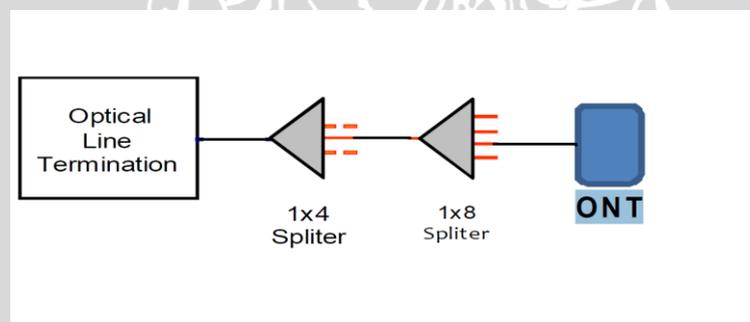


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perencanaan Konfigurasi Jaringan

Perancangan jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) mengambil lokasi di Perumahan Permata Jingga *West Area* Kota Malang. Jumlah pelanggan pada kawasan tersebut adalah 388 rumah. Setiap rumah yang ada pada kawasan tersebut memiliki satu ONT untuk setiap masing – masing rumah. Fungsi dari ONT pada masing – masing rumah adalah untuk merubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik. OLT yang menghubungkan antara ONT dengan jaringan *backbone* diletakkan di *Central Office* Blimbing Kota Malang. Komponen utama dalam perencanaan jaringan FTTH ini terdiri dari tiga bagian yakni OLT, ODN, dan ONT. Komponen lain yang turut mempengaruhi unjuk kerja dari jaringan seperti *link power budget* dan *link rise time budget* adalah konektor, *splitter*, *WDM coupler*, *splicer* dan serat optik. Gambar 4.1 memperlihatkan konfigurasi jaringan yang digunakan pada perencanaan FTTH di Perumahan Permata Jingga *West Area* Kota Malang.



**Gambar 4.1** Konfigurasi Jaringan FTTH Perumahan Permata Jingga Kota Malang  
(Sumber : Perencanaan, 2014)

- **Spesifikasi OLT**

*Optical Line Terminal* (OLT) merupakan perangkat yang berfungsi sebagai penghubung antara jaringan akses dengan jaringan utama. OLT diletakkan di kantor *Central Office* Blimbing Kota Malang. OLT yang digunakan memiliki kecepatan transfer data sebesar 2,488 Gbps untuk transmisi arah *downstream* dan 1,244 Gbps untuk transmisi arah *upstream* (*Datasheet* Telnet GPON-OLT, 2011: 3). Spesifikasi OLT yang digunakan adalah Telnet GPON OLT yang telah memenuhi standar ITU-T G.984 *Series*.

- **Spesifikasi ONT**

*Optical Network Unit* (ONT) merupakan perangkat yang berfungsi merubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik. ONT diletakkan pada masing – masing rumah pelanggan. ONT yang digunakan adalah Huawei HG 8010 yang telah memenuhi standar ITU-TG.984 *Series* (*Datasheet* Huawei HG 1080,2011: 2).

- **Spesifikasi ODN**

*Optical Distribution Network* (ODN) merupakan perangkat yang menghubungkan OLT dengan ONT. Komponen yang ada dalam ODN adalah *splitter*, konektor SC dan konektor LC, dan WDM *coupler*.

- **Transceiver optik pada OLT**

*Transceiver* optik yang digunakan pada OLT adalah RTX167-526 yang diproduksi oleh Wuhan Telecommunication Devices Co. Ltd. *Transceiver* ini telah sesuai dengan standar ITU-T G.984.2. Laser DFB digunakan pada *transceiver* ini untuk mentransmisikan data sedangkan APD digunakan untuk menerima data dari ONT (*Datasheet* RTX167-526, 2012: 3).

- **Transceiver optik pada ONT**

*Transceiver* optik yang digunakan pada ONT adalah ITR-D3T-SD6-4 yang diproduksi oleh *Source Photonics*. *Transceiver* ini menggunakan DFB *laser diode* untuk mentransmisikan sinyal. Sedangkan APD digunakan untuk menerima sinyal yang dikirim oleh OLT (*Datasheet* ITR-D3T-SD6-4, 2010: 3).

- **Konektor**

Konektor yang digunakan dalam perencanaan jaringan FTTH ini ada dua jenis yakni konektor tipe LC dan konektor tipe SC. Konektor LC yang digunakan diproduksi oleh Huber+Suhner (*Datasheet LC Connector Family*, 2004: 3). Konektor tipe SC diproduksi oleh RiT Technologies Ltd (*Datasheet SC Fiber Optics Connectors and Adapters*, 2007: 1). Kedua tipe konektor yang digunakan memiliki *insertion loss* sebesar 0,3 dB.

- **Serat Optik**

Serat optik yang digunakan dalam perencanaan jaringan FTTH ini adalah serat optik jenis *singlemode*. Serat optik yang digunakan telah disesuaikan dengan standat ITU-T G.652.D. Serat optik yang digunakan diproduksi oleh Draka Communcations. Data – data yang didapatkan dari *datasheet* serat optik antara lain rugi – rugi serat optik pada panjang gelombang 1310 nm adalah 0,35 dB/km, pada panjang gelombang 1490

nm adalah 0,25 dB/km dan pada panjang gelombang 1550 nm adalah 0,21 dB/km (*Datasheet Enhanced Single-Mode Optical Fiber G.652.D. 2007: 2*).

- **Splitter**

*Splitter* berfungsi untuk membagi daya yang ada dalam sinyal optik untuk dikirimkan ke ONT. *Splitter* yang digunakan dalam perencanaan jaringan FTTH ini ada dua yakni *splitter* 1:4 dan *splitter* 1:8. *Splitter* 1:4 memiliki *insertion loss* sebesar 7,3 dB (*Datasheet PLCS-0104 Series.2008: 1*). *Splitter* 1:8 memiliki *insertion loss* sebesar 10,8 dB (*Datasheet PLCS-0108 Series.2008: 1*).

- **WDM Coupler**

WDM *Coupler* digunakan untuk memisahkan dan menggabungkan sinyal *downstream* dan *upstream* pada sistem PON. WDM *Coupler* yang digunakan sebanyak dua buah dari Diamond SA. WDM *coupler* yang digunakan memiliki *insertion loss* sebesar 0,7 dB (*Datasheet Singlemode Coupler WDM 1310 nm and 1550 nm. 2007: 2*).

- **Splicer**

*Splicer* berfungsi untuk menyambungkan serat optik. Jumlah *splicing* yang dilakukan dalam perencanaan jaringan FTTH ini adalah sebanyak satu kali dengan *insertion loss* sebesar 0,1 dB. Teknik yang digunakan dalam *splicing* adalah teknik *fusion splice*.

#### 4.2 Perhitungan *Bandwidth* yang Dibutuhkan Pelanggan

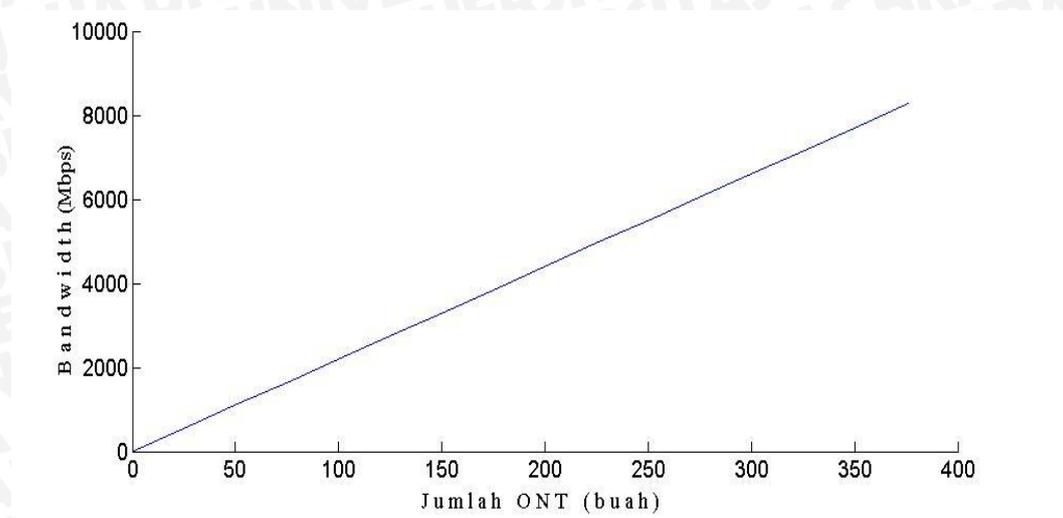
Lokasi perencanaan jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) adalah Perumahan Permata Jingga West Area yang memiliki jumlah rumah sebanyak 388 rumah. Setiap rumah yang ada pada lokasi tersebut memiliki satu ONT. Perhitungan *bandwidth* yang dibutuhkan pelanggan mengacu pada jenis layanan yang dibutuhkan pelanggan dalam hal ini adalah layanan data, layanan suara, dan layanan video atau *triple play*. Besar *bandwidth* yang dibutuhkan masing – masing layanan adalah sebagai berikut :

- |    |                      |           |
|----|----------------------|-----------|
| 1. | Telepon              | : 64 kbps |
| 2. | Data                 | : 2 Mbps  |
| 3. | Video Over IP (HDTV) | : 20 Mbps |

Sehingga jika semua pelanggan menggunakan semua jenis layanan *triple play* maka total *bandwidth* yang dibutuhkan adalah

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan Bandwidth} &= 388 \times (0,064+2+20) \\ &= 8,560832 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

Grafik 4.1 memperlihatkan variasi total kebutuhan *bandwidth* pelanggan dibandingkan dengan jumlah pelanggan.



**Grafik 4.1** Grafik total *bandwidth* yang dibutuhkan pelanggan terhadap jumlah pelanggan  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.1 dapat digunakan untuk memperkirakan kebutuhan *bandwidth* pelanggan jika jumlah pelanggan bertambah. Faktor – faktor yang mempengaruhi kenaikan *bandwidth* yang dibutuhkan pelanggan ada dua yakni jumlah pelanggan dan jenis layanan yang digunakan. Semakin banyak jumlah pelanggan maka total *bandwidth* yang dibutuhkan juga semakin meningkat. Faktor kedua adalah jenis layanan yang digunakan, layanan video (SDTV) membutuhkan *bandwidth* yang berbeda dengan layanan suara (*voice*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

### 4.3 Perhitungan *Link Power Budget*

Parameter *link power budget* menunjukkan perbedaan level daya yang diperbolehkan antara pemancar dan penerima. Nilai *link power budget* bergantung pada panjang gelombang yang digunakan. Perencanaan jaringan FTTH ini menggunakan tiga panjang gelombang yang berbeda yakni 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, sehingga perhitungan *link power budget* dilakukan pada ketiga panjang gelombang tersebut.

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

Panjang gelombang 1310 nm digunakan untuk kanal *upstream* dimana ONT sebagai pemancar dan OLT sebagai penerima. Data – data yang dibutuhkan untuk menghitung *link power budget* pada panjang gelombang 1310 nm adalah sebagai berikut :

- a. Pemancar (ONT)  
Daya pemancar = 5 dBm
- b. Penerima (OLT)  
Sensitivitas Penerima = -32 dBm
- c. *Splitter*  
Rugi – rugi *splitter* 1:4 = 7.30 dB  
Rugi – rugi *splitter* 1:8 = 10.80 dB
- d. *WDM Coupler*  
Rugi – rugi *WDM coupler* = 0.7 dB
- e. Serat Optik  
Rugi – rugi serat optik = 0.35 dB/km
- f. Konektor  
Rugi konektor LC = 0.3 dB  
Rugi konektor SC = 0.3 dB
- g. Jarak transmisi terjauh = 4,0855 km
- h. Rugi – rugi sambungan (*splicing*) = 0.1 dB
- i. Jumlah sambungan = 1

Perhitungan *link power budget* dimulai dengan menghitung redaman total pada panjang gelombang 1310 nm, yakni

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

$$a_{\text{total}} = (0,35 \times 4,0855) + (1 \times 0,1) + (7 \times 0,3) + 7,3 + 10,8 + (2 \times 0,7)$$

$$a_{\text{total}} = 23,1299 \text{ dB}$$

*Power budget* pada panjang gelombang 1310 nm dengan jarak 4,0855 km adalah

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 5 - (-32)$$

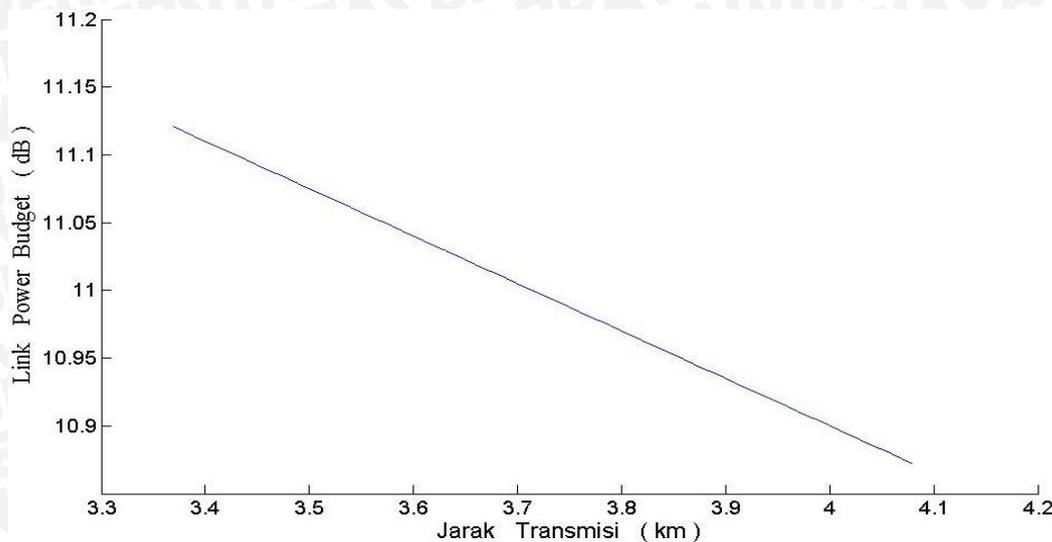
$$P_t = 37 \text{ dB}$$

*Margin system* pada panjang gelombang 1310 nm adalah

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

$$M = (5 - (-32)) - 23,1299 - 3 \text{ dB}$$

$$M = 10,87 \text{ dB}$$



**Grafik 4.2** Grafik *Link Power Budget* pada panjang gelombang 1310 nm  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.2 memperlihatkan penurunan nilai *link power budget* linier dengan bertambahnya jarak transmisi. Faktor – faktor yang menyebabkan penurunan nilai *link power budget* ada tiga. Pertama adalah nilai *power budget*, yakni perbedaan level daya antara pengirim dan penerima sesuai dengan Persamaan 2.1. Kedua adalah nilai rugi serat optik pada panjang gelombang 1310 nm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 nilai rugi – rugi serat optik pada panjang gelombang 1310 nm adalah sekitar 0,35 dB/km. Rugi – rugi serat optik akan bertambah seiring dengan bertambahnya jarak transmisi sesuai dengan Persamaan 2.2.

#### 4.3.2 *Link Power Budget* pada Panjang Gelombang 1490 nm

Panjang gelombang 1490 nm digunakan untuk kanal *downstream* dimana OLT sebagai pemancar dan ONT sebagai penerima. Data – data yang dibutuhkan untuk menghitung *link power budget* pada panjang gelombang 1490 nm adalah sebagai berikut :

- a. Pemancar (OLT)  
Daya pemancar = 3 dBm
- b. Penerima (ONT)  
Sensitivitas Penerima = -28 dBm
- c. *Splitter*  
Rugi – rugi *splitter* 1:4 = 7.30 dB  
Rugi – rugi *splitter* 1:8 = 10.80 dB
- d. *WDM Coupler*

Rugi – rugi WDM *coupler* = 0.7 dB

e. Serat Optik

Rugi – rugi serat optik = 0.25 dB/km

f. Konektor

Rugi konektor LC = 0.3 dB

Rugi konektor SC = 0.3 dB

g. Rugi – rugi sambungan (*splicing*) = 0.1 dB

h. Jumlah sambungan = 1

Perhitungan *link power budget* dimulai dengan menghitung redaman total pada panjang gelombang 1490 nm, yakni

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

$$a_{\text{total}} = (0,25 \times 4,0855) + (1 \times 0,1) + (7 \times 0,3) + 7,3 + 10,8 + (2 \times 0,7)$$

$$a_{\text{total}} = 22,72138 \text{ dB}$$

*Power budget* pada panjang gelombang 1490 nm dengan jarak 4,0855 km adalah

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 3 - (-28)$$

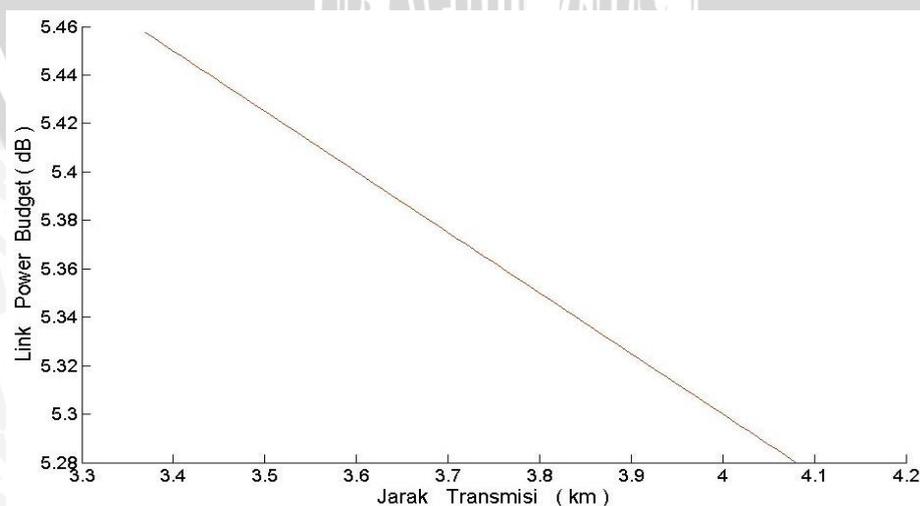
$$P_t = 31 \text{ dB}$$

*Margin system* pada panjang gelombang 1490 nm adalah

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

$$M = (3 - (-28)) - 23,1299 - 3 \text{ dB}$$

$$M = 5,2786 \text{ dB}$$



**Grafik 4.3** Grafik *Link Power Budget* pada panjang gelombang 1490 nm

(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.3 menunjukkan perubahan nilai *link power budget* pada panjang gelombang 1490 nm. Perbedaan nilai *link power budget* pada panjang gelombang 1490 nm dengan 1310 nm terjadi karena perbedaan rugi – rugi pada kedua panjang gelombang tersebut. Rugi – rugi serat optik pada panjang gelombang 1490 nm adalah 0.25 dB/km sedangkan pada panjang gelombang 1310 nm adalah 0,35 dB/km. Faktor lain yang mempengaruhi adalah perbedaan nilai *power budget*. *Power budget* pada panjang gelombang 1490 nm adalah 31 dB sedangkan pada panjang gelombang 1310 nm adalah 37 dB.

#### 4.3.3 Link Power Budget pada Panjang Gelombang 1550 nm

Panjang gelombang 1550 nm digunakan untuk transmisi video dimana OLT sebagai pemancar dan ONT sebagai penerima. Data – data yang dibutuhkan untuk menghitung *link power budget* pada panjang gelombang 1550 nm adalah sebagai berikut :

- a. Pemancar (ONT)  
Daya pemancar = 6 dBm
- b. Penerima (OLT)  
Sensitivitas Penerima = -28 dBm
- c. Splitter  
Rugi – rugi *splitter* 1:4 = 7.30 dB  
Rugi – rugi *splitter* 1:8 = 10.80 dB
- d. WDM Coupler  
Rugi – rugi WDM *coupler* = 0.7 dB
- e. Serat Optik  
Rugi – rugi serat optik = 0.21 dB/km
- f. Konektor  
Rugi konektor LC = 0.3 dB  
Rugi konektor SC = 0.3 dB
- g. Rugi – rugi sambungan (*splicing*) = 0.1 dB
- h. Jumlah sambungan = 1

Perhitungan *link power budget* dimulai dengan menghitung redaman total pada panjang gelombang 1550 nm, yakni

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

$$a_{\text{total}} = (0,21 \times 4,0855) + (1 \times 0,1) + (7 \times 0,3) + 7,3 + 10,8 + (2 \times 0,7)$$

$$a_{\text{total}} = 22,55796 \text{ dB}$$

*Power budget* pada panjang gelombang 1550 nm dengan jarak 4,0855 km adalah

$$P_t = P_s - P_r$$

$$P_t = 6 - (-28)$$

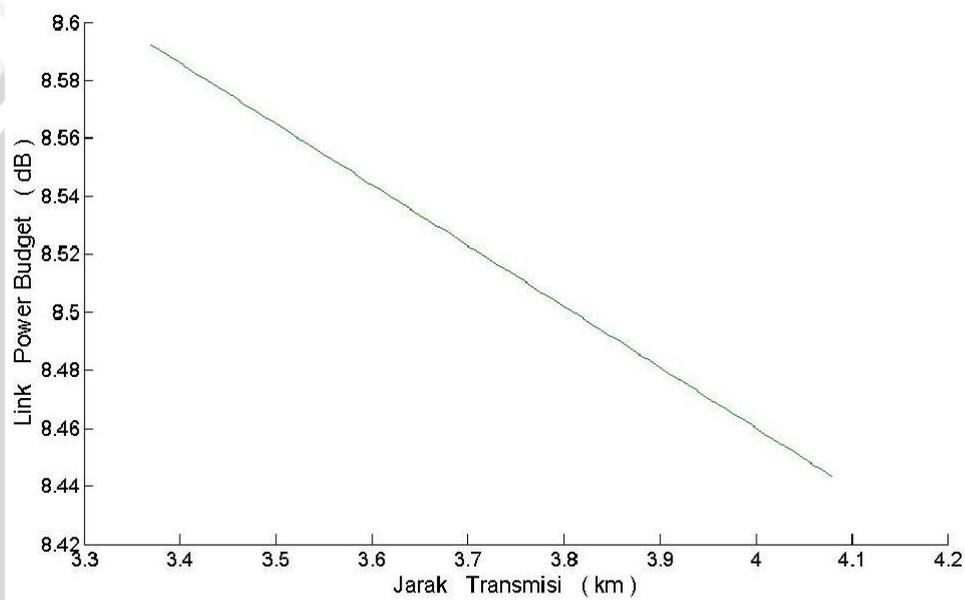
$$P_t = 34 \text{ dB}$$

*Margin system* pada panjang gelombang 1550 nm adalah

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

$$M = (6 - (-28)) - 22,55796 - 3 \text{ dB}$$

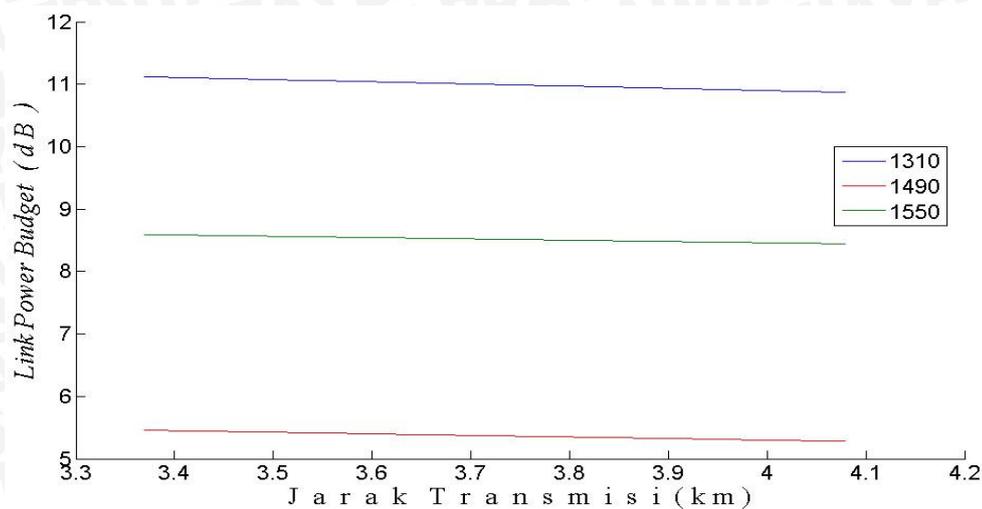
$$M = 8,4420 \text{ dB}$$



**Grafik 4.4** Grafik *Link Power Budget* pada panjang gelombang 1550 nm  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Panjang gelombang 1550 nm memiliki nilai *link power budget* antara 8,42 dB hingga 8,62 dB seperti yang terlihat pada Grafik 4.4. Perbedaan nilai *link power budget* pada ketiga panjang gelombang yang digunakan disebabkan oleh rugi – rugi serat optik pada ketiga panjang gelombang tersebut berbeda – beda. Panjang gelombang 1550 nm memiliki nilai rugi – rugi sebesar 0,21 dB/km. Rugi rugi serat optik pada panjang gelombang 1550 nm merupakan rugi – rugi yang terkecil sehingga digunakan untuk transmisi video *broadcast* analog yang membutuhkan daya yang tinggi.

Grafik 4.5 menunjukkan nilai *link power budget* untuk semua panjang gelombang dengan jarak transmisi yang berbeda – beda.



**Grafik 4.5** Grafik nilai *link power budget* terhadap jarak transmisi  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Seperti yang ditunjukkan pada Grafik 4.5, terlihat bahwa nilai *link power budget* pada setiap panjang gelombang akan berbeda. Hal ini dikarenakan nilai rugi serat optik pada setiap panjang gelombang berbeda – beda sehingga nilai redaman total juga akan berubah. Perbedaan nilai rugi – rugi ini disebabkan adanya ion  $\text{OH}^-$  dalam bahan serat optik ketika proses fabrikasi. Ion  $\text{OH}^-$  tersebut akan menyerap energi yang melewati serat optik bergantung pada panjang gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Panjang gelombang 1310 nm memiliki nilai rugi – rugi tersebut karena ketidakmurnian bahan serat optik yang digunakan mencapai nilai puncak pada panjang gelombang ini. Faktor lain yang mempengaruhi penurunan nilai *link power budget* adalah jarak transmisi. Peningkatan jarak transmisi akan meningkatkan nilai redaman total sehingga mengurangi *link power budget* dalam jaringan. Hal ini sesuai dengan Persamaan 2.3.

#### 4.4 Perhitungan *Link Rise Time Budget*

Parameter *link rise time budget* menunjukkan nilai batas dispersi pada jaringan serat optik. Perhitungan *link rise time budget* bergantung pada *rise time* dari pemancar dan penerima optik. Selain itu juga dipengaruhi *rise time* dispersi intramodal dan *rise time polarization mode dispersion* ( $t_{\text{PMD}}$ ). Perhitungan dilakukan pada tiga panjang gelombang yang digunakan yakni 1310 nm, 1490 nm dan 1550 nm.

##### 4.4.1 *Link Rise Time Budget* pada Panjang Gelombang 1310 nm

Perhitungan *Link Rise Time Budget* dilakukan pada tiga panjang gelombang yang digunakan, salah satunya pada panjang gelombang 1310 nm. Panjang gelombang 1310

nm digunakan untuk transmisi *upstream* antara ONT dengan OLT. Data – data yang dibutuhkan untuk transmisi pada panjang gelombang 1310 nm adalah

1. *Rise time* pemancar optik = 250 ps
2. *Rise Time* penerima optik = 5 ps
3. Jarak maksimum (D) = 4,08552 km
4. Koefisien dispersi kromatis ( $D_{cd}$ ) = 3 ps/nm.km
5. Lebar spektrum sumber optik ( $\Delta\lambda$ ) = 1 nm
6. Kecepatan cahaya (c) =  $3 \times 10^8$  m/s
7. Indeks bias inti ( $n_1$ ) = 1,468
8. Indeks bias *cladding* ( $n_2$ ) = 1,467
9. Koefisien dispersi PMD ( $D_{PMD}$ ) = 0.1 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
10. Diameter inti (a) = 8,2  $\mu\text{m}$

Perhitungan *link rise time budget* dilakukan dengan menghitung nilai – nilai suku – suku yang ada pada Persamaan 2.5, yakni :

1. *Rise time* dispersi intramodal

- a. Dispersi Kromatis

$$t_{CD} = |D_{CD}| D \Delta\lambda$$

$$t_{CD} = 3 \times 4,08552 \times 1$$

$$t_{CD} = 12, 25656 \text{ ps}$$

- b. Dispersi pandu gelombang (*waveguide*)

- Perhitungan  $\Delta s$

$$\Delta s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta s = \frac{1,468 - 1,467}{1,468}$$

$$\Delta s = 0,000681$$

- Perhitungan frekuensi ternormalisasi

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

$$v = \frac{2 \times 3,14}{1310 \times 10^{-9}} \times 8,2 \times 10^{-6} \times 1,468 \times \sqrt{2 \cdot 0,000681}$$

$$v = 2,13 \text{ Hz}$$

- Perhitungan koefisien dispersi

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 2,13v)}{2,13^2}$$

$$D_w = 0,215$$

- Perhitungan *Rise time* dispersi pandu gelombang

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

$$\tau_w = \frac{4,0855}{3 \times 10^8 \times 1310 \times 10^{-9}} \times (1,468 - 1,467) \times 0,215 \times 1 \times 10^{-9}$$

$$\tau_w = 2,23524 \text{ ps}$$

Nilai dari dispersi intramodal adalah

$$t_{\text{intra}} = \tau_{\text{CD}} + \tau_w$$

$$t_{\text{intra}} = 12,25656 + 2,23524$$

$$t_{\text{intra}} = 14,4918 \text{ ps}$$

## 2. *Rise time* PMD

$$t_{\text{PMD}} = D_{\text{PMD}} \times \sqrt{D}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,1 \times \sqrt{4,08552}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,2021 \text{ ps}$$

Perhitungan *link rise time budget* untuk panjang gelombang 1310 nm menggunakan Persamaan 2.5, yakni

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

$$t_{\text{sys}} = (250^2 + 0^2 + 14,4918^2 + 0,2021^2 + 5^2)^{1/2}$$

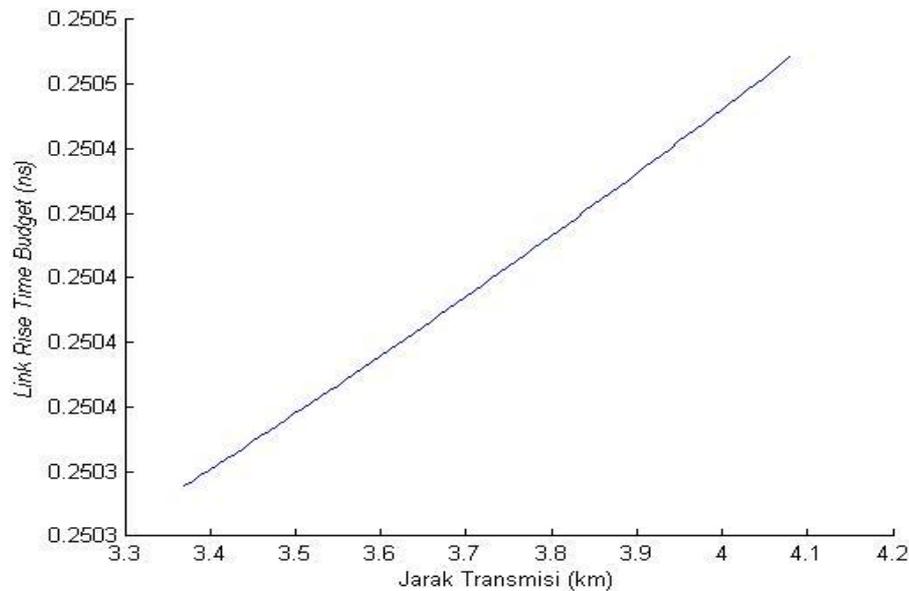
$$t_{\text{sys}} = 0,2504 \text{ ns}$$

Sehingga nilai dari laju bit maksimum adalah

$$Br_{\text{sys}} = \frac{0.7}{t_{\text{sys}}}$$

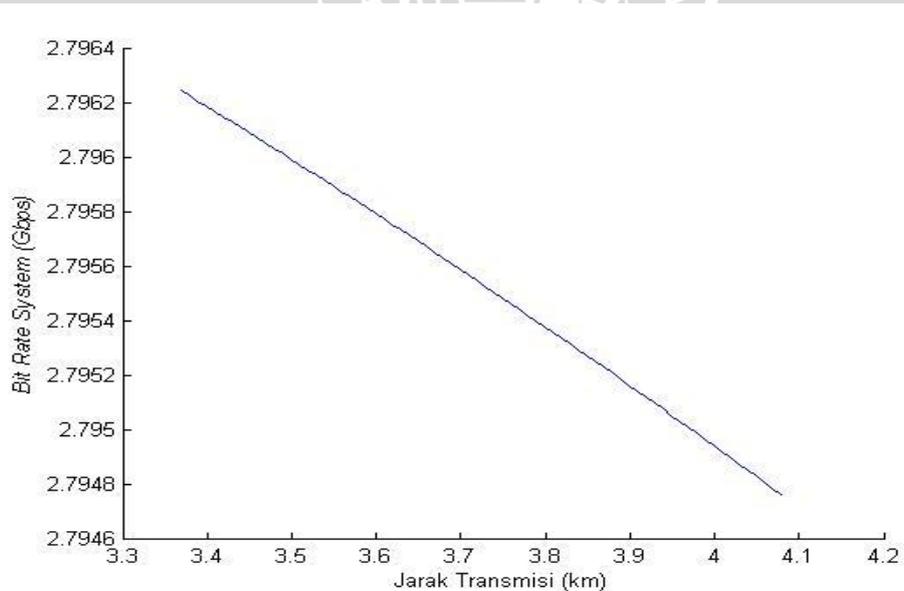
$$Br_{\text{sys}} = \frac{0.7}{0,250469 \times 10^{-9}}$$

$$Br_{\text{sys}} = 2,794 \text{ Gbps}$$



**Grafik 4.6** Grafik nilai *Link Rise Time Budget* pada panjang gelombang 1310 nm  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.6 memperlihatkan nilai *link rise time budget* yang mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jarak transmisi. Jarak transmisi memiliki peranan yang signifikan dalam perhitungan *link rise time budget* sesuai dengan Persamaan 2.8, 2.9, dan 2.14. Selain jarak transmisi, faktor lain yang mempengaruhi adalah dispersi kromatis yang memiliki nilai berbeda untuk setiap panjang gelombangnya. Panjang gelombang 1310 nm memiliki dispersi kromatis sebesar 3 ps/km.nm.



**Grafik 4.7** Grafik nilai *Bit Rate System* pada panjang gelombang 1310 nm  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.7 memperlihatkan nilai *bit rate system* pada panjang gelombang 1310 nm yang nilainya mengalami penurunan dengan bertambahnya jarak transmisi. Hubungan nilai *bit rate system* dengan *link rise time budget* adalah berbanding terbalik seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.7 sehingga semakin besar nilai *link rise time budget* maka nilai *bit rate system* akan semakin kecil.

#### 4.4.2 Link Rise Time Budget pada Panjang Gelombang 1490 nm

Perhitungan *Link Rise Time Budget* dilakukan pada tiga panjang gelombang yang digunakan, salah satunya pada panjang gelombang 1490 nm. Panjang gelombang 1490 nm digunakan untuk transmisi *downstream* antara OLT dengan ONT. Data – data yang dibutuhkan untuk transmisi pada panjang gelombang 1490 nm adalah

1. *Rise time* pemancar optik = 150 ps
2. *Rise Time* penerima optik = 160 ps
3. Jarak maksimum (D) = 4,08552 km
4. Koefisien dispersi kromatis ( $D_{cd}$ ) = 12,75 ps/nm.km
5. Lebar spektrum sumber optik ( $\Delta\lambda$ ) = 1 nm
6. Kecepatan cahaya (c) =  $3 \times 10^8$  m/s
7. Indeks bias inti ( $n_1$ ) = 1,468
8. Indeks bias *cladding* ( $n_2$ ) = 1,467
9. Koefisien dispersi PMD ( $D_{PMD}$ ) = 0.1 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
10. Diameter inti (a) = 8,2  $\mu\text{m}$

Perhitungan *link rise time budget* dilakukan dengan menghitung nilai – nilai suku – suku yang ada pada Persamaan 2.5, yakni :

##### 1. *Rise time* dispersi intramodal

###### a. Dispersi Kromatis

$$t_{CD} = |D_{CD}| D \Delta\lambda$$

$$t_{CD} = 12,75 \times 4,08552 \times 1$$

$$t_{CD} = 52,09038 \text{ ps}$$

###### b. Dispersi pandu gelombang (*waveguide*)

- Perhitungan  $\Delta s$

$$\Delta s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta s = \frac{1,468 - 1,467}{1,468}$$

$$\Delta s = 0,000681$$

- Perhitungan frekuensi ternormalisasi

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

$$v = \frac{2 \times 3,14}{1490 \times 10^{-9}} \times 8,2 \times 10^{-6} \times 1,468 \times \sqrt{2 \cdot 0,000681}$$

$$v = 1,8726 \text{ Hz}$$

- Perhitungan koefisien dispersi

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,8726)}{1,8726^2}$$

$$D_w = 0,4250$$

- Perhitungan *Rise time* dispersi pandu gelombang

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

$$\tau_w = \frac{4,0855}{3 \times 10^8 \times 1490 \times 10^{-9}} \times (1,468 - 1,467) \times 0,4250 \times 1 \times 10^{-9}$$

$$\tau_w = 3,88456 \text{ ps}$$

Nilai dari dispersi intramodal adalah

$$t_{\text{intra}} = \tau_{\text{CD}} + \tau_w$$

$$t_{\text{intra}} = 52,09038 + 3,88456$$

$$t_{\text{intra}} = 55,97494 \text{ ps}$$

## 2. *Rise time* PMD

$$t_{\text{PMD}} = D_{\text{PMD}} \times \sqrt{D}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,1 \times \sqrt{4,08552}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,2021 \text{ ps}$$

Perhitungan *link rise time budget* untuk panjang gelombang 1490 nm menggunakan Persamaan 2.5, yakni

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

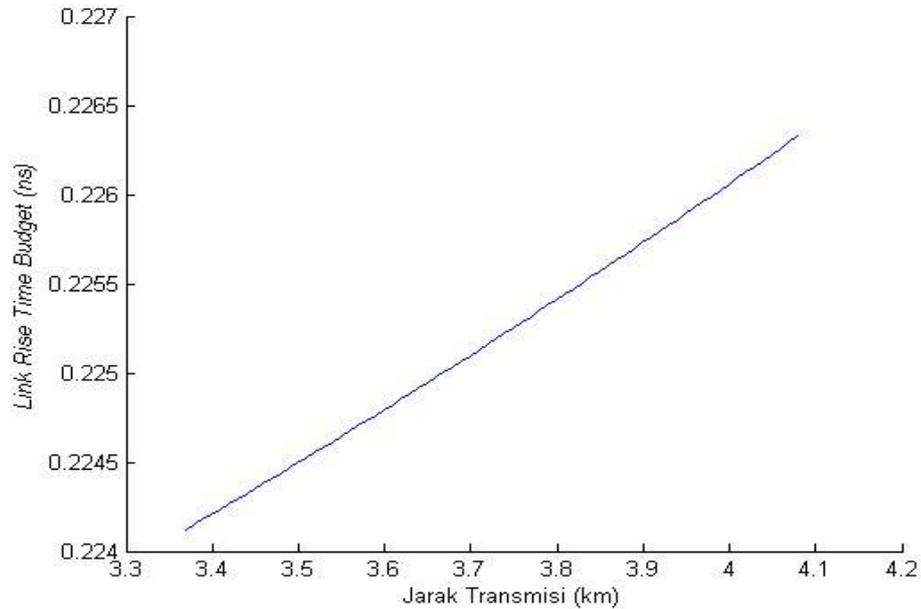
$$t_{\text{sys}} = (150^2 + 0^2 + 55,97494^2 + 0,2021^2 + 160^2)^{1/2}$$

$$t_{\text{sys}} = 0,226 \text{ ns}$$

Sehingga nilai dari laju bit maksimum adalah

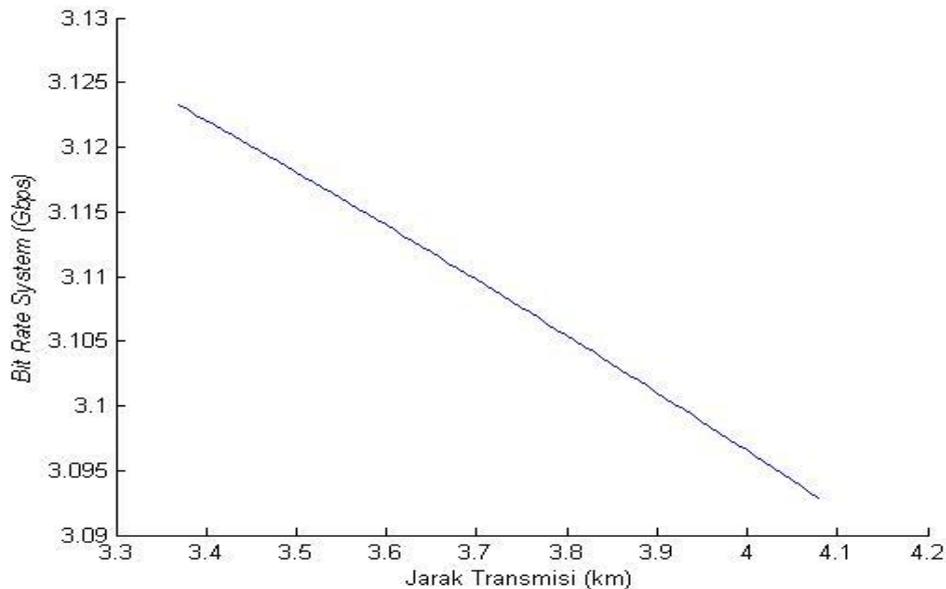
$$Br_{\text{sys}} = \frac{0.7}{t_{\text{sys}}}$$

$$Br_{\text{sys}} = \frac{0.7}{0,22634 \times 10^{-9}}$$
$$Br_{\text{sys}} = 3,0925 \text{ Gbps}$$



**Grafik 4.8** Grafik nilai *Link Rise Time Budget* pada panjang gelombang 1490 nm  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.8 memperlihatkan peningkatan nilai *link rise time budget* seiring dengan meningkatnya jarak transmisi pada panjang gelombang 1490 nm. Peningkatan nilai *link rise time budget* disebabkan oleh bertambahnya jarak transmisi sesuai dengan Persamaan 2.8, 2.9, dan 2.14. Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan antara nilai *link rise time budget* pada panjang gelombang 1310 nm dengan 1490 nm adalah dispersi kromatis pada serat optik. Dispersi kromatis pada panjang gelombang 1490 nm adalah sebesar 12,75 ps/km.nm.



**Grafik 4.9** Grafik nilai *Bit Rate System* pada panjang gelombang 1490 nm

(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.9 memperlihatkan nilai *bit rate system* pada panjang gelombang 1490 nm yang nilainya mengalami penurunan dengan bertambahnya jarak transmisi. Hubungan nilai *bit rate system* dengan *link rise time budget* adalah berbanding terbalik seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.7 sehingga semakin besar nilai *link rise time budget* maka nilai *bit rate system* akan semakin kecil.

#### 4.4.3 *Link Rise Time Budget* pada Panjang Gelombang 1550 nm

Perhitungan *Link Rise Time Budget* dilakukan pada tiga panjang gelombang yang digunakan, salah satunya pada panjang gelombang 1550 nm. Panjang gelombang 1550 nm digunakan untuk transmisi *upstream* antara OLT dengan ONT. Data – data yang dibutuhkan untuk transmisi pada panjang gelombang 1550 nm adalah

1. *Rise time* pemancar optik = 150 ps
2. *Rise Time* penerima optik = 160 ps
3. Jarak maksimum (D) = 4,08552 km
4. Koefisien dispersi kromatis ( $D_{cd}$ ) = 16,42 ps/nm.km
5. Lebar spektrum sumber optik ( $\Delta\lambda$ ) = 1 nm
6. Kecepatan cahaya (c) =  $3 \times 10^8$  m/s
7. Indeks bias inti ( $n_1$ ) = 1,468
8. Indeks bias *cladding* ( $n_2$ ) = 1,467
9. Koefisien dispersi PMD ( $D_{PMD}$ ) = 0.1 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

$$10. \text{Diameter inti (a)} = 8,2 \mu\text{m}$$

Perhitungan *link rise time budget* dilakukan dengan menghitung nilai – nilai suku – suku yang ada pada Persamaan 2.5, yakni :

1. *Rise time* dispersi intramodal

a. Dispersi Kromatis

$$t_{CD} = |D_{CD}| D \Delta \lambda$$

$$t_{CD} = 16,42 \times 4,08552 \times 1$$

$$t_{CD} = 67,08423 \text{ ps}$$

b. Dispersi pandu gelombang (*waveguide*)

- Perhitungan  $\Delta s$

$$\Delta s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta s = \frac{1,468 - 1,467}{1,468}$$

$$\Delta s = 0,000681$$

- Perhitungan frekuensi ternormalisasi

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

$$v = \frac{2 \times 3,14}{1550 \times 10^{-9}} \times 8,2 \times 10^{-6} \times 1,468 \times \sqrt{2 \cdot 0,000681}$$

$$v = 1,80019 \text{ Hz}$$

- Perhitungan koefisien dispersi

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

$$D_w = \frac{4(1 - \ln 1,80019)}{1,80019^2}$$

$$D_w = 0,50865$$

- Perhitungan *Rise time* dispersi pandu gelombang

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

$$\tau_w = \frac{4,0855}{3 \times 10^8 \times 1550 \times 10^{-9}} \times (1,468 - 1,467) \times 0,50865 \times 1 \times 10^{-9}$$

$$\tau_w = 4,46912 \text{ ps}$$

Nilai dari dispersi intramodal adalah

$$t_{intra} = \tau_{CD} + \tau_w$$

$$t_{intra} = 67,08423 + 4,46912$$

$$t_{\text{intra}} = 71,5533 \text{ ps}$$

## 2. Rise time PMD

$$t_{\text{PMD}} = D_{\text{PMD}} \times \sqrt{D}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,1 \times \sqrt{4,08552}$$

$$t_{\text{PMD}} = 0,2021 \text{ ps}$$

Perhitungan *link rise time budget* untuk panjang gelombang 1310 nm menggunakan Persamaan 2.5, yakni

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

$$t_{\text{sys}} = (150^2 + 0^2 + 71,5533^2 + 0,2021^2 + 160^2)^{1/2}$$

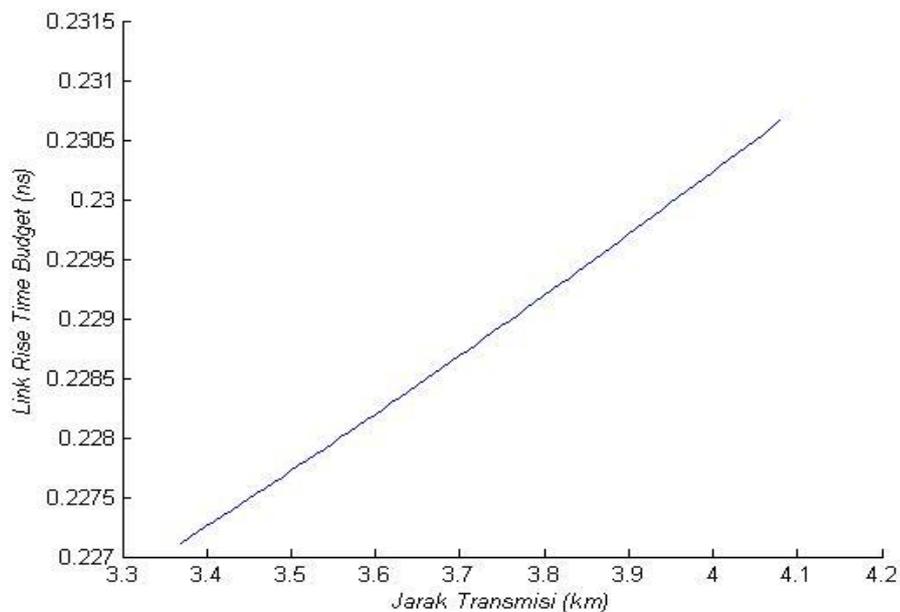
$$t_{\text{sys}} = 0,2306 \text{ ns}$$

Sehingga nilai dari laju bit maksimum adalah

$$Br_{\text{sys}} = \frac{0.7}{t_{\text{sys}}}$$

$$Br_{\text{sys}} = \frac{0.7}{0,23069 \times 10^{-9}}$$

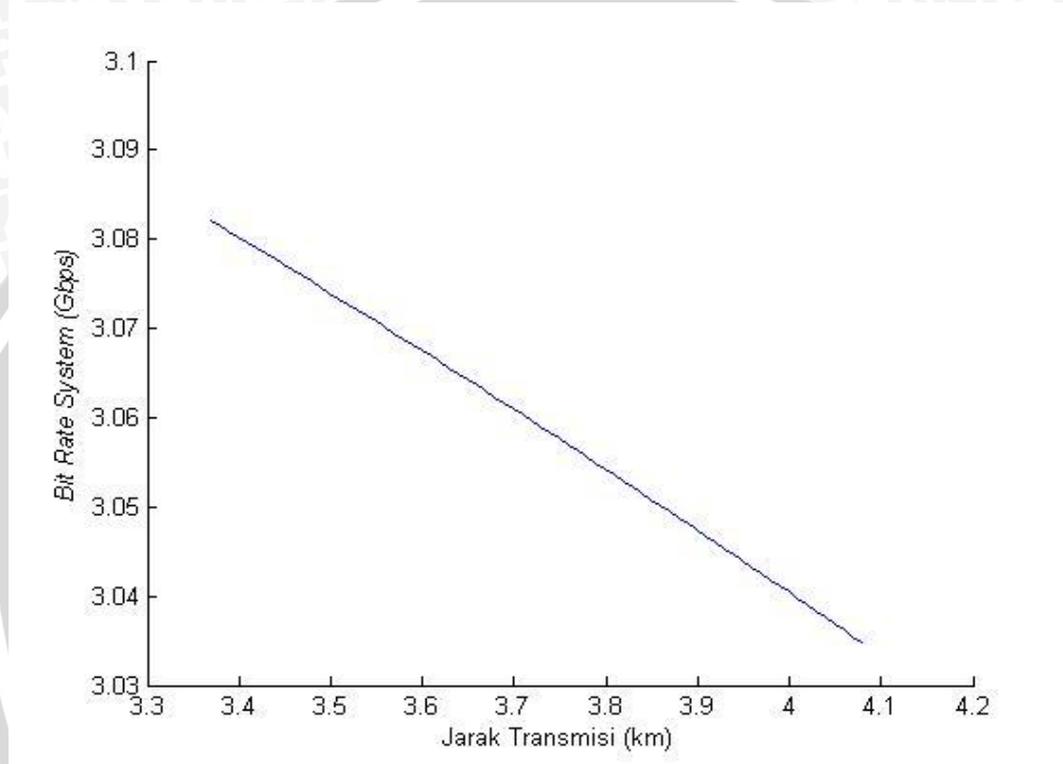
$$Br_{\text{sys}} = 3,0343 \text{ Gbps}$$



**Grafik 4.10** Grafik nilai *Link Rise Time Budget* pada panjang gelombang 1550 nm

(Sumber : Perhitungan, 2014)

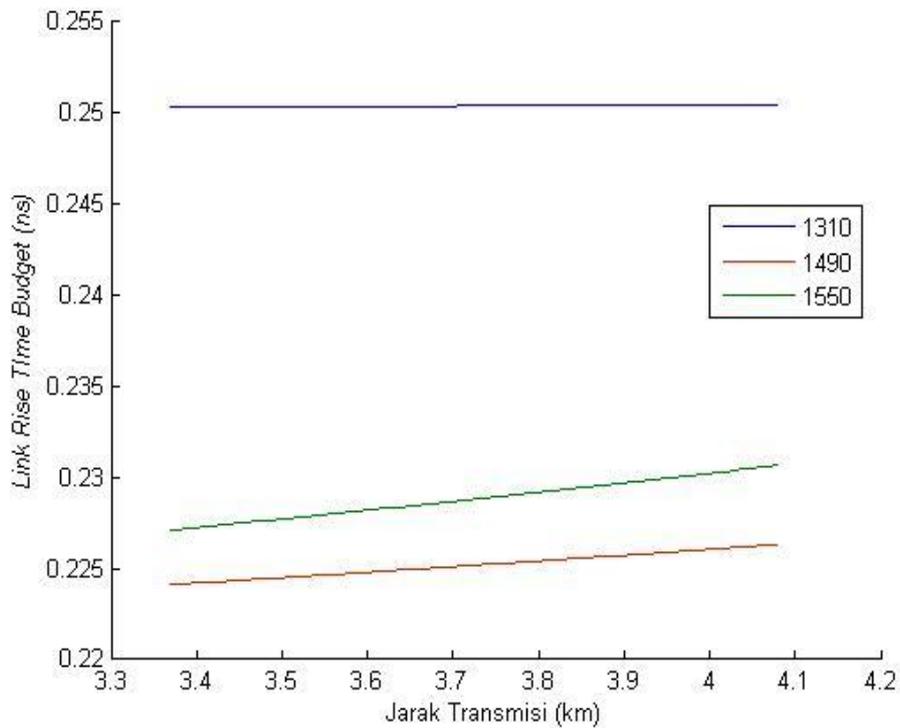
Grafik 4.10 memperlihatkan nilai *link rise time budget* pada panjang gelombang 1550 nm yang mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jarak transmisi. Jarak transmisi memiliki peranan yang signifikan dalam perhitungan *link rise time budget* sesuai dengan Persamaan 2.8, 2.9, dan 2.14. Selain jarak transmisi, faktor lain yang mempengaruhi adalah dispersi kromatis yang memiliki nilai berbeda untuk setiap panjang gelombangnya. Panjang gelombang 1550 nm memiliki dispersi kromatis sebesar 16,42 ps/km.nm.



**Grafik 4.11** Grafik nilai *Bit Rate System* pada panjang gelombang 1550 nm  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

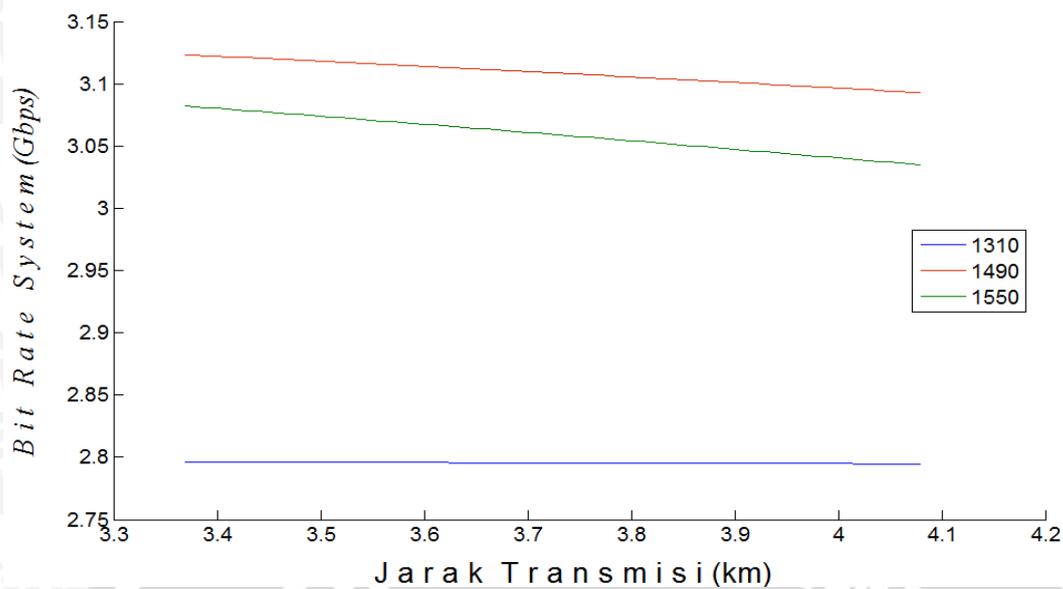
Grafik 4.11 memperlihatkan nilai *bit rate system* pada panjang gelombang 1550 nm yang nilainya mengalami penurunan dengan bertambahnya jarak transmisi. Hubungan nilai *bit rate system* dengan *link rise time budget* adalah berbanding terbalik seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.7 sehingga semakin besar nilai *link rise time budget* maka nilai *bit rate system* akan semakin kecil.

Nilai *link rise time budget* dan *bit rate system* dibandingkan dengan jarak transmisi untuk ketiga panjang gelombang ditunjukkan pada Grafik 4.12 dan 4.13.



**Grafik 4.12** Nilai *Link Rise Time Budget* terhadap jarak transmisi  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.12 menunjukkan peningkatan jarak transmisi antara OLT dengan ONT akan meningkatkan nilai dari *link rise time budget*. Hal ini sesuai dengan Persamaan 2.8, 2.9 dan 2.14. Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan nilai *link rise time budget* pada ketiga panjang gelombang yang digunakan adalah dispersi kromatis. Dispersi kromatis terjadi ketika sinyal ditransmisikan pada serat optik dengan panjang gelombang yang berbeda. Perbedaan panjang gelombang akan menyebabkan perbedaan kecepatan perambatan sehingga sinyal yang diterima akan tiba pada waktu yang berbeda, Perbedaan waktu ini akan menyebabkan pelebaran pulsa. Nilai *rise time* pada perangkat pemancar dan penerima juga mempengaruhi nilai *link rise time budget* sesuai dengan Persamaan 2.5.



**Grafik 4.13** Nilai *Bit Rate System* terhadap jarak transmisi

(Sumber : Perhitungan, 2014)

Pada Grafik 4.13 terlihat bahwa semakin besar peningkatan jarak transmisi antara OLT dengan ONT maka nilai dari *bit rate system* akan berkurang sesuai dengan Persamaan 2.7 dengan nilai dari  $t_{sys}$  berbanding terbalik dengan *bit rate system*.

#### 4.5 Perhitungan *Throughput*

Parameter *throughput* menunjukkan kecepatan efektif dari suatu jaringan. Perhitungan parameter *throughput* dilakukan dengan asumsi semua pelanggan menggunakan layanan *triple play* ( data, video, dan suara) secara bersamaan. Namun, untuk layanan video perhitungan hanya dilakukan pada transmisi arah *downstream*. Analisa *throughput* dilakukan pada arah transmisi *downstream* dan *upstream*.

##### 4.5.1 Perhitungan *Throughput* untuk arah *Upstream*

Transmisi arah *upstream* terjadi antara ONT dengan OLT. Perhitungan parameter *throughput* untuk transmisi arah *upstream* membutuhkan data – data sebagai berikut :

- Pada arah *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 $\mu$ 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

untuk melakukan analisis pada arah *upstream* nilai  $I_{GEM}$  dan *DBRu field* dari link harus dihitung, yakni:

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

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

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

**a.)** **Penghitungan  $I_{DBRu}$**

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

$$I_{DBRu} = \frac{\left[ \frac{2 \cdot 10^{-3} \times 1,244 \cdot 10^9}{388} - 15 \right]}{7 + 1.654}$$

$$I_{DBRu} = 3,85151 \text{ byte}$$

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

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

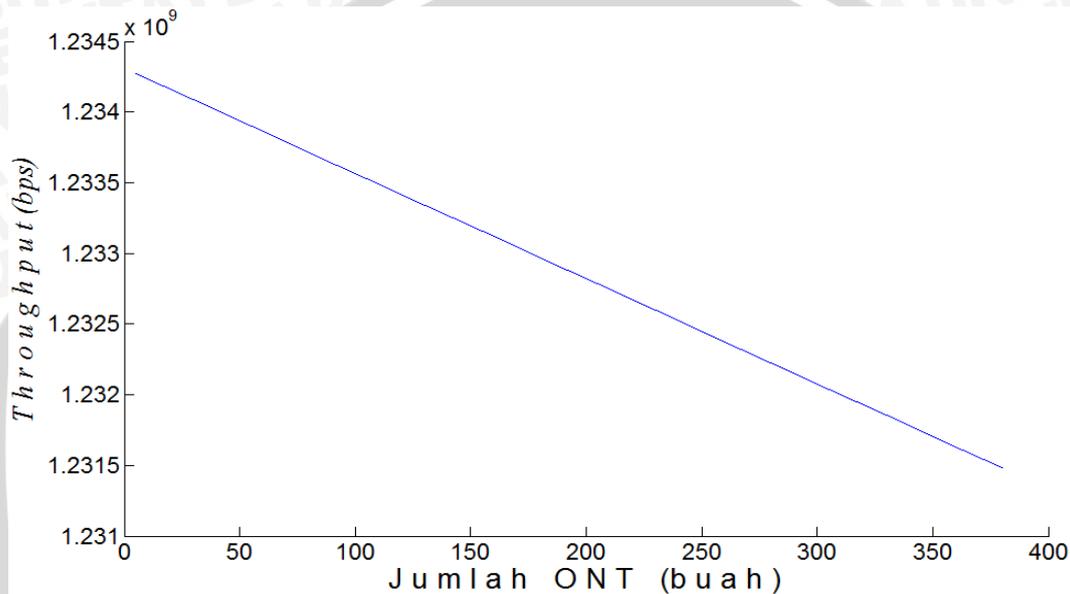
$$\rho_{GPU} = \frac{15184}{110 + 15184} \left[ \frac{\{125 \cdot 10^{-6} \times 1,244 \cdot 10^9\} - \left\{ \left[ \frac{388 \times 125 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \right] (15 + 3,85151) \right\}}{125 \cdot 10^{-6} \times 1,244 \cdot 10^9} \right]$$

$$\rho_{GPU} = 0.98988$$



Sehingga *throughput* untuk transmisi arah *upstream* pada jaringan ini adalah:

$$\begin{aligned} T_{\text{upstream}} &= \rho_{\text{upstream}} \times C_T \\ &= 0,98988 \times 1,244 \cdot 10^9 \\ &= 1,23142 \times 10^9 \text{ bps} \\ &= 1,2314 \text{ Gbps} \end{aligned}$$



**Grafik 4.14** Nilai *throughput* pada arah *upstream*

(Sumber : Perhitungan, 2014)

Nilai *throughput* untuk transmisi arah *upstream* adalah 1,2314 Gbps. Nilai tersebut mendekati nilai kecepatan transmisi untuk arah *upstream* pada teknologi GPON. Hubungan antara jumlah ONT dengan *throughput* untuk arah *upstream* adalah semakin banyak jumlah ONT maka semakin berkurang nilai dari *throughput* untuk arah *upstream* sesuai dengan Persamaan 2.16.

#### 4.5.2 Perhitungan *Throughput* untuk arah *Downstream*

Transmisi arah *upstream* terjadi antara ONT dengan OLT. Perhitungan parameter *throughput* untuk transmisi arah *upstream* membutuhkan data – data sebagai berikut :

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

$$I_{GPdo} = 4 \text{ byte Frame Synchronization Field (Psync)} + 4 \text{ byte segmen (Ident)} + 13 \text{ byte PLOAMd} + 1 \text{ byte bit Interleaved Parity (BIP)} + 4 \text{ byte Payload Length Indicator (Plend)} + (388 \times (8 \times 8 \text{ byte US BW map}))$$

$$I_{GPdo} = 24858 \text{ byte}$$

- 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  $\mu$ 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 :

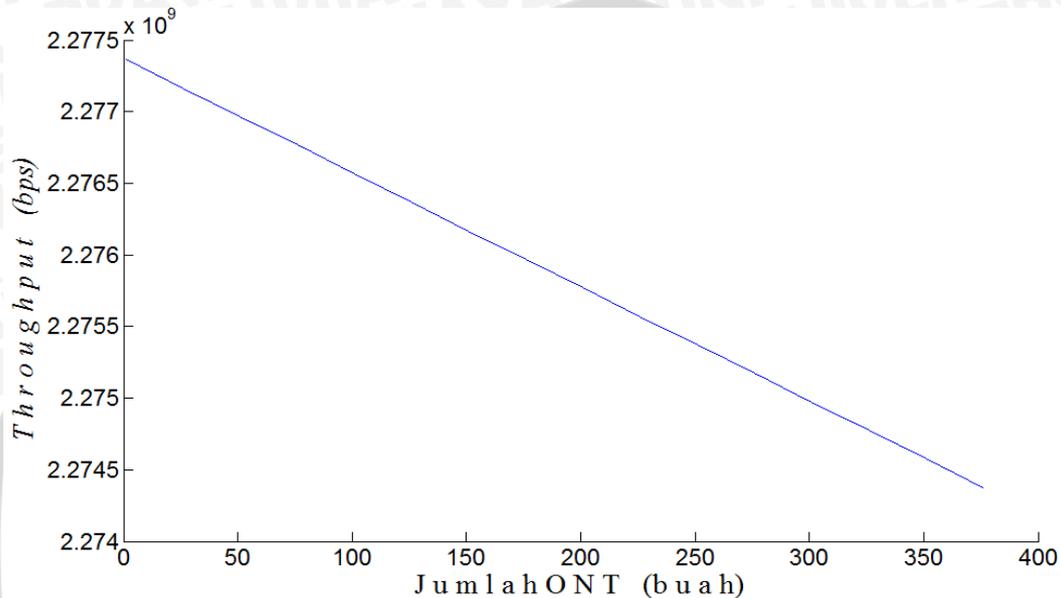
$$\rho_{GPD} = \frac{I_p}{I_{GEMO} + I_p} \left[ \frac{t_{Gpdf} \times R_{GPbr} - I_{GPdo} - I_{GPua} \times \left[ \frac{NONU \times t_{Gpdf}}{t_{ct}} \right]}{t_{Gpdf} \times R_{GPbr}} \right]$$

$$\rho_{GPD} = \frac{34840}{180 + 34840} \left[ \frac{\{125 \cdot 10^{-6} \times 2,488 \cdot 10^9\} - 24858 - \{16 \times [ \frac{388 \times 125 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} ] \}}{125 \cdot 10^{-6} \times 2,488 \cdot 10^9} \right]$$

$$\rho_{GPD} = 0,9153$$

Sehingga *throughput* untuk arah *downstream* pada jaringan ini adalah:

$$\begin{aligned} L_{\text{downstream}} &= \rho_{\text{downstream}} \times C_T \\ &= 0,9153 \times 2,488 \cdot 10^9 \\ &= 2,277 \times 10^9 \text{ bps} \\ &= 2,277 \text{ Gbps} \end{aligned}$$



**Grafik 4.15** Nilai *throughput* pada arah *downstream*  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Pada perhitungan *throughput* untuk arah *downstream* diketahui bahwa nilai *throughput* yang didapat adalah 2,277 Gbps. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai kecepatan transmisi pada arah *downstream* untuk teknologi GPON. Nilai *throughput* yang kecil ini didapat karena jumlah ONT yang banyak yakni 388 ONT. Semakin besar jumlah ONT maka *throughput* yang didapat akan semakin kecil sesuai dengan Persamaan 2.15.

#### 4.6 Perhitungan Delay

Analisa *delay* yang dilakukan mencakup empat bagian yakni *delay* pemrosesan, *delay* transmisi, *delay* antrian, dan *delay* propagasi. Parameter *delay* menunjukkan performansi dari jaringan yang dirancang. Oleh karena itu, untuk mendapat nilai *delay end to end* dari sistem maka semua komponen *delay* harus dihitung terlebih dahulu.

##### 4.6.1 Delay Pemrosesan

*Delay* pemrosesan terdiri dari dua bagian yakni *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. Kedua *delay* tersebut dihitung baik pada transmisi arah *downstream* maupun *upstream*.

### a. Delay Pemrosesan Pada Arah *Upstream*

Pada transmisi arah *upstream* koneksi yang terjadi adalah ONU dan OLT dengan OLT sebagai tujuan dan ONU sebagai sumber, sehingga data – data yang dibutuhkan untuk menghitung *delay* pada arah *upstream* 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

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

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

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

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

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

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

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

b.) Perhitungan  $t_{\text{dec}}$  pada arah *upstream* :

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

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

$$t_{\text{dec}} = 48,8231 \mu\text{s}$$

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

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

$$t_{\text{proc}} = 146,4694 \mu\text{s}$$

### b. Delay Pemrosesan Pada Arah *Downstream*

Pada transmisi arah *downstream* koneksi yang terjadi adalah ONU dan OLT dengan OLT sebagai sumber dan ONU sebagai tujuan, sehingga data – data yang dibutuhkan untuk menghitung nilai *delay* pemrosesan pada arah *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

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

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

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

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

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

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

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

b.) Perhitungan  $t_{\text{dec}}$  pada arah *downstream* :

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

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

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

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

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

$$t_{\text{proc}} = 336,0771 \mu\text{s}$$

#### 4.6.2 Delay Transmisi

*Delay* transmisi bergantung pada besarnya durasi dari *frame* GEM yakni sebesar 125  $\mu\text{s}$  sehingga nilai dari *delay* transmisi adalah 125  $\mu\text{s}$ .

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

#### 4.6.3 Delay Antrian

Komponen lain dalam perhitungan *delay* adalah *delay* antrian yang terjadi ketika paket yang akan ditransmisikan menunggu paket lain di dalam antrian transmisi. Perhitungan *delay* antrian dilakukan pada transmisi arah *upstream* dan *downstream* dengan asumsi pelanggan menggunakan ketiga jenis layanan yang ada pada *triple play*. Khusus pada transmisi arah *upstream* layanan yang tersedia hanya layanan telepon dan data.

### a. Delay Antrian Pada Arah *Upstream*

Perhitungan *delay* antrian pada arah *upstream* membutuhkan data – data sebagai berikut :

- *Bandwidth* Layanan Telepon = 64 kbps = 64000 bps
- *Bandwidth* 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

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

$$L = 15.184 \text{ byte}$$

a.) Perhitungan Total Paket yang Dibangkitkan:

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

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

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

$$= 50 + 172,1763$$

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

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

$\lambda = \frac{m}{t}$  , dengan “m” merupakan total paket yang dibangkitkan dalam “t” 1 detik

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

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

c.) Perhitungan Rata – Rata Pelayanan

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

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

$$\mu = 10241 \text{ Paket /s}$$

d.) Perhitungan Performansi Sistem

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

$$\rho = \frac{222,1763}{10241}$$

$$\rho = 0,021$$

e.) Perhitungan Waktu Pelayanan Rata-Rata

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

$$\bar{X} = \frac{1}{10241 \text{ Paket/s}}$$

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

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

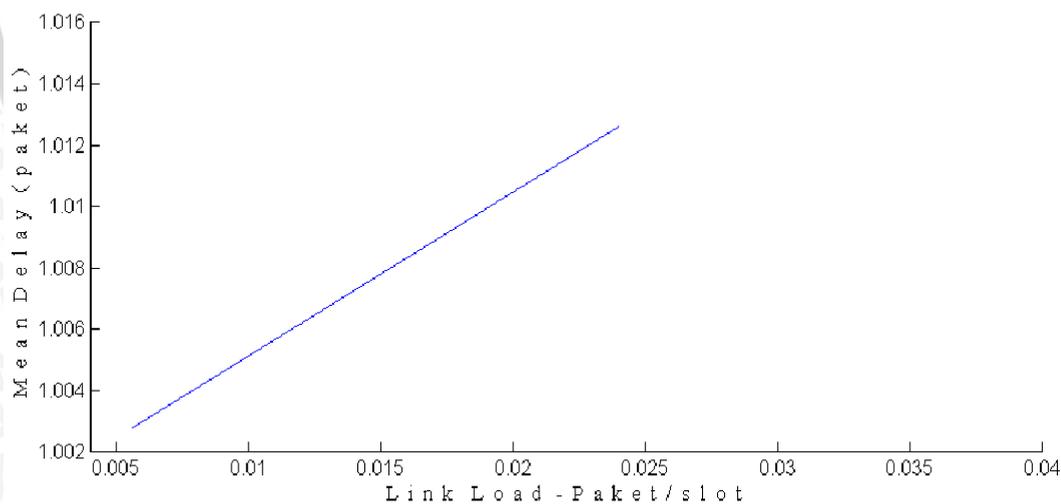
f.) Perhitungan Total Waktu Tunggu Antrian Dalam Arah *Upstream*

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

$$T_{\text{upstream}} = 97,65 \cdot 10^{-6} + \frac{222,1763 \frac{\text{paket}}{\text{s}} \cdot 9,5348 \cdot 10^{-9}}{2(1-0,021)}$$

$$T_{\text{upstream}} = 98,729 \mu\text{s}$$

*Delay* antrian yang terjadi pada arah *upstream* untuk penggunaan layanan yang berbeda ditunjukkan pada Grafik 4.16.



**Grafik 4.16** *Delay* antrian pada arah *upstream*

(Sumber : Perhitungan, 2014)

**b. Delay Antrian Pada Arah *Downstream***

Perhitungan *delay* antrian pada arah *upstream* membutuhkan data – data sebagai berikut :



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

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

$$L = 34.840 \text{ Byte}$$

a.) Perhitungan Total Paket yang Dibangkitkan:

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

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

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

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

$$= 50 + 172,1763 + 1843,7$$

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

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

$$\lambda = \frac{m}{t}, \text{ dengan "m" merupakan total paket yang dibangkitkan dalam "t" 1 detik}$$

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

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

c.) Perhitungan Rata – Rata Pelayanan

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

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

$$\mu = 8926,5 \text{ Paket /s}$$

## d.) Perhitungan Performansi Sistem

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

$$\rho = \frac{2065,8}{8926,5}$$

$$\rho = 0,2314$$

## e.) Perhitungan Waktu Pelayanan Rata-Rata

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

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

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

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

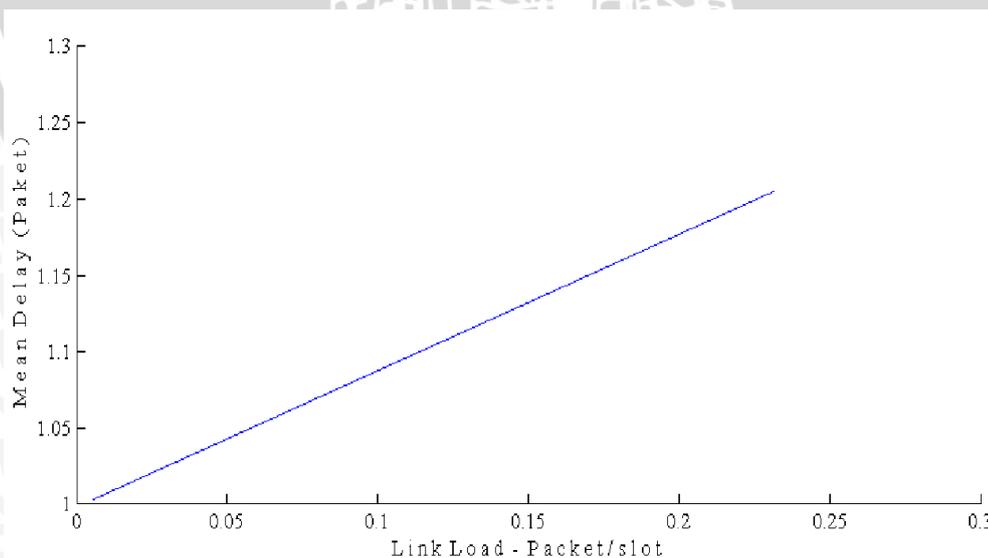
f.) Perhitungan Total Waktu Tunggu Antrian Dalam Arah *Downstream*

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

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

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

*Delay* antrian yang terjadi pada arah upstream untuk penggunaan layanan yang berbeda ditunjukkan pada Grafik 4.17.



**Grafik 4.17** Delay antrian pada arah *downstream*

(Sumber : Perhitungan, 2014)

#### 4.6.4 Delay Propagasi

*Delay* propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi sehingga nilai *delay* propagasi sebanding dengan jarak fisik antara penerima dan pengirim. Analisis *delay* propagasi dilakukan pada ONT yang memiliki jarak terjauh dengan OLT yakni sebesar 4,08552 km. Data – data lain yang diperlukan dalam perhitungan *delay* propagasi adalah :

- Kecepatan Rambat Cahaya ( $c$ ) =  $3 \times 10^8$  m/s
- Indeks inti bias serat optik ( $n_1$ ) = 1,468
- Jarak ONT ( $s$ ) = 4,08552 km

a.) Perhitungan kecepatan cahaya dalam serat optik

Menurut konsep perambatan cahaya di media non hampa, didapat berdasarkan Persamaan 2.34, yakni :

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

$$v = \frac{3 \times 10^8}{1,468}$$

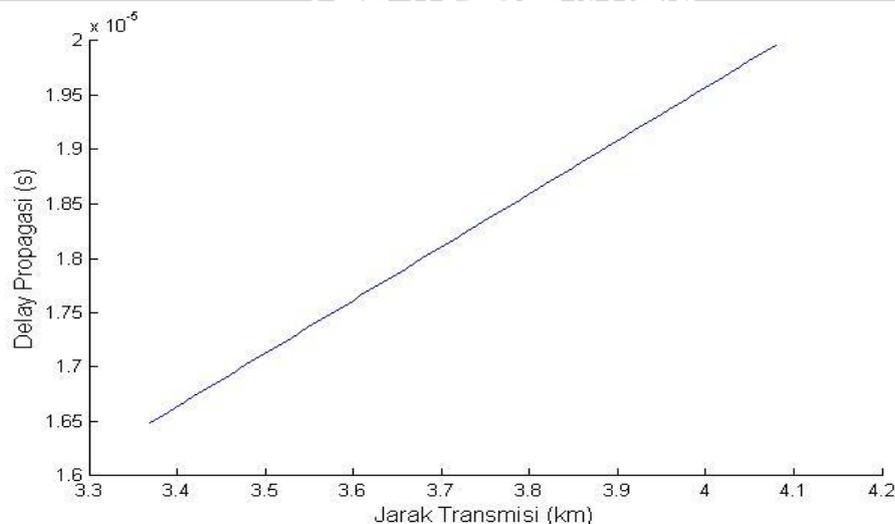
$$v = 2,0436 \times 10^8 \text{ m/s}$$

b.) Perhitungan *Delay* Propagasi

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

$$D_{\text{prop}} = \frac{4085,52}{2,0433 \times 10^8}$$

$$D_{\text{prop}} = 19,9917 \mu\text{s}$$



**Grafik 4.18** Nilai *delay* propagasi terhadap jarak transmisi

(Sumber : Perhitungan, 2014)

Hasil perhitungan *delay* propagasi pada jarak transmisi yang berbeda ditunjukkan pada Grafik 4.18. Nilai *delay* propagasi semakin bertambah dikarenakan semakin besar jarak yang ditempuh sinyal ketika ditransmisikan dari OLT menuju ONT maka waktu yang dibutuhkan semakin lama.

Maka didapatkan *delay total end to end* pada jarak terjauh adalah sebagai berikut:

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

$$D_{\text{end to end}} = (336,0771 + 146,469) + 125 + (128,8919 + 98,729) + (2 \times 19,9917)$$

$$D_{\text{end to end}} = 875,1504 \mu\text{s}$$

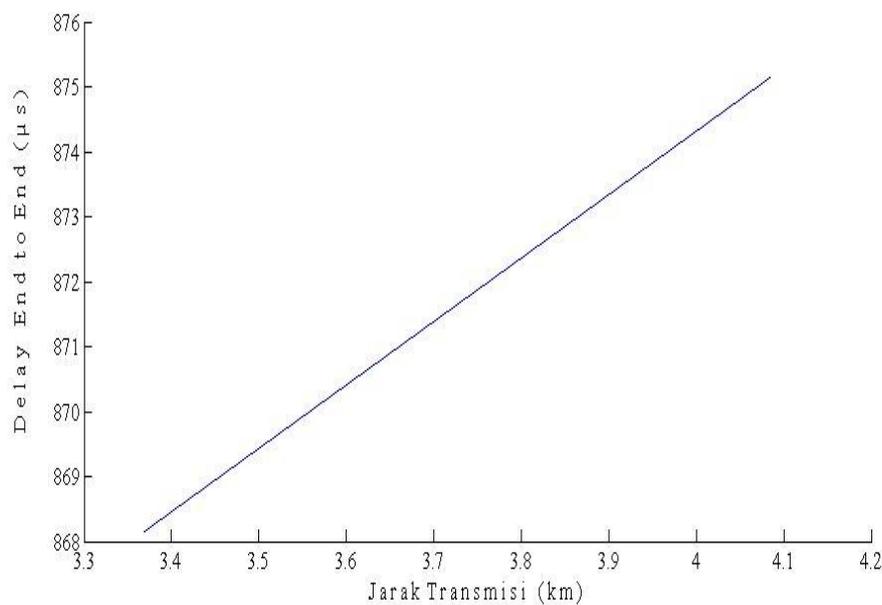
Sehingga untuk perhitungan *Mean signal transfer delay* (MSTD) :

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

$$\text{MSTD} = \frac{875,1504 \mu\text{s}}{2}$$

$$\text{MSTD} = 437,5752 \mu\text{s}$$

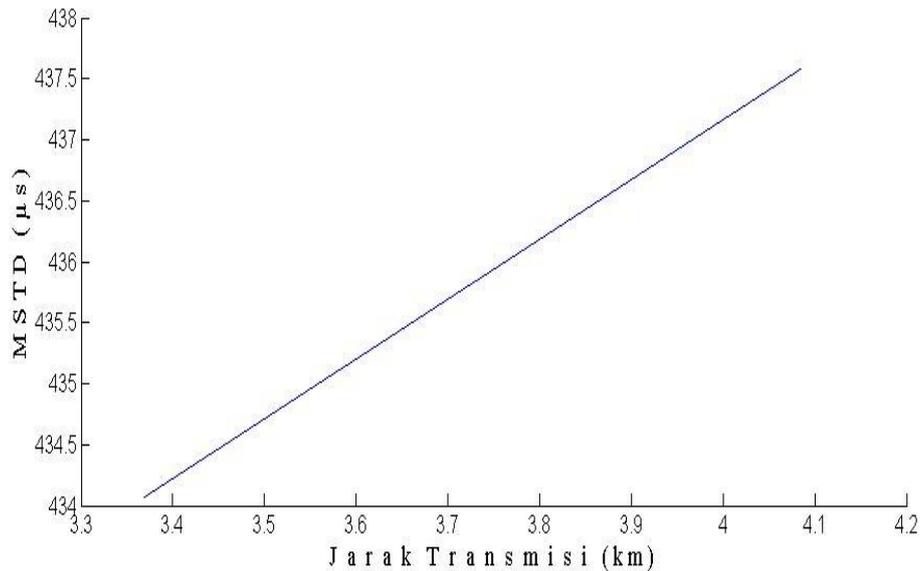
Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil perencanaan jaringan ini sangat layak untuk dilakukan perancangan sebab menurut standart ITU-T G.984.1 MSTD pada GPON harus kurang dari 1,5 ms. Grafik 4.19 dan 4.20 memperlihatkan nilai *delay end to end* dan MSTD dibandingkan dengan jarak transmisi.



**Grafik 4.19** Grafik *Delay end to end* terhadap jarak transmisi

(Sumber : Perhitungan, 2014)

Grafik 4.19 menunjukkan nilai *delay end to end* yang mengalami peningkatan ketika jarak transmisi bertambah. Parameter yang berpengaruh terhadap perubahan nilai *delay* ini adalah jarak transmisi. Peningkatan jarak transmisi akan menyebabkan peningkatan nilai *delay* propagasi sesuai dengan Persamaan 2.33.



**Grafik 4.20** Grafik *Mean Signal Transfer Delay* (MSTD) terhadap jarak transmisi  
(Sumber : Perhitungan, 2014)

Dari Grafik 4.20 memperlihatkan bahwa nilai MSTD semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jarak transmisi. Nilai MSTD berbanding lurus dengan nilai *delay end to end*. Hal ini sesuai dengan Persamaan 2.36. Faktor lain yang mempengaruhi nilai MSTD adalah banyak paket yang ditransmisikan. Semakin banyak paket yang akan ditransmisikan maka semakin besar *delay* pemrosesan sehingga nilai MSTD juga akan semakin besar.