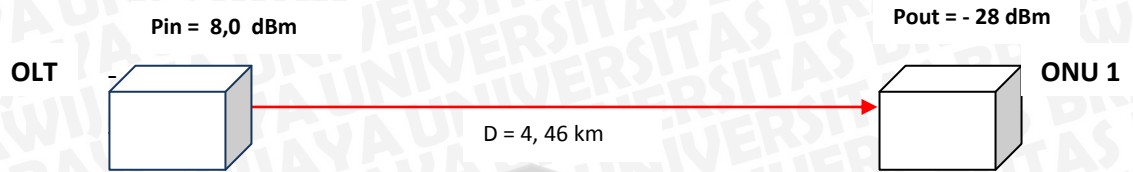
Selain itu, jarak transmisi dari OLT ke ONU 1 dan ONU 2 berbeda, sehingga dilakukan perhitungan *link power budget* pada kedua ONU dengan jarak transmisi yang berbeda.

5.6.3.1 Link Power Budget Pada ONU 1

Maka untuk besarnya link power budget pada ONU 1, dengan jarak transmisi sejauh 4,46 km, adalah sebagai berikut :

Dari pembahasan sebelumnya maupun dari data sheet perangkat yang digunakan, kita dapatkan:

- Rugi serat optic pada 1550 nm (α_f) = 0,2 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat OLT (P_s) = 8,0 dBm (Pada Lampiran V)
- Sensitifitas perangkat ONU (P_r) = - 28 dBm (Pada Lampiran V)
- Jarak Transmisi (D) = 4,46 km
- Jumlah splicing / sambungan (N_s) = 0
- Rugi sambungan (L_s) = 0,1 dB
- Jumlah konektor (N_c) = 5
- Rugi Konektor (L_c) = 0,3 dB (Pada Lampiran III dan IV)
- Rugi Splitter Maxium (S) = 21,0 dB (Pada Lampiran VII)
- Rugi WDM Coupler = 0,7 dB (Pada Lampiran VIII)

Rancangan system :

Sehingga kita dapatkan sbb:

a.) Power Budget

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 8 - (-28) \text{ dBm}$$

$$P_t = 36 \text{ dBm}$$

b.) Total Redaman yang ada pada jaringan perancangan :

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

$$a \text{ total} = (0,2 \times 4,46) + (0 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + (21,0) + (2 \times 0,7)$$

$$a \text{ total} = 0,892 + 0 + 1,5 + 21,0 + 1,4$$

$$a \text{ total} = 24,792 \text{ dB}$$

c.) Margin system :

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

$$M = 36 - 24,792 - 3 \text{ dB}$$

$$M = 8,208$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan sebagai berikut :

- Nilai *Margin system* diatas nol ($> 0 \text{ dB}$)
- Daya total lebih besar daripada total redaman yang terjadi pada system ($P_r > a \text{ total}$)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan tersebut masih memenuhi kelayakan operasi pada suatu perencanaan jaringan FTTB menggunakan jaringan GPON.

5.6.2.2 Link Power Budget Pada ONU 2

Maka untuk besarnya *link power budget* pada ONU 2, dengan jarak transmisi sejauh 4,506 km, adalah sebagai berikut :

Dari pembahasan sebelumnya maupun dari data sheet perangkat yang digunakan, didapatkan:

- Rugi serat optic pada 1550 nm (α_f) = 0,2 dB / km (Pada Lampiran VI)
- Daya minimum yang dipancarkan perangkat OLT (P_s) = 8,0 dBm (Pada Lampiran V)
- Sensitifitas perangkat ONU (P_r) = - 28 dBm (Pada Lampiran V)
- Jarak Transmisi (D) = 4,506 km
- Jumlah splicing / sambungan (N_s) = 0
- Rugi sambungan (L_s) = 0,1 dB
- Jumlah konektor (N_c) = 5
- Rugi Konektor (L_c) = 0,3 dB (Pada Lampiran III dan IV)
- Rugi Splitter Maxium (S) = 21,0 dB (Pada Lampiran VII)
- Rugi WDM Coupler = 0,7 dB (Pada Lampiran VIII)

Rancangan system :



Sehingga didapatkan sbb:

a.) Power Budget

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 8,0 - (-28) \text{ dBm}$$

$$P_t = 36 \text{ dBm}$$

b.) Total Redaman yang ada pada jaringan perancangan :

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

$$a \text{ total} = (0,2 \times 4,506) + (0 \times 0,1) + (5 \times 0,3) + (21,0) + (2 \times 0,7)$$

$$a \text{ total} = 0,9012 + 0 + 1,5 + 21,0 + 1,4$$

$$\mathbf{a \text{ total} = 24,8012 \text{ dB}}$$

c.) Margin system :

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

$$M = 36 - 24,8012 - 3$$

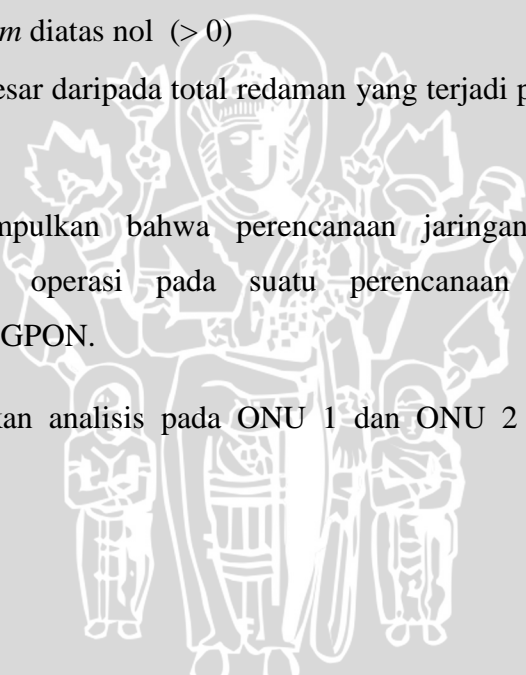
$$\mathbf{M = 8,1988 \text{ dB}}$$

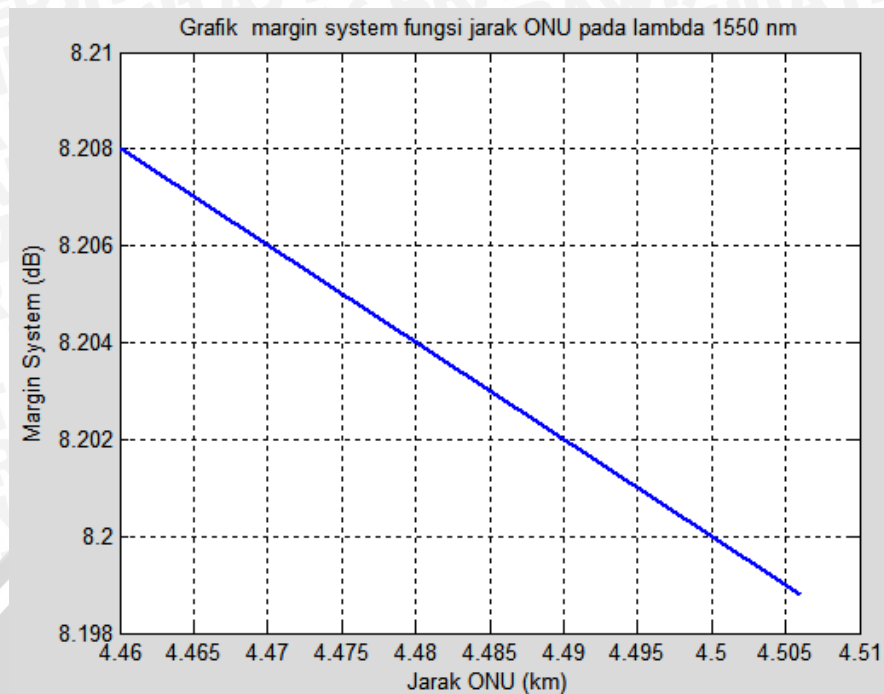
Dari hasil perhitungan diatas kita dapatkan sebagai berikut :

- Nilai *Margin system* diatas nol (> 0)
- Daya total lebih besar daripada total redaman yang terjadi pada system ($P_r > a \text{ total}$)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan tersebut masih memenuhi kelayakan operasi pada suatu perencanaan jaringan FTTB menggunakan jaringan GPON.

Setelah dilakukan analisis pada ONU 1 dan ONU 2 maka didapatkan grafik sebagai berikut:

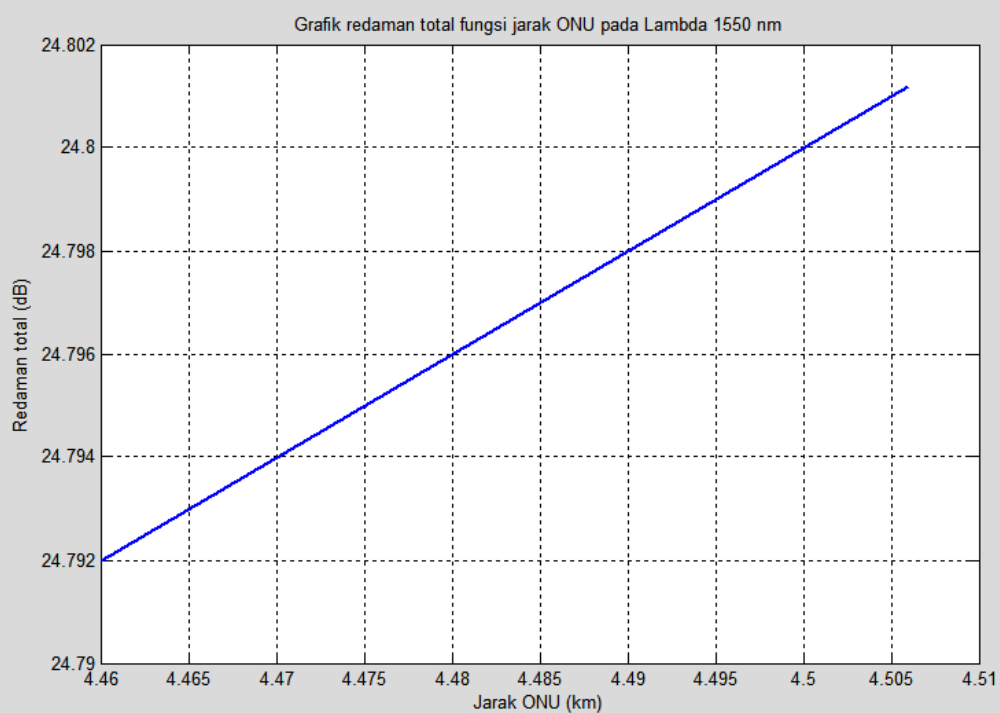




Gambar 5.9 Grafik *Margin System* fungsi Jarak ONU pada lambda 1550 nm

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa Margin Sistem pada lambda 1550 nm berbanding terbalik dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain margin sistem akan semakin kecil ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni " $M = (P_s - P_r) - a_{total} - 3 [\text{safety Margin}]$ " ketika jarak transmisi (D) semakin besar maka redaman total jaringan (a_{total}) akan semakin besar pula, sehingga margin sistem dari jaringan tersebut akan semakin kecil.

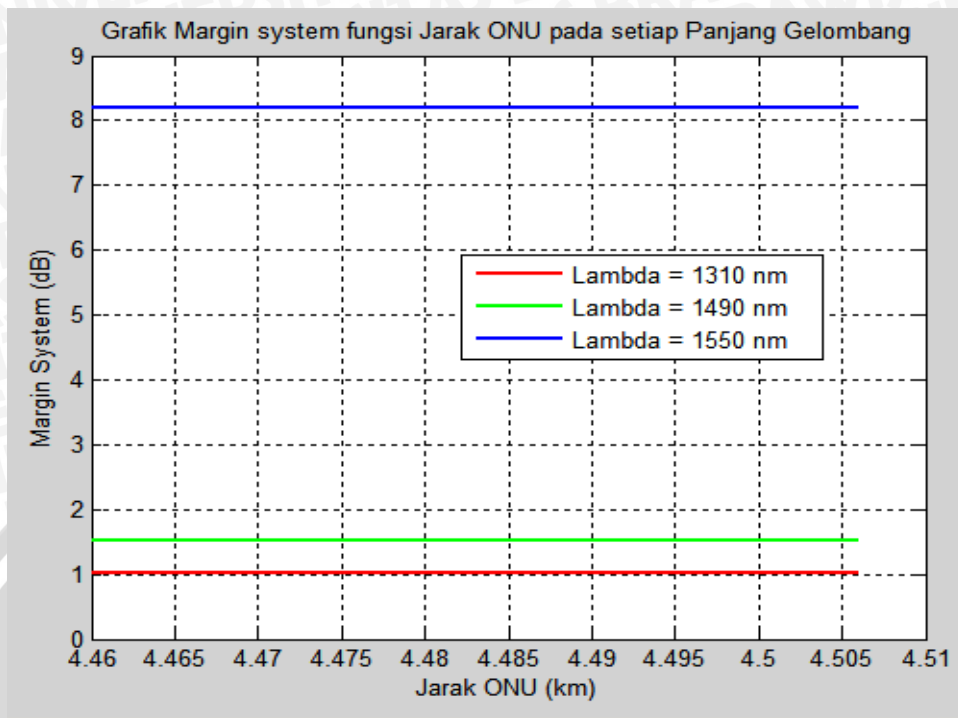


Gambar 5.10 Grafik Redaman total fungsi Jarak ONU pada lambda 1550 nm

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa redaman total pada lambda 1490 nm berbanding lurus dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain redaman total akan semakin besar ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni “ $a_{total} = (\alpha_f \times D) + (N_s + L_s) + (N_c + L_c) + S + L_{coupler}$ ”, terbukti bahwa jarak transmisi (D) berbanding lurus dengan redaman total jaringan (a_{total}).

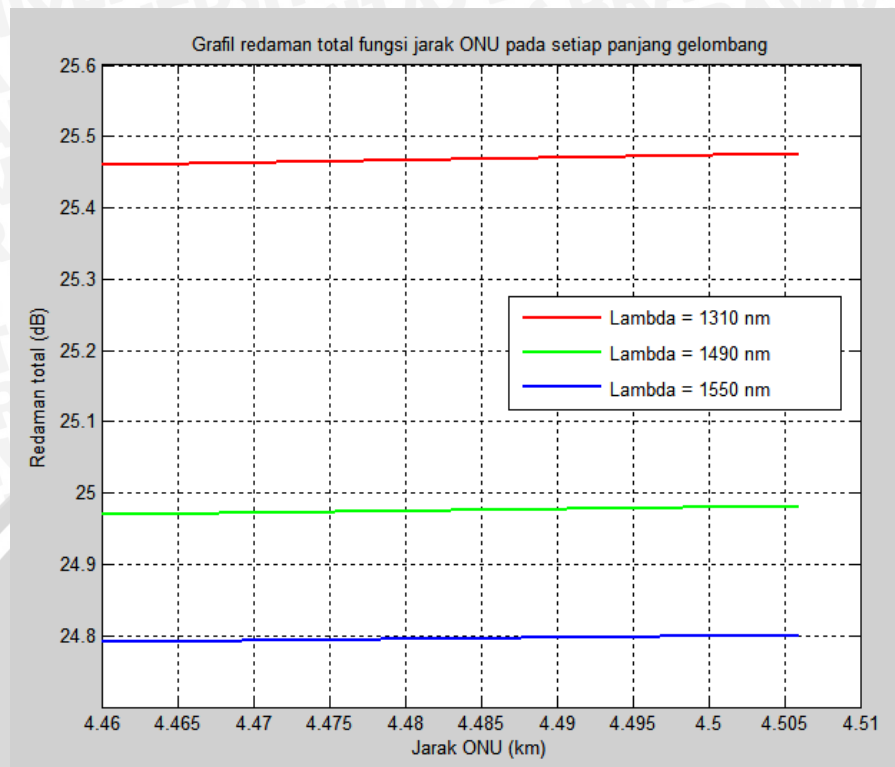
Setelah dilakukan perhitungan link power budget pada setiap panjang gelombang yang digunakan, maka dapat dibandingkan besarnya margin total yang ada pada setiap panjang gelombang serta redaman total yang terjadi pada setiap panjang gelombang sebagai berikut :



Gambar 5.11 Grafik Margin system fungsi Jarak ONU pada setiap panjang gelombang

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa Margin Sistem pada setiap panjang gelombang yang digunakan berbanding terbalik dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain margin sistem akan semakin kecil ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni " $M = (P_s - P_r) - a_{total} - 3$ [safety Margin]" ketika jarak transmisi (D) semakin besar maka redaman total jaringan (a_{total}) akan semakin besar pula, sehingga margin sistem dari jaringan tersebut akan semakin kecil.



Gambar 5.12 Grafik Redaman Total fungsi Jarak ONU pada setiap panjang gelombang

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Maka dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa redaman total pada setiap panjang gelombang yang digunakan berbanding lurus dengan Jarak ONU, atau dengan kata lain redaman total akan semakin besar ketika jarak ONU semakin besar, sebab menurut persamaan yang digunakan yakni “ $a_{total} = (\alpha_f \times D) + (N_s + L_s) + (N_c + L_c) + S + L_{coupler}$ ”, terbukti bahwa jarak transmisi (D) berbanding lurus dengan redaman total jaringan (a_{total}).

5.7 Perhitungan *Link Rise Time Budget*

Analisa rise time budget merupakan suatu metode yang mudah untuk mengurangi limitasi / batasan dispersi dari suatu hubungan serat optik. Pada jaringan GPON ini digunakan 3 macam panjang gelombang, yakni 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm, sehingga untuk pengukuran *link rise time budget* dilakukan perhitungan pada ketiga panjang gelombang yang digunakan sebab nilai variable – variable yang kita gunakan pada perhitungan ini berdasarkan data sheet yang

ada pada setiap perangkat yang digunakan berbeda (listing program yang digunakan untuk perhitungan tercantum pada Lampiran XII) .

5.7.1 Link Rise Time Budget pada panjang gelombang 1310 nm

Panjang gelombang 1310 nm digunakan untuk transmisi upstream pada jaringan GPON, dimana yang dimaksud upstream disini adalah upstream dari ONU ke OLT, sehingga untuk melakukan analisa *link rise time budget* didapatkan parameter – parameter untuk perhitungan *link rise time budget* dari data sheet yang ada adalah sebagai berikut :

- Indeks bias inti serat optic yang digunakan (n_1) = 1,4682 (Pada Lampiran VI)
- Indeks bias selubung serat optik yang digunakan (n_2) = 1,4676 (Pada Lampiran VI)
- Koefisien *Polarization Mode Dispersion* (PMD) fiber optik (t_{PMD}) = 0,06 ps / $\sqrt{\text{km}}$ (Pada Lampiran VI)
- Rise Time Detektor optic pada OLT (t_{Rx}) = 260 ps = 0,26 ns (Pada Lampiran V)
- Rise Time Detektor optic pada ONU (t_{Tx}) = 250 ps = 0,25 ns (Pada Lampiran IX)
- Lebar spectrum Detektor optic pada ONU ($\Delta\lambda$) = 1 nm (Pada Lampiran IX)
- Jari - jari inti fiber optik (a) = 8,2 μm (Pada Lampiran VI)
- Koefisien dispersi bahan fiber optik (t_{dm}) = 0,092 ps/nm . km (Pada Lampiran VI)

Selain itu, ONU 1 dan ONU 2 berbeda, sehingga kita akan melakukan perhitungan link rise time pada kedua ONU dengan jarak transmisi yang berbeda.

5.7.1.1 Link Rise Time Budget Pada ONU 1

Maka untuk besarnya link rise time budget pada ONU 1, dengan jarak transmisi (D) sejauh 4,46 km, adalah sebagai berikut :

- a) Perhitungan dispersi kromatis:

$$\tau_m = t_{dm} \times \Delta\lambda \times D$$

$$\tau_m = 0,092 \times 1 \times 4,46$$

$$\tau_m = \mathbf{0,41032 \text{ ps}}$$

- b) Perhitungan Selisih indeks bias:

$$\Delta_S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta_S = \frac{1,4682 - 1,4676}{1,4682}$$

$$\Delta_S = \mathbf{4,0866 \times 10^{-4}}$$

- c) Perhitungan frekuensi ternormalisasi:

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

$$v = \frac{2 \cdot 3,14}{1310 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot \sqrt{2 \cdot (4,0866 \times 10^{-4})}$$

$$v = 4,7939 \cdot 10^6 \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot 2,859 \cdot 10^{-2}$$

$$v = \mathbf{1,65 \text{ Hz}}$$

- d) Perhitungan Koefisien dispersi:

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,65)}{(1,65)^2}$$

$$D_w = \mathbf{0,7346}$$

- e) Perhitungan Dispersi pandu gelombang:

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

$$\tau_w = \frac{4,46 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1310 \cdot 10^{-9}} (1,4682 - 1,4676) \cdot 0,7346 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = \mathbf{0,005 \text{ ns}}$$

- f) Perhitungan total nilai disperse intramodal:

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

$$t_{\text{intra}} = 0,41032 \text{ ps} + 5 \text{ ps}$$

$$t_{\text{intra}} = \mathbf{5,41032 \text{ ps}}$$

- g) Perhitungan t_{PMD} pada ONU 1:

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{4,46}$$

$$t_{\text{PMD}} = \mathbf{0,0284 \text{ ps}}$$

- h) Perhitungan total rise time budget pada ONU 1 pada panjang gelombang

1310 nm:

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

$$t_{\text{sys}} = [(0,25)^2 + 0 + (0,00541032)^2 + (0,0000284)^2 + (0,26)^2]^{1/2}$$

$$t_{\text{sys}} = \mathbf{0,3607 \text{ ns}}$$

- i) Perhitungan laju bit maksimum:

Pada jaringan ini menggunakan format NRZ, sehingga:

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

$$Br_{\text{sis}} = 0,7 / 0,3607$$

$$Br_{\text{sis}} = \mathbf{1,94067 \text{ Gbps}}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa laju bit maksimum masih sangat memenuhi kebutuhan bit rate *upstream* jaringan GPON yakni 1,24 Gpbs (ITU-T G 984 series)

5.7.1.2 Link Rise Time Budget Pada ONU 2

Maka untuk besarnya link rise time budget pada ONU 2, dengan jarak transmisi (D) sejauh 4,506 km, adalah sebagai berikut :

a) Perhitungan dispersi khromatis:

$$\tau_m = t_{dm} \times \Delta_\lambda \times D$$

$$\tau_m = 0,092 \times 1 \times 4,506$$

$$\tau_m = \mathbf{0,4146 \text{ ps}}$$

b) Perhitungan Selisih indeks bias:

$$\Delta_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta_s = \frac{1,4682 - 1,4676}{1,4682}$$

$$\Delta_s = \mathbf{4,0866 \times 10^{-4}}$$

c) Perhitungan frekuensi ternormalisasi:

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

$$v = \frac{2 \cdot 3,14}{1310 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot \sqrt{2 \cdot (4,0866 \times 10^{-4})}$$

$$v = 4,7939 \cdot 10^6 \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot 2,859 \cdot 10^{-2}$$

$$v = \mathbf{1,65 \text{ Hz}}$$

d) Perhitungan Koefisien dispersi:

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,65)}{(1,65)^2}$$

$$D_w = \mathbf{0.7335}$$

e) Perhitungan Dispersi pandu gelombang:

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

$$\tau_w = \frac{4,506 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1310 \cdot 10^{-9}} (1,4682 - 1,4676) \cdot 0,7335 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = 0,005048 \text{ ns}$$

- f) Perhitungan total nilai disperse intramodal:

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

$$t_{\text{intra}} = 0,4146 \text{ ps} + 5,048 \text{ ps}$$

$$t_{\text{intra}} = \mathbf{5,46 \text{ ps}}$$

- g) Perhitungan t_{PMD} pada ONU 2:

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{4,506}$$

$$t_{\text{PMD}} = \mathbf{0,0283 \text{ ps}}$$

- h) Perhitungan total rise time budget pada ONU 2 pada panjang gelombang

1310 nm:

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

$$t_{\text{sys}} = [(0,25)^2 + 0 + (0,00546)^2 + (0,0000283)^2 + (0,26)^2]^{1/2}$$

$$t_{\text{sys}} = \mathbf{0,3607 \text{ ns}}$$

- i) Perhitungan laju bit maksimum:

Pada jaringan ini menggunakan format NRZ, sehingga:

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

$$Br_{\text{sis}} = 0,7 / 0,3607$$

$$Br_{\text{sis}} = \mathbf{1,94067 \text{ Gbps}}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa laju bit maksimum masih sangat memenuhi kebutuhan bit rate *upstream* jaringan GPON yakni 1,24 Gpbs (ITU-T G 984 series).

5.7.2 Link Rise Time Budget pada panjang gelombang 1490 nm

Panjang gelombang 1490 nm digunakan untuk transmisi *downstream* pada jaringan GPON, dimana yang dimaksud downstream disini adalah downstream dari OLT ke ONU, sehingga untuk melakukan analisa *link rise time budget* didapatkan parameter – parameter untuk perhitungan *link rise time budget* dari data sheet yang ada adalah sebagai berikut :

- Indeks bias inti serat optic yang digunakan (n_1) = 1,4682 (Pada Lampiran VI)
- Indeks bias selubung serat optic yang digunakan (n_2) = 1,4676 (Pada Lampiran VI)
- Koefisien *Polarization Mode Dispersion* (PMD) fiber optic (t_{PMD}) = 0,06 ps / $\sqrt{\text{km}}$ (Pada Lampiran VI)
- Rise Time Detektor optic pada OLT (t_{Tx}) = 150 ps = 0,15 ns (Pada Lampiran V)
- Rise Time Detektor optic pada ONU (t_{Rx}) = 160 ps = 0,16 ns (Pada Lampiran IX)
- Lebar spectrum Detektor optic pada ONU ($\Delta\lambda$) = 1 nm (Pada Lampiran IX)
- Jari - jari inti fiber optic (a) = 8,2 μm (Pada Lampiran VI)
- Koefisien dispersi bahan fiber optic (t_{dm}) = 13,7936 ps/nm.km (Pada Lampiran VI)

Selain itu, jarak transmisi dari OLT ke ONU 1 dan ONU 2 berbeda, sehingga dilakukan perhitungan link power budget pada kedua ONU dengan jarak transmisi yang berbeda.

5.7.2.1 Link Rise Time Budget Pada ONU 1

Maka untuk besarnya link rise time budget pada ONU 1, dengan jarak transmisi (D) sejauh 4,46 km, adalah sebagai berikut :

a.) Perhitungan dispersi kromatis:

$$\tau_m = t_{dm} \times \Delta_\lambda \times D$$

$$\tau_m = 13,7936 \times 1 \times 4,46$$

$$\tau_m = \mathbf{61,5195 \text{ ps}}$$

b.) Perhitungan Selisih indeks bias:

$$\Delta_S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta_S = \frac{1,4682 - 1,4676}{1,4682}$$

$$\Delta_S = \mathbf{4,0866 \times 10^{-4}}$$

c.) Perhitungan frekuensi ternormalisasi:

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

$$v = \frac{2 \cdot 3,14}{1490 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot \sqrt{2 \cdot (4,0866 \times 10^{-4})}$$

$$v = \mathbf{1,4507 \text{ Hz}}$$

d.) Perhitungan Koefisien dispersi:

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,4507)}{(1,4507^2)}$$

$$D_w = \mathbf{1,1936}$$

e.) Perhitungan Dispersi pandu gelombang:

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

$$\tau_w = \frac{4,46 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1310 \cdot 10^{-9}} (1,4682 - 1,4676) \cdot 1,1936 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = \mathbf{7,1456 \text{ ps}}$$

f.) Perhitungan total nilai disperse intramodal:

$$\tau_{intra} = \tau_m + \tau_w$$

$$t_{\text{intra}} = 61,5195 \text{ ps} + 7,1456 \text{ ps}$$

$$t_{\text{intra}} = \mathbf{68,6650 \text{ ps}}$$

g.) Perhitungan t_{PMD} pada ONU 1:

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{4,46}$$

$$t_{\text{PMD}} = \mathbf{0,0284 \text{ ps}}$$

h.) Perhitungan total rise time budget pada ONU 1 pada panjang gelombang

1490 nm:

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

$$t_{\text{sys}} = [(0,15)^2 + 0 + (0,0686650)^2 + (0,0000284)^2 + (0,16)^2]^{1/2}$$

$$t_{\text{sys}} = \mathbf{0,2195 \text{ ns}}$$

i.) Perhitungan laju bit maksimum:

Pada jaringan ini menggunakan format NRZ, sehingga:

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

$$Br_{\text{sis}} = 0,7 / 0,2195$$

$$Br_{\text{sis}} = \mathbf{3,1894 \text{ Gbps}}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa laju bit maksimum masih sangat memenuhi kebutuhan bit rate *downstream* jaringan GPON yakni 2,48 Gpbs (ITU-T G 984 series)

5.7.2.2 Link Rise Time Budget Pada ONU 2

Maka untuk besarnya *link rise time budget* pada ONU 2, dengan jarak transmisi (D) sejauh 4,506 km, adalah sebagai berikut :

a) Perhitungan dispersi khromatis:

$$\tau_m = t_{\text{dm}} \times \Delta\lambda \times D$$

$$\tau_m = 13,7936 \times 1 \times 4,506$$

$$\tau_m = \mathbf{62,1540 \text{ ps}}$$

b) Perhitungan Selisih indeks bias:

$$\Delta_S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta_S = \frac{1,4682 - 1,4676}{1,4682}$$

$$\Delta_S = 4,0866 \times 10^{-4}$$

c) Perhitungan frekuensi ternormalisasi:

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

$$v = \frac{2 \cdot 3,14}{1490 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot \sqrt{2 \cdot (4,0866 \times 10^{-4})}$$

$$v = 1,4507 \text{ Hz}$$

d) Perhitungan Koefisien dispersi:

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,4507)}{(1,4507)^2}$$

$$D_w = 1,1936$$

e) Perhitungan Dispersi pandu gelombang:

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

$$\tau_w = \frac{4,506 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1490 \cdot 10^{-9}} (1,4682 - 1,4676) \cdot 1,1936 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = 7,2193 \text{ ps}$$

f) Perhitungan total nilai disperse intramodal:

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

$$\tau_{\text{intra}} = 62,1540 \text{ ps} + 7,2193 \text{ ps}$$

$$\tau_{\text{intra}} = 69,3732 \text{ ps}$$

- g) Perhitungan t_{PMD} pada ONU 2:

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{4,506}$$

$$t_{\text{PMD}} = \mathbf{0,0283 \text{ ps}}$$

- h) Perhitungan total rise time budget pada ONU 2 pada panjang gelombang

1490 nm:

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

$$t_{\text{sys}} = [(0,15)^2 + 0 + (0,0693732)^2 + (0,0000283)^2 + (0,16)^2]^{1/2}$$

$$t_{\text{sys}} = \mathbf{0,2195 \text{ ns}}$$

- i) Perhitungan laju bit maksimum:

Pada jaringan ini menggunakan format NRZ, sehingga:

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

$$Br_{\text{sis}} = 0,7 / 0,21972$$

$$Br_{\text{sis}} = \mathbf{3,1894 \text{ Gbps}}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa laju bit maksimum masih sangat memenuhi kebutuhan bit rate *downstream* jaringan GPON yakni 2,48 Gpbs (ITU-T G 984 series).

5.7.3 Link Rise Time Budget pada panjang gelombang 1550 nm

Panjang gelombang 1550 nm digunakan untuk transmisi *downstream* untuk video CATV *analog overlay* pada jaringan GPON, dimana yang dimaksud *downstream* disini adalah *downstream* dari OLT ke ONU, sehingga untuk melakukan analisa *link rise time budget* didapatkan parameter – parameter untuk perhitungan *link rise time budget* dari data sheet yang ada adalah sebagai berikut :

- Indeks bias inti serat optic yang digunakan (n_1) = 1,4682 (Pada Lampiran VI)

- Indeks bias selubung serat optik yang digunakan (n_2) = 1,4676 (Pada Lampiran VI)
- Koefisien *Polarization Mode Dispersion* (PMD) fiber optik (t_{PMD}) = 0,06 ps / $\sqrt{\text{km}}$ (Pada Lampiran VI)
- Rise Time Detektor optik pada OLT (t_{Tx}) = 150 ps = 0,15 ns (Pada Lampiran V)
- Rise Time Detektor optik pada ONU (t_{Rx}) = 160 ps = 0,16 ns (Pada Lampiran IX)
- Lebar spectrum Detektor optik pada ONU ($\Delta\lambda$) = 1 nm (Pada Lampiran IX)
- Jari - jari inti fiber optik (a) = 8,2 μm (Pada Lampiran VI)
- Koefisien dispersi bahan fiber optik (t_{dm}) = 18 ps/nm . km (Pada Lampiran VI)

Selain itu, jarak transmisi dari OLT ke ONU 1 dan ONU 2 berbeda, sehingga kita akan melakukan perhitungan link power budget pada kedua ONU dengan jarak transmisi yang berbeda.

5.7.3.1 Link Rise Time Budget Pada ONU 1

Maka untuk besarnya link rise time budget pada ONU 1, dengan jarak transmisi (D) sejauh 4,46 km, adalah sebagai berikut :

a.) Perhitungan dispersi khromatis:

$$\tau_m = t_{\text{dm}} \times \Delta\lambda \times D$$

$$\tau_m = 18 \times 1 \times 4,46$$

$$\tau_m = \mathbf{80,28 \text{ ps}}$$

b.) Perhitungan Selisih indeks bias:

$$\Delta_S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta_S = \frac{1,4682 - 1,4676}{1,4682}$$

$$\Delta_S = \mathbf{4,0866 \times 10^{-4}}$$

c.) Perhitungan frekuensi ternormalisasi:

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

$$v = \frac{2 \cdot 3,14}{1550 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot \sqrt{2 \cdot (4,0866 \times 10^{-4})}$$

$$v = \mathbf{1,3945 \text{ Hz}}$$

d.) Perhitungan Koefisien dispersi:

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,3945)}{(1,3945)^2}$$

$$D_w = \mathbf{1,3729}$$

e.) Perhitungan Dispersi pandu gelombang:

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

$$\tau_w = \frac{4,46 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1550 \cdot 10^{-9}} (1,4682 - 1,4676) \cdot 0,7346 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = \mathbf{7,9006 \text{ ps}}$$

f.) Perhitungan total nilai disperse intramodal:

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

$$t_{\text{intra}} = 80,28 \text{ ps} + 7,9006 \text{ ps}$$

$$t_{\text{intra}} = \mathbf{88,1806 \text{ ps}}$$

g.) Perhitungan t_{PMD} pada ONU 1:

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{4,46}$$

$$t_{\text{PMD}} = \mathbf{0,0284 \text{ ps}}$$

h.) Perhitungan total rise time budget pada ONU 1 pada panjang gelombang

1550 nm:

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

$$t_{\text{sys}} = [(0.15)^2 + 0 + (0,088108)^2 + (0,0000284)^2 + (0,16)^2]^{1/2}$$

$$t_{\text{sys}} = \mathbf{0,2195 \text{ ns}}$$

i.) Perhitungan laju bit maksimum:

Pada jaringan ini menggunakan format NRZ, sehingga:

$$Br_{\text{sis}} = 0.7 / t_{\text{sys}}$$

$$Br_{\text{sis}} = 0.7 / 0,2195$$

$$Br_{\text{sis}} = \mathbf{3,1888 \text{ Gbps}}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa laju bit maksimum masih sangat memenuhi kebutuhan bit rate downstream jaringan GPON yakni 2,48 Gbps (ITU-T G 984 series).

5.7.3.2 Link Rise Time Budget Pada ONU 2

Maka untuk besarnya link rise time budget pada ONU 2, dengan jarak transmisi (D) sejauh 4,506 km, adalah sebagai berikut :

a.) Perhitungan dispersi khromatis:

$$\tau_m = t_{\text{dm}} \times \Delta\lambda \times D$$

$$\tau_m = 18 \times 1 \times 4,506$$

$$\tau_m = \mathbf{81,108 \text{ ps}}$$

b.) Perhitungan Selisih indeks bias:

$$\Delta_S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta_S = \frac{1,4682 - 1,4676}{1,4682}$$

$$\Delta_S = \mathbf{4,0866 \times 10^{-4}}$$

c.) Perhitungan frekuensi ternormalisasi:

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

$$v = \frac{2,314}{1550 \cdot 10^{-9}} \cdot 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4682 \cdot \sqrt{2 \cdot (4,0866 \times 10^{-4})}$$

$$v = 1,3945 \text{ Hz}$$

d.) Perhitungan Koefisien dispersi:

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,3945)}{(1,3945)^2}$$

$$D_w = 1,3729$$

e.) Perhitungan Dispersi pandu gelombang:

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

$$\tau_w = \frac{4,506 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1490 \cdot 10^{-9}} (1,4682 - 1,4676) \cdot 0,7335 \cdot 1 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau_w = 7,9821 \text{ ps}$$

f.) Perhitungan total nilai disperse intramodal:

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

$$t_{\text{intra}} = 81,108 \text{ ps} + 7,9821 \text{ ps}$$

$$t_{\text{intra}} = 89,0901 \text{ ps}$$

g.) Perhitungan t_{PMD} pada ONU 2:

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,06 \text{ ps} / \sqrt{4,506}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,0283 \text{ ps}$$

h.) Perhitungan total rise time budget pada ONU 2 pada panjang gelombang

1550 nm:

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

$$t_{\text{sys}} = [(0,15)^2 + 0 + (0,0890901)^2 + (0,0000283)^2 + (0,16)^2]^{1/2}$$

$$t_{\text{sys}} = 0,2195 \text{ ns}$$

i.) Perhitungan laju bit maksimum:

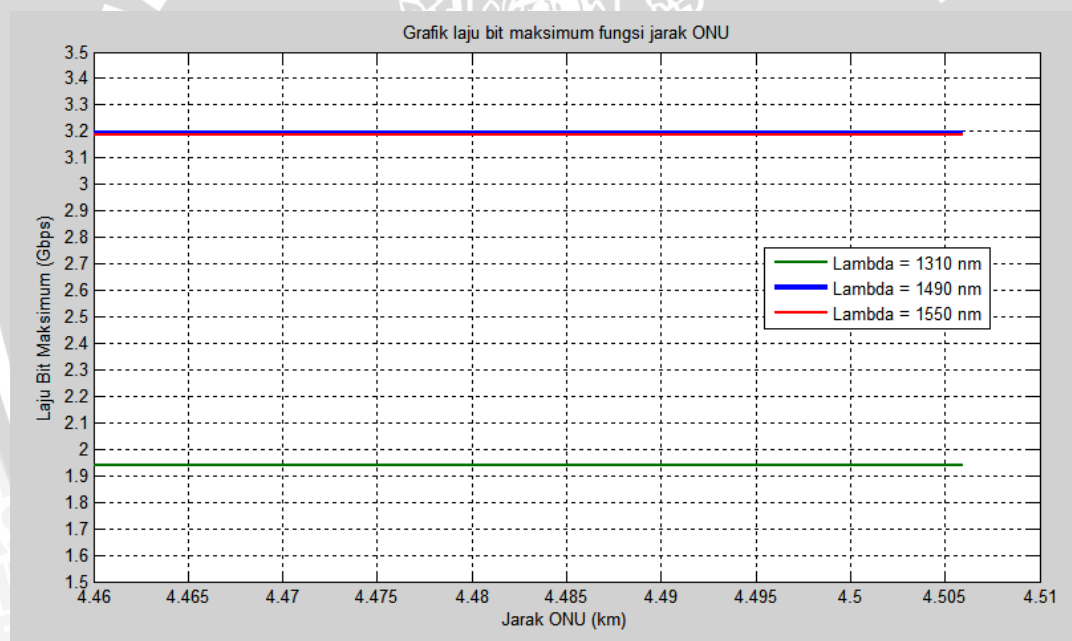
Pada jaringan ini menggunakan format NRZ, sehingga:

$$Br_{\text{sis}} = 0.7 / t_{\text{sys}}$$

$$Br_{\text{sis}} = 0.7 / 0,2195$$

$$Br_{\text{sis}} = \mathbf{3,1888 \text{ Gbps}}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa laju bit maksimum masih sangat memenuhi kebutuhan bit rate downstream jaringan GPON yakni 2,48 Gbps (ITU-T G 984 series). Dari hasil analisis pada setiap ONU dan setiap panjang gelombang yang digunakan maka didapatkan grafik laju bit maksimum fungsi jarak ONU sebagai berikut:



Gambar 5.13 Grafik Laju Bit Maksimum fungsi Jarak ONU pada setiap panjang gelombang

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa laju bit maksimum pada setiap panjang gelombang yang digunakan relatif konstan pada setiap perubahan jarak transmisi yakni pada ONU 1 dan ONU 2, sebab jarak ONU 1 dan ONU 2 pada perencanaan jaringan GPON ini berdekatan, sehingga untuk laju bit maksimumnya relatif konstan. Secara teori Laju bit maksimum berbanding

terbalik dengan jarak transmisi sebab menurut persamaan yang digunakan semakin besar jarak transmisi maka laju bit maksimumnya akan semakin kecil.

5.8 Perhitungan *Bit Rate Utilization Link Jaringan*

Utilization Link adalah gambaran sederhana dari *Throughput* pada suatu link yang diekspresikan sebagai presentasi dari access rate link tersebut (Brownlee & Loosley, 2001 : 142). Jadi untuk menganalisis *Link Utilization Bit Rate* 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. Sehingga perhitungan Link Utilization Bit rate jaringan, dihitung secara dua kali perhitungan yaitu pada downstream dan upstream (listing program yang digunakan untuk perhitungan tercantum pada Lampiran XIII).

5.8.1 Perhitungan *Bit Rate Utilization Link Downstream*

Parameter-parameter untuk perhitungan *Link Utilization Bit Rate downstream* jaringan pada GPON untuk suatu layanan *triple play* adalah sbb (Sami lalluka & Pertti Raatikainen, 2006 : 38) dan (Andi Mochammad M, ST. 2010) :

- Panjang physical control block *downstream* (PCBd) (I_{GPdo}) pada *downstream* GTC layer adalah sbb:

$$I_{GPdo} = 4 \text{ byte Frame Synchronization Field (Psync)} + 4 \text{ byte segmen (Ident)} + 13 \text{ byte PLOAMd} + 1 \text{ byte bit Interleaved Parity (BIP)} + 4 \text{ byte Payload Length Indicator (Plend)} + (2 \times (8 \times 8 \text{ byte US BW map})) = 154$$
- Pada upstream GTC layer panjang physical layer overhead upstream (PLOu) sebesar 15 byte, PLOAMu 13 byte, DBRu sebesar 7 byte
- GEM header terdiri dari PLI, port ID, PTI, dan HEC sebesar 5 byte
- *Payload* untuk layanan telepon, data dan video adalah $160 + 1452 + 1356 = 2968$ byte pada arah *downstream*
- *Payload* pada arah *upstream* untuk layanan telepon dan data adalah $160 + 1452 = 1.612$ byte

- Total GEM header (I_{GEMO}) = jumlah frame GTC downstream x GEM header

$$I_{GEMO} = 36 \times 5 \text{ byte} = 180$$

- Total payload GEM segment untuk layanan triple play (I_p) = ukuran maksimum GTC layer pada arah *downstream* – payload pada arah *downstream* – payload pada arah *upstream* + GEM header pada setiap layanan

$$I_p = 38.880 - 2.968 - 1.612 + (3 \times 180)$$

$$I_p = 34840 \text{ byte}$$

- Durasi dari sebuah GEM frame (t_{Gpdf}) = 125 μ s
- Bit rate *downstream* pada GPON (R_{GPbr}) = 2,488 Gbps
- Panjang *Upstream Allocation Overhead* (I_{GPua}) = 16 byte
- Cycle time (t_{ct}) = 2 ms

Sehingga untuk menghitung *utilization* dari *link* pada arah *downstream* pada jaringan GPON untuk memenuhi layanan triple adalah sebagai berikut :

ρ_{GPD}

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

ρ_{GPD}

$$= \frac{34840}{180 + 34840} \left[\frac{\{125 \cdot 10^{-6} \times 2,488 \cdot 10^9\} - 154 - \{16 \times \left[\frac{2 \times 125 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \right]\}}{125 \cdot 10^{-6} \times 2,488 \cdot 10^9} \right]$$

$$\rho_{GPD} = 0,944$$

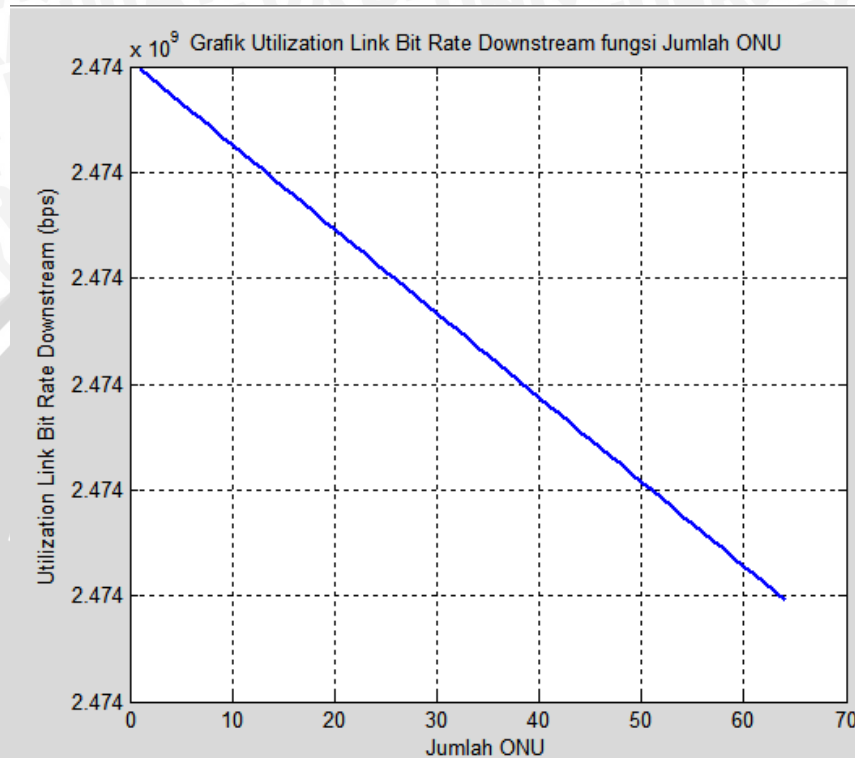
Sehingga *Link Utilization Bit Rate downstream* pada jaringan ini adalah:

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

$$= 0,994 \times 2,488 \cdot 10^9$$

$$= 2,474 \times 10^9 \text{ bps}$$

Pada perencanaan ini digunakan splitter PLC 1:64, sehingga ada kemungkinan ada penambahan jumlah ONU pada perencanaan yang lain sehingga dengan melakukan perhitungan dengan listing program seperti yang terlampir pada lampiran XIII, maka didapatkan grafik sebagai berikut



Gambar 5.14 Grafik *Bit Rate Utilization Link* arah downstream fungsi Jumlah ONU

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa Jumlah ONU dan besarnya *Link Utilization Bit Rate* downstream berbanding terbalik, jadi ketika jumlah ONU yang dipakai semakin banyak maka *Link Utilization Bit Rate* downstream akan semakin kecil, hal tersebut sesuai dengan persamaan yang dipakai pada perhitungan bahwa semakin banyak jumlah ONU maka utilization link nya semakin kecil, sehingga *Link Utilization Bit Rate* downstream nya akan semakin kecil pula.

5.8 .2 Perhitungan *Bit Rate Utilization Link Upstream*

Parameter-parameter untuk perhitungan *Link Utilization Bit Rate upstream* jaringan pada GPON untuk suatu layanan *triple play* adalah sbb (Sami lalluka & Pertti Raatikainen, 2006 : 38) dan (Andi Mochammad M, ST. 2010) :

- Pada upstream GTC layer panjang physical layer overhead upstream (I_{PLOu}) sebesar 15 byte, PLOAMu 13 byte, DBRu sebesar 7 byte
- GEM header terdiri dari PLI, port ID, PTI, dan HEC sebesar 5 byte
- *Payload* untuk layanan telepon, data dan video adalah $160 + 1452 + 1356 = 2968$ byte pada arah *downstream*
- *Payload* pada arah *upstream* untuk layanan telepon dan data adalah $160 + 1452 = 1.612$ byte
- Total GEM header (I_{GEMO}) = jumlah frame GTC upstream x GEM header

$$I_{GEMO} = 22 \times 5 \text{ byte} = 110$$
- Total payload GEM segment untuk layanan *triple play* (I_p) = ukuran maksimum GTC layer pada arah *upstream* – payload pada arah *downstream* – payload pada arah *upstream* + GEM header pada setiap layanan

$$I_p = 19.440 - 13 - 2.968 - 1.612 + (3 \times 110) + 7$$

$$I_p = 15184 \text{ byte}$$
- Durasi dari sebuah GEM frame (t_{Gpdf}) = 125 μ s
- Bit rate *upstream* pada GPON (R_{GPbr}) = 1,244 Gbps
- Panjang *Upstream Allocation Overhead* (I_{GPua}) = 16 byte
- Cycle time (t_{ct}) = 2 ms

Sehingga untuk melakukan analisis pada arah upstream kita harus menghitung besar I_{GEM} dan DBRu field dai link, yaitu sebagai berikut :

$$I_{GEM} = I_{GEMO} + I_{EP}$$

$$= (5 \times 2) + 1644$$

$$I_{GEM} = 1654 \text{ byte}$$

a.) Pehitungan I_{DBRu}

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

$$I_{DBRu} = \frac{\left[\frac{2 \cdot 10^{-3} \times 1,244 \cdot 10^9}{2} - 15 \right]}{7 + 1,654}$$

$$I_{DBRu} = 748,9374 \text{ byte}$$

b.) Pehitungan *Utilization link* pada arah *upstream*

$$\rho_{GPU}$$

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

$$\rho_{GPU}$$

$$= \frac{15184}{110 + 15184} \left[\frac{\{125 \cdot 10^{-6} \times 1,244 \cdot 10^9\} - \left[\frac{2 \times 125 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \right] (15 + 748,9374)}{125 \cdot 10^{-6} \times 1,244 \cdot 10^9} \right]$$

$$\rho_{GPU} = 0,9922$$

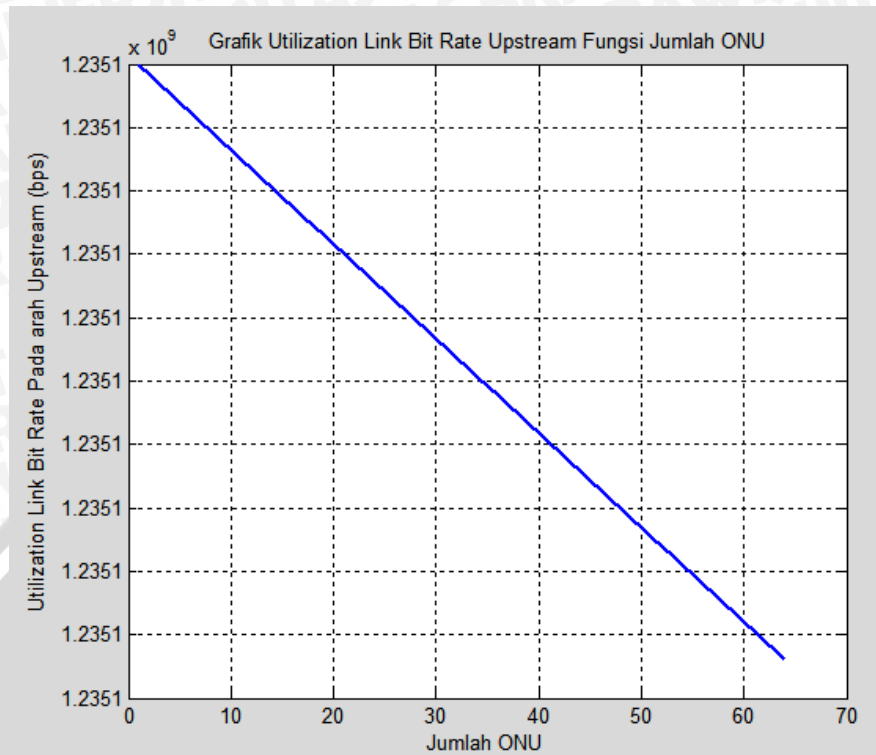
Sehingga *Link Utilization Bit Rate upstream* pada jaringan ini adalah:

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

$$= 0,9919 \times 1,244 \cdot 10^9$$

$$= 1,2343 \times 10^9 \text{ bps}$$

Pada perencanaan ini digunakan splitter PLC 1:64, sehingga ada kemungkinan ada penambahan jumlah ONU pada perencanaan yang lain sehingga dengan melakukan perhitungan dengan listing program seperti yang terlampir pada lampiran XIII, maka didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 5.15 Grafik *Bit Rate Utilization Link* arah upstream fungsi Jumlah ONU

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa Jumlah ONU dan besarnya *Bit Rate Utilization Link* pada arah upstream berbanding terbalik, jadi ketika jumlah ONU yang dipakai semakin banyak maka *Bit Rate Utilization Link* upstream akan semakin kecil pula, hal tersebut sesuai dengan persamaan yang dipakai pada perhitungan bahwa semakin banyak jumlah ONU maka *utilization link* nya semakin kecil, sehingga *Bit Rate Utilization Link* upstream nya akan semakin kecil pula.

5.9 Perhitungan Delay jaringan

Delay pada jaringan GPON dapat dikategorikan dalam komponen yang berbeda, yaitu *delay* pemrosesan, *delay* transmisi, *delay* antrian, dan *delay* propagasi, sehingga untuk menganalisis delay total pada jaringan ini, maka kita harus melakukan analisis pada setiap *delay* yang ada pada jaringan ini (listing program yang digunakan untuk perhitungan tercantum pada Lampiran XIV).

5.9.1 Perhitungan *Delay* Pemrosesan

Pada analisis *delay* pemrosesan terdapat *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi, serta *delay* pemrosesan pada arah *downstream*, dan *delay* pemrosesan pada arah *upstream*.

5.9.1.1 Perhitungan *Delay* Pemrosesan Pada Arah *Downstream*

Pada arah *downstream* koneksi yang terjadi adalah ONU dan OLT dimana OLT sebagai sumber dan ONU sebagai tujuan, sehingga parameter – parameter untuk menganalisis *delay downstream* adalah sebagai berikut :

- Panjang paket (L) = ukuran maksimum GTC layer pada arah *downstream* – payload pada arah *downstream* – payload pada arah *upstream* + GEM header pada setiap layanan

$$L = 38.880 - 2.968 - 1.612 + (3 \times 180)$$

$$L = 34840 \text{ Byte}$$

- C_{proc} Sumber = 2,488 Gbps
- C_{proc} Tujuan = 1,244 Gbps

a.) Perhitungan t_{enc} pada arah *downstream*:

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

$$t_{enc} = \frac{34840 \times 8 \text{ bit}}{2,488 \cdot 10^9}$$

$$t_{enc} = 112,0257 \mu\text{s}$$

b.) Perhitungan t_{dec} pada arah *downstream* (terjadi pada Node tujuan yaitu ONU):

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

$$t_{dec} = \frac{34840 \times 8 \text{ bit}}{1,244 \cdot 10^9}$$

$$t_{dec} = 224,0514 \mu\text{s}$$

c.) Perhitungan *delay* total pada arah *downstream*

$$t_{proc} = 112,0257 + 224,0514$$

$$t_{proc} = 336,0772 \mu s$$

5.9.1.2 Perhitungan *Delay* Pemrosesan Pada Arah *Upstream*

Pada arah *downstream* koneksi yang terjadi adalah ONU dan OLT dimana OLT sebagai tujuan dan ONU sebagai sumber, sehingga parameter – parameter untuk menganalisis *delay downstream* adalah sebagai berikut :

- Panjang paket (L) = ukuran maksimum GTC layer pada arah *upstream* – payload pada arah *downstream* – payload pada arah *upstream* + GEM header pada setiap layanan

$$L = 19.440 - 13 - 2.968 - 1.612 + (3 \times 110) + 7$$

$$L = 15184 \text{ byte}$$

- C_{proc} Sumber = 1,244 Gbps
- C_{proc} Tujuan = 2,488 Gbps

a.) Perhitungan t_{enc} pada arah *upstream*:

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

$$t_{enc} = \frac{15184 \times 8 \text{ bit}}{1,244 \cdot 10^9}$$

$$t_{enc} = 97,6463 \mu s$$

b.) Perhitungan t_{dec} pada arah *upstream* (yakni terjadi pada node tujuan yaitu OLT) :

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

$$t_{dec} = \frac{15184 \times 8 \text{ bit}}{2,488 \cdot 10^9}$$

$$t_{dec} = 48,8232 \mu s$$

c.) Perhitungan delay total pada arah *upstream*

$$t_{proc} = 97,6463 + 48,8232$$

$$t_{proc} = 146,4695 \mu s$$

5.9.2 Perhitungan Delay Transmisi

Delay akibat proses transmisi adalah waktu dimana antara waktu pertama dan terakhir bit dari paket ditransmisikan. Durasi frame dari GEM adalah fix sebesar 125 μs (Sami Lallukka & Pertti Raatikainen, 2006 : 38) , sehingga *delay* transmisi pada jaringan GPON adalah sebesar 125 μs (Martin Reisslein dkk., 2007 : 6) .

$$t_{transmisi} = 125 \mu s$$

5.9.3 Perhitungan Delay Antrian

Perhitungan delay antrian dilakukan pada arah downstream dan upstream, dimana untuk arah downstream untuk layanan *triple play* layanan yang tersedia adalah layanan telepon, data, dan video, sedangkan untuk arah *upstream* layanan yang tersedia hanya telepon dan data sehingga untuk menganalisis suatu delay antrian diasumsikan pengguna menggunakan layanan secara bersamaan.

5.9.3.1 Perhitungan Delay Antrian Pada Arah Downstream

Untuk perhitungan *delay* antrian pada arah *downstream* didapatkan parameter-parameter sebagai berikut:

- Bw Layanan Telepon = 64 kbps = 64000 bps
- Bw Layanan Data / Internet = 2 Mbps = 2000000 bps
- Bw Layanan Video Over IP = 20 Mbps = 20000000 bps
- Ukuran Paket data Telepon (P_{size}) = 160 byte
- Ukuran Paket data Internet (P_{size}) = 1452 byte
- Ukuran Paket data Video Over IP (P_{size}) = 1356 byte
- Bit rate Transmisi (C) = $2,488 \times 10^9 =$ bps

- Panjang paket (L) = ukuran maksimum GTC layer pada arah downstream – payload pada arah downstream – payload pada arah upstream + GEM header pada setiap layanan

$$L = 38.880 - 2.968 - 1.612 + (3 \times 180)$$

$$L = 34840 \text{ Byte}$$

- a.) Perhitungan Total Paket yang Dibangkitkan:

$$P_{\text{telepon}} = \frac{B_{\text{telepon}}}{P_{\text{size}}} = \frac{64000}{160 \times 8} = 50 \frac{\text{paket}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{data/Internet}} = \frac{B_{\text{Data}}}{P_{\text{size}}} = \frac{2000000}{1452 \times 8} = 172,1763 \frac{\text{paket}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{Video Over IP}} = \frac{B_{\text{video}}}{P_{\text{size}}} = \frac{20000000}{1356 \times 8} = 1843,7 \frac{\text{paket}}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_{\text{telepon}} + P_{\text{data}} + P_{\text{video}} \\ &= 50 + 172,1763 + 1843,7 \end{aligned}$$

$$P_{\text{total}} = 2065,8 \text{ Paket/s}$$

- b.) Perhitungan Rata – Rata Kedatangan Paket Pada OLT:

$$\lambda = \frac{m}{t}, \text{ dimana "m" merupakan total paket yang dibangkitkan dalam "t"}$$

$$1 \text{ second}$$

$$\lambda = \frac{2065,8}{1}$$

$$\lambda = 2065,8 \text{ paket/s}$$

- c.) Perhitungan Rata – Rata Pelayanan

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

$$\mu = \frac{2,488 \cdot 10^9}{34840 \times 8 \text{ bit}}$$

$$\mu = 8.926,5 \text{ Paket /s}$$

d.) Perhitungan Performansi Sistem

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

$$\rho = \frac{2065,8}{8.926,5}$$

$$\rho = 0.2314$$

e.) Perhitungan Waktu Pelayanan Rata-Rata

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

$$\bar{X} = \frac{1}{8.926,521 \text{ Paket/s}}$$

$$\bar{X} = 112,026 \mu\text{s}$$

$$\bar{X}^2 = 12,5498 \text{ ns}$$

f.) Perhitungan Total Waktu Tunggu Antrian Dalam Arah Downstream

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

$$T_{\text{downstream}} = 112,026 \cdot 10^{-6} + \frac{2065,8 \frac{\text{paket}}{\text{s}} \cdot 12,5498 \cdot 10^{-9}}{2(1 - 0,2314)}$$

$$T_{\text{downstream}} = 128,8919 \mu\text{s}$$

5.9.3.2 Perhitungan Delay Antrian Pada Arah Upstream

Untuk perhitungan delay antrian pada arah downstream didapatkan parameter-parameter sebagai berikut:

- Bw Layanan Telepon = 64 kbps = 64000 bps
- Bw Layanan Data / Internet = 2 Mbps = 2000000 bps

- Ukuran Paket data Telepon (P_{size}) = 160 byte
- Ukuran Paket data Internet (P_{size}) = 1452 byte
- Bit rate Transmisi (C) = $1,244 \times 10^9$ bps
- Panjang paket (L) = ukuran maksimum GTC layer pada arah upstream – payload pada arah *downstream* – payload pada arah *upstream* + GEM header pada setiap layanan

$$L = 19.440 - 13 - 2.968 - 1.612 + (3 \times 110) + 7$$

$$L = 15184 \text{ byte}$$

a.) Perhitungan Total Paket yang Dibangkitkan:

$$P_{telepon} = \frac{B_{telepon}}{P_{size}} = \frac{64000}{160 \times 8} = 50 \frac{\text{paket}}{s}$$

$$P_{data/Internet} = \frac{B_{Data}}{P_{size}} = \frac{2000000}{1452 \times 8} = 172,1763 \frac{\text{paket}}{s}$$

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{telepon} + P_{data} \\ &= 50 + 172,1763 \end{aligned}$$

$$P_{total} = 222,1763 \text{ Paket/s}$$

b.) Perhitungan Rata – Rata Kedatangan Paket Pada OLT:

$$\lambda = \frac{m}{t}, \text{ dimana "m" merupakan total paket yang dibangkitkan dalam "t"}$$

$$1 \text{ second}$$

$$\lambda = \frac{222,1763}{1}$$

$$\lambda = 222,1763 \text{ paket/s}$$

c.) Perhitungan Rata – Rata Pelayanan

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

$$\mu = \frac{1,244 \cdot 10^9}{15184 \times 8 \text{ bit}}$$

$$\mu = 10.241 \text{ Paket /s}$$

d.) Perhitungan Performansi Sistem

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

$$\rho = \frac{222,1763}{10,241}$$

$$\rho = 0.0217$$

e.) Perhitungan Waktu Pelayanan Rata-Rata

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

$$\bar{X} = \frac{1}{10,241,04 \text{ Paket/s}}$$

$$\bar{X} = 97,65 \mu\text{s}$$

$$\bar{X}^2 = 9,5348 \text{ ns}$$

f.) Perhitungan Total Waktu Tunggu Antrian Dalam Arah *Upstream*

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

$$T_{upstream} = 97,65 \cdot 10^{-6} + \frac{222,1763 \frac{\text{paket}}{\text{s}} \cdot 9,5348 \cdot 10^{-9}}{2(1 - 0,0217)}$$

$$T_{upstream} = 98,7290 \mu\text{s}$$

5.9.4 Perhitungan Delay Propagasi

Pada Analisis *delay* propagasi dilakukan analisis *delay* propagasi yang terjadi pada ONU 2 sebab pada propagasi jarak terjauh yaitu pada jarak ONU 2 yaitu (4,506 km), sehingga kita dapatkan parameter – parameter untuk perhitungan *delay* propagasi adalah sebagai berikut:

- Kecepatan Rambat Cahaya (c) = 3×10^8 m/s
- Indeks bias fiber optic (n) = 1,4682 (Pada Lampiran VI)
- Jarak ONU 2 (s) = 4,506 km

a.) Perhitungan kecepatan cahaya dalam serat optik

Menurut konsep perambatan cahaya di media non hampa, kita dapatkan :

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

$$v = \frac{3 \times 10^8}{1,4682}$$

$$v = 2,0433 \times 10^8 \text{ m/s}$$

b.) Perhitungan *Delay Propagasi*

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

$$D_{prop} = \frac{4506}{2,0433 \times 10^8}$$

$$D_{prop} = 22, 0524 \mu\text{s}$$

Maka didapatkan *delay total end to end* pada jarak terjauh, yakni ONU 2 adalah sebagai berikut:

$$D_{end\ to\ end} = D_{proc} + D_{trans} + D_{qu} + D_{prop}$$

$$D_{end\ to\ end} = (336,0772 + 146,4695) + 125 + (128,8919 + 98,7290) + (2 \times 22,0524)$$

$$D_{end\ to\ end} = 879, 2722 \mu\text{s}$$

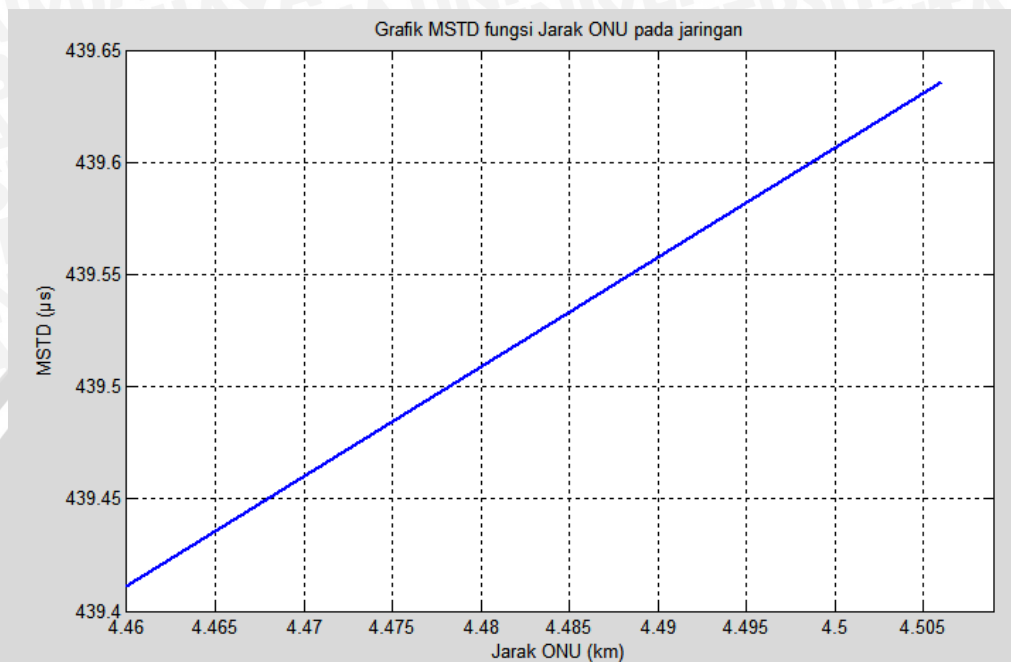
Sehingga untuk perhitungan *Mean signal transfer delay (MSTD)* :

$$MSTD = \frac{D_{end\ to\ end}}{2}$$

$$MSTD = \frac{879,2722 \mu\text{s}}{2}$$

$$MSTD = 439, 6361 \mu\text{s}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa jaringan ini sangat layak untuk dilakukan perancangan sebab menurut standart ITU-T G.984.1 MSTD pada GPON harus kurang dari 1,5 ms, sehingga didapatkan grafik sebagai berikut



Gambar 5.16 Grafik *Mean Signal Transfer Delay* (MSTD) fungsi Jarak ONU pada setiap panjang gelombang

(Sumber : Perhitungan, 2012)

Dari grafik diatas maka dapat disimpulkan bahwa *Mean Signal Transfer Delay* (MSTD) berbanding lurus dengan jarak ONU, maka ketika jarak ONU semakin besar maka MSTD nya pun semakin besar pula, hal tersebut berkaitan dengan persamaan yang digunakan yakni ketika jarak transmisi nya semakin besar maka delay propagasi nya akan semakin besar pula sehingga delay end to end nya akan semakin besar pula, dan MSTD nya akan semakin besar pula