

PERENCANAAN JARINGAN *FIBER TO THE HOME* PADA PERUMAHAN PERMATA JINGGA WEST AREA – MALANG UNTUK LAYANAN *TRIPLE PLAY*

Lalu Sutrisna M. Noor, Dr. Ir. Sholeh H.P.,M.S., Dwi Fadila K., S.T, M.T.

Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) digunakan untuk memenuhi kebutuhan transmisi data yang semakin berkembang salah satunya adalah *triple play*. *Triple Play* merupakan layanan yang mengkombinasikan transmisi data, suara, dan video dalam satu saluran. Perencanaan jaringan GPON menggunakan model aplikasi *Fiber To The Home* (FTTH) pada perumahan Permata Jingga West Area – Malang. Jaringan GPON yang dirancang memiliki kecepatan transmisi 1,244 Gbps untuk *upstream* dan 2,44 Gbps untuk *downstream*. Analisis performansi jaringan menunjukkan pada panjang gelombang 1310 nm nilai *link power budget* sebesar 10,87 dB dan *link rise time budget* sebesar 0,2504 ns. Pada panjang gelombang 1490 nm nilai *link power budget* sebesar 5,2786 dB dan *link rise time budget* sebesar 0,226 ns. Pada panjang gelombang 1550 nm nilai *link power budget* sebesar 8,442 dB dan nilai *link rise time budget* sebesar 0,2306 ns. Nilai *throughput* untuk kanal *upstream* sebesar 1,23142 Gbps dan untuk kanal *downstream* 2,277 Gbps. Parameter *delay end to end* menunjukkan nilai sebesar 875,1504 μ s.

Kata Kunci— FTTH , GPON, *Triple Play*.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan transmisi data semakin berkembang termasuk untuk kawasan perumahan. Selain itu, jenis layanan yang diberikan kepada pelanggan juga semakin berkembang seperti layana suara, data, video yang disebut *triple play*. Perbedaan jenis layanan yang diberikan kepada pelanggan akan mempengaruhi performansi dari jaringan yang digunakan. Pengaruh yang diberikan berupa penurunan *throughput* jaringan dan *link power budget*, kenaikan nilai *link rise time budget* dan *delay end to end*.

Perumahan Permata Jingga West Area yang terletak di Kota Malang termasuk kawasan perumahan yang membutuhkan akses internet dengan kecepatan tinggi. Dengan jumlah pengguna sebanyak 388 pengguna dan perbedaan jenis layanan yang diberikan maka dibutuhkan jaringan yang dapat mendukung layanan *triple play*.

Lalu Sutrisna M. Noor adalah mahasiswa Program Studi Strata 1 Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email lalu_sutrisna@gmail.com)

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono M.S. adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp. 0341-665144; email sholehpramono@gmail.com)

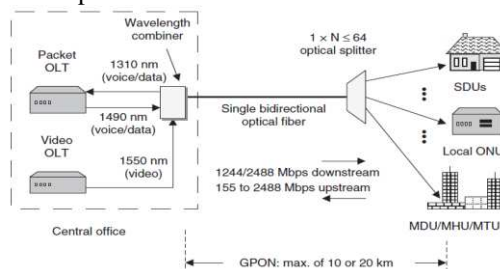
Dwi Fadila Kurmiawan ST., MT. adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, Indonesia (email ivan_fadila@yahoo.com)

Teknologi yang mendukung untuk kebutuhan tersebut adalah *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) dengan model aplikasi *Fiber To The Home* (FTTH). Kecepatan transmisi untuk teknologi GPON adalah 1,244 Gbps untuk kanal *upstream* dan 2,44 Gbps untuk kanal *downstream*. Teknologi GPON dapat mendukung layanan *triple play* yang dapat mentransmisikan layanan data, video, dan suara dalam satu saluran.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah merencanakan jaringan serat optik yang menggunakan teknologi GPON dengan model aplikasi FTTH (*Fiber To The Home*) pada Perumahan Permata Jingga Malang untuk aplikasi *Triple Play*..

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem GPON secara umum terdiri atas *Optical Line Termination* (OLT), *Optical Network Unit* (ONT) atau *Optical Network Termination* (ONT) dan *Optical Distribution Network* (ODN). GPON membutuhkan beberapa kriteria agar dapat diaplikasikan yang disebut dengan *GPON Service Requirements* (GSR). Pertama, GPON merupakan *full service network* yang berarti GPON harus dapat menangani semua jenis layanan termasuk 10 dan 100 Mbps *Ethernet*, telepon analog, trafik digital T1/E1 (yakni 1.544 dan 2.048 Mbps), 155 Mbps *Asynchronous Transfer Module* (ATM). Kecepatan *downstream* untuk GPON adalah 1.25 Gbps dan 2.5 Gbps sedangkan untuk *upstream* sebesar 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps, 2.5 Gbps. Kecepatan data dapat berbentuk *symmetrical* (kecepatannya sama baik arah *upstream* maupun *downstream*) atau *asymmetrical*. Panjang gelombang yang digunakan adalah 1480 nm sampai 1500 nm untuk transmisi suara dan data pada arah *downstream* dan 1260 nm sampai 1360 nm untuk kanal *upstream*. Sedangkan panjang gelombang 1550 sampai 1560 nm digunakan untuk transmisi video arah *downstream*. Jarak maksimal transmisi untuk GPON adalah 10 atau 20 km bergantung pada kemampuan dari pemancar dan penerima optik.



Gambar 1 Arsitektur GPON

A. Parameter Performansi

1. Kebutuhan Bandwidth Pelanggan

Bandwidth yang digunakan pada jaringan FTTH akan berbeda tergantung pada pengguna. *Bandwidth* untuk penggunaan telepon dengan transmisi data atau internet akan berbeda.

Tabel 1 Kebutuhan *bandwidth* untuk masing-masing layanan

Application	Bandwidth
Video (SDTV)	3.5 Mbps
Video (HDTV)	15 Mbps
Telecommunicating	10 Mbps
Video Gaming	10 Mbps
Voice	64 kbps
Peer-to-peer downloading	100 kbps – 100 Mbps

Sumber : Cedric Lam, 2007 : 13

2. Link Power Budget

Link power budget karena parameter ini menunjukkan perbedaan level daya maksimum yang diizinkan antara pemancar optik dan penerima optik. Perbedaan level daya antara pemancar dan penerima optik disebabkan oleh redaman yang ada pada masing – masing komponen dalam sistem FTTH yakni redaman pada pemancar dan penerima, redaman pada serat optik, konektor, *wdm coupler*, *splitter*, dan *splicer*. Perhitungan 1 digunakan untuk menghitung *link power budget* sedangkan Persamaan 2 digunakan untuk menghitung redaman total pada serat optik.

$$M = (P_s - P_r) - a_{\text{total}} - 3\text{dB} \quad (1)$$

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

Keterangan :

M = *Margin System*; P_s = Daya keluaran pemancar (dBm); P_r = Daya keluaran penerima (dBm); a_{total} = Redaman total (dB); α_f = rugi serat optik (dB/km); D = panjang serat optik (km); N_s = jumlah sambungan; L_s = Rugi sambungan; N_c = jumlah konektor; L_c = rugi konektor; S = Rugi *Splitter*; L_{coupler} = Rugi *WDM coupler*.

3. Link Rise Time Budget

Link rise time budget menunjukkan nilai batas dispersi dari jaringan serat optik. Pada pendekatan *link rise time budget*, *rise time* total dari sistem merupakan akar dari penjumlahan *rise time* dari masing – masing komponen pada sistem. Ada tiga faktor yang mempengaruhi nilai dari *link rise time budget* yakni *rise time* penerima dan pemancar optik, *rise time* dispersi intramodal dan *rise time Polarization Mode Dispersion*.

1. Rise time penerima dan pemancar optik

Rise time dari pemancar menunjukkan waktu yang dibutuhkan sumber optik untuk merespon arus kemudi (*drive current*). Sedangkan *rise time* pada penerima menunjukkan kecepatan respon dari detektor optik. *Rise time* pada penerima adalah waktu yang dibutuhkan keluaran dari detektor untuk mencapai nilai dari 10 % hingga 90 %.

2. Rise time dispersi intramodal

Dispersi intramodal terdiri dari dua bagian yakni dispersi kromatis dan dispersi pandu gelombang

(*waveguide*). Dispersi kromatis dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

$$t_{\text{CD}} = |D_{\text{CD}}| \Delta\lambda \quad (3)$$

Keterangan :

t_{CD} = *rise time* dispersi kromatis (ps); D_{CD} = koefisien dispersi kromatis dari serat optik (ps/nm.km); D = panjang serat optik (km); $\Delta\lambda$ = lebar spektrum dari sumber optik (nm).

Dispersi pandu gelombang adalah dispersi yang disebabkan oleh komponen frekuensi yang berbeda pada sinyal optik merambat dalam kecepatan grup (*group velocities*) yang berbeda dalam serat optik sehingga tiba pada saat yang berbeda di penerima optik. Persamaan 4 digunakan untuk menghitung dispersi pandu gelombang.

$$\tau_{\omega} = \frac{D}{c \cdot \lambda_0} (n_1 - n_2) \cdot D_w \cdot \Delta\lambda \quad (4)$$

Keterangan :

τ_{ω} = dispersi pandu gelombang (ns); D = jarak transmisi (km); n_1 = indeks bias inti serat optik; n_2 = indeks bias *cladding* serat optik; Δ_s = selisih indeks bias; a = jari – jari inti serta optik (μm); λ_0 = panjang gelombang yang digunakan (nm); c = kecepatan rambat cahaya (m/s); $\Delta\lambda$ = lebar spektrum pada detektor optik (nm).

Sehingga didapatkan perhitungan untuk menentukan total dispersi intramodal adalah sebagai berikut :

$$t_{\text{intra}} = t_{\text{CD}} + \tau_{\omega} \quad (5)$$

3. Rise Time Polarization Mode Dispersion

Polarization Mode Dispersion (PMD) terjadi pada serat optik *single-mode* karena dua mode dasar yang saling tegak lurus dalam serat optik merambat dengan kecepatan yang berbeda. Perbedaan kecepatan ini menyebabkan pulsa sinyal melebar sebesar t_{PMD} yang ditentukan dengan Persamaan 6

$$t_{\text{PMD}} = D_{\text{PMD}} \times \sqrt{D} \quad (6)$$

Keterangan :

t_{PMD} = dispersi PMD (ps/ $\sqrt{\text{km}}$); t_{PMD} = *rise time* PMD (ns); D = panjang serat optik (km).

Sehingga nilai *rise time* dan laju bit informasi maksimum dari sistem dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 7 dan 8.

$$t_{\text{sys}} = (t_{\text{TX}}^2 + t_{\text{mod}}^2 + t_{\text{intra}}^2 + t_{\text{PMD}}^2 + t_{\text{RX}}^2)^{1/2} \quad (7)$$

$$B_{\text{sys}} = \frac{0.7}{t_{\text{sys}}} \quad (8)$$

4. Throughput

Throughput menunjukkan kecepatan sebenarnya atau kecepatan efektif dari suatu jaringan. Hal ini dikarenakan dalam sistem transmisi terdapat bit – bit *overhead* dalam suatu paket sehingga mengurangi kecepatan jaringan. Pada GPON *Throughput* dari jaringan dapat diketahui menggunakan *utilization link*, dimana *utilization* dari *link* pada arah *downstream* dapat diketahui dari Persamaan 9.

$$\rho_{\text{GPd}} = \frac{l_{\text{Ep}}}{l_{\text{GEMo}} + l_{\text{Ep}}} \left[t_{\text{GPdf}} \times R_{\text{GPbr}} - l_{\text{GPdo}} - l_{\text{GPua}} \times \left[\frac{N_{\text{ONU}} \times t_{\text{GPdf}}}{t_{\text{ct}}} \right] \right] \quad (9)$$

Sedangkan *utilization* pada arah *upstream* dari GPON dapat diketahui dari Persamaan 10

$$\rho_{GPU} = \frac{\frac{l_{Etp}}{l_{GEMfo} + l_{Etp}} \left[t_{GPdf} \times R_{GPbr} - \left[\frac{N_{ONU} \times t_{GPdf}}{t_{ct}} \right] (l_{plou} + l_{dbru}) \right]}{t_{GPdf} \times R_{GPbr}} \quad (10)$$

Maka *throughput* dari *link downstream/upstream* dapat diketahui dengan

$$T_{downstream/upstream} = \rho_{downstream/upstream} \times C_T \quad (11)$$

Keterangan :

ρ_{GPd} = *downstream utilization* pada GPON;
 I_{Ep} = panjang *payload* (byte); I_{GEMo} = Panjang GEM *overhead* (byte); t_{GPdf} = durasi dari GEM *frame* (μ s);
 R_{GPbr} = *bit rate* pada *link* GPON (bps); I_{GPdo} = panjang dari GPON *downstream overhead* (byte); I_{GPua} = panjang dari *upstream allocation overhead* (byte); t_{ct} = *cycle time* (ms); N_{ONU} = jumlah dari ONU; ρ_{GPU} = *upstream utilization* pada GPON ; I_{plou} = panjang dari *physical layer overhead* (termasuk *PLOAMu field*) (byte); I_{dbru} = jumlah dari *DBRu field* pada *frame upstream* GPON (byte); C_T = kapasitas maksimal *link*.

5. Delay

Perancangan jaringan FTTH ini memperhitungkan empat macam jenis *delay* yakni *delay* transmisi, *delay* pemrosesan, *delay* antrian, dan *delay* propagasi.

a) Delay transmisi

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

b) Delay pemrosesan

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

$$t_{enc} = \frac{L}{C_{proc}} \quad (12)$$

Besarnya *delay* dekapsulasi adalah :

$$t_{dec} = n \frac{L}{C_{proc}} \quad (13)$$

Keterangan :

t_{enc} = *delay* enkapsulasi (s); t_{dec} = *delay* enkapsulasi (s);
 L = panjang paket (bit); C_{proc} = kecepatan proses sebuah simpul sumber (bps); n = jumlah paket .

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

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \quad (14)$$

c) Delay antrian

Delay antrian adalah waktu dimana paket ditugaskan dalam suatu antrian untuk transmisi dan waktu start saat ditransmisikan. Selama waktu ini, paket menunggu selagi paket lain di dalam antrian transmisi

dipancarkan. Persamaan 14 digunakan untuk menghitung nilai *delay* antrian.

$$T = \bar{X} + \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1-\rho)} \quad (15)$$

Keterangan :

\bar{X} = waktu pelayanan rata-rata; \bar{X}^2 = kuadrat waktu pelayanan rata-rata; μ = rata-rata pelayanan (paket per detik); λ = rata-rata kedatangan paket (paket per detik); ρ = *utilization* dari link.

d) Delay propagasi

Delay propagasi adalah waktu bit akhir ditransmisikan di titik kepala dari jaringan dan waktu bit terakhir diterima pada titik ekor (*tail node*) atau sebanding dengan jarak fisik antara penerima dan pengirim. Nilai *delay* propagasi ditentukan dengan Persamaan 15.

$$D_{prop} = \frac{s}{v} \quad (16)$$

Keterangan :

D_{prop} = *delay* propagasi (ns); v = kecepatan cahaya dalam serat optik; s = jarak transmisi (m).

Perhitungan *delay end to end* melibatkan keempat *delay* yang telah dibahas sebelumnya sehingga Persamaan untuk menghitung *delay end to end* adalah

$$D_{end\ to\ end} = D_{proc} + D_{trans} + D_{qu} + D_{prop} \quad (17)$$

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

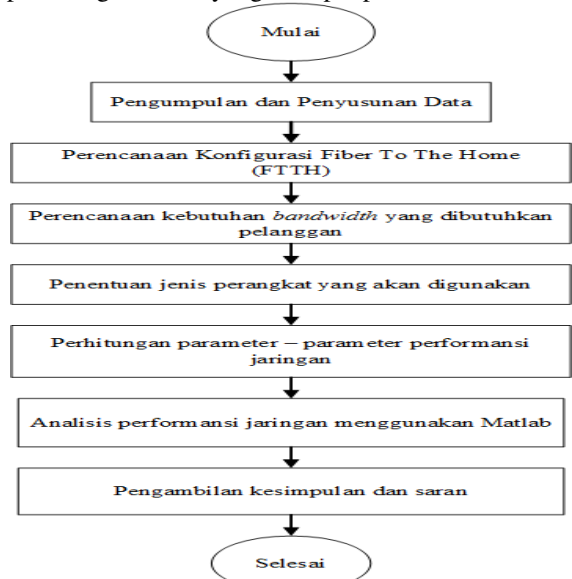
$$MSTD = \frac{D_{end\ to\ end}}{2} \quad (18)$$

Keterangan :

$D_{end\ to\ end}$ = *Delay end to end* (μ s); MSTD = *Mean signal transfer* (μ s).

III. METODE PENELITIAN

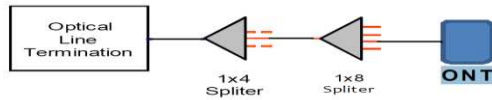
Langkah-langkah dalam penelitian ini dijelaskan pada diagram alir yang terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Utama Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan jaringan FTTH pada perumahan Permata Jingga West Area di Kota Malang meliputi penentuan konfigurasi jaringan dan analisa performansi jaringan. Konfigurasi jaringan ditunjukkan pada Gambar 3, yakni jaringan menggunakan 2 *splitter*. Jarak tranmsisi terjauh yang didapat adalah 4,0855 km dari STO Blimbing sampai perumahan Permata Jingga. Analisa performansi jaringan meliputi empat parameter yakni *link power budget*, *link rise time budget*, *delay*, dan *throughput*.



Gambar 3 Konfigurasi Jaringan FTTH Perumahan Permata Jingga West Area-Malang

1. *Bandwidth* yang Dibutuhkan Pelanggan

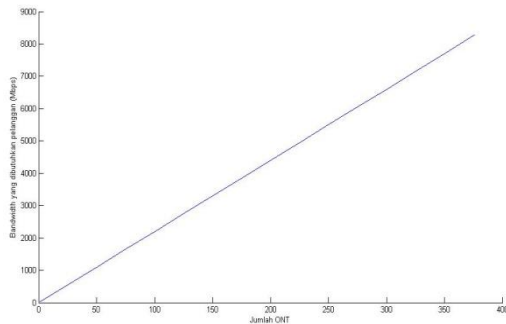
Perhitungan *bandwidth* yang dibutuhkan pelanggan mengacu pada jenis layanan yang dibutuhkan pelanggan dalam hal ini adalah layanan data, layanan suara, dan layanan video atau *triple play*. Besar *bandwidth* yang dibutuhkan masing – masing layanan adalah sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan Bandwidth} &= 388 \times (0,064+2+20) \\ &= 8,560 \text{ Gbps} \end{aligned}$$

Gambar 4 memperlihatkan variasi total kebutuhan *bandwidth* pelanggan dibandingkan dengan jumlah pelanggan.



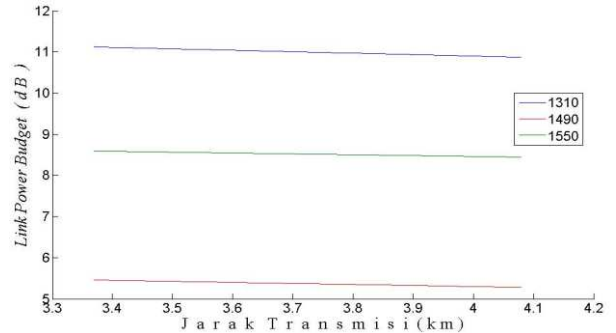
Gambar 4 *Bandwidth* yang dibutuhkan pelanggan terhadap jumlah pelanggan

Gambar 4 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*)

2. *Link Power Budget*

Parameter *link power budget* menunjukkan perbedaan level daya yang diperbolehkan antara

pemancar dan penerima. Hasil perhitungan pada jarak terjauh yakni 4,0855 km menunjukkan nilai *link power budget* sebesar 10,87 dB pada panjang gelombang 1310 nm, 5,2786 dB pada panjang gelombang 1490 nm, 8,442 dB pada panjang gelombang 1550 nm. Gambar 5 memperlihatkan nilai *link power budget* terhadap jarak transmisi.

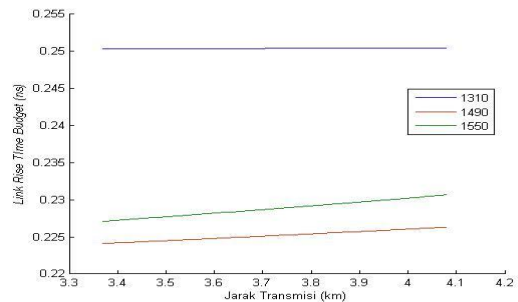


Gambar 5 *Link Power Budget* pada panjang gelombang 1310 nm

Pada Gambar 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 OH^- dalam bahan serat optik ketika proses fabrikasi. Ion OH^- tersebut akan menyerap energi yang melewati serat optik bergantung pada panjang gelombang. 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.

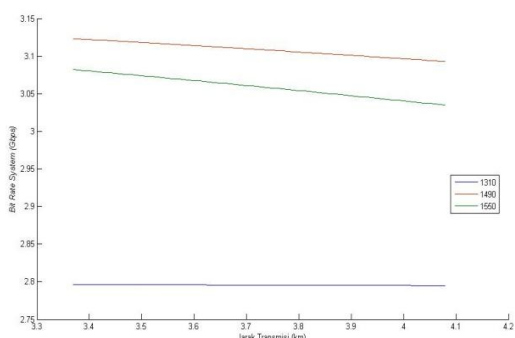
3. *Link Rise Time Budget*

Parameter *link rise time budget* menunjukkan nilai batas dispersi pada jaringan serat optik. Hasil perhitungan pada jarak terjauh yakni 4,0855 km menunjukkan nilai *link rise time budget* sebesar 0,2504 ns pada panjang gelombang 1310 nm, 0,226 ns pada panjang gelombang 1490 nm, 0,2306 ns pada panjang gelombang 1550 nm. Nilai *bit rate system* untuk jarak transmisi terjauh yakni 4,0855 km adalah sebesar 2,794 Gbps pada panjang gelombang 1310 nm, 3,0925 Gbps pada panjang gelombang 1490 nm dan 3,0343 Gbps pada panjang gelombang 1550 nm. Gambar 6 memperlihatkan nilai *link rise time budget* terhadap jarak transmisi dan Gambar 7 menunjukkan nilai *bit rate system* terhadap jarak transmisi.



Gambar 6 Nilai *Link Rise Time Budget* terhadap jarak transmisi

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 terlihat bahwa semakin meningkat jarak transmisi antara OLT dengan ONT maka semakin tinggi nilai dari *link rise time budget*. Hal ini sesuai dengan Persamaan 3, 4, 6 dan 7. 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*.

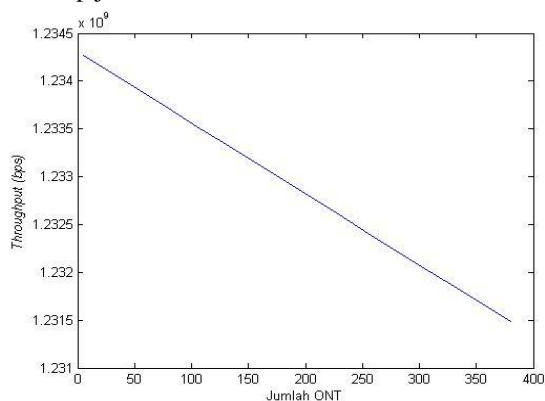


Gambar 7 Nilai Bit Rate System terhadap jarak transmisi

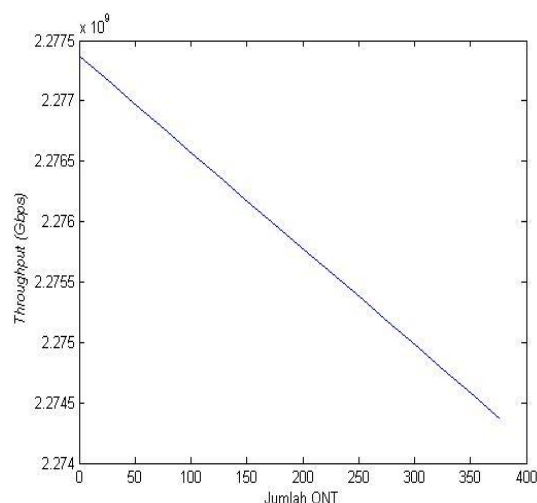
Pada Gambar 7 terlihat bahwa semakin besar peningkatan jarak transmisi antara OLT dengan ONT maka nilai dari *bit rate system* akan berkurang sesuai dengan Persamaan 8 dimana nilai dari t_{sys} berbanding terbalik dengan *bit rate system*.

4. 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 *broadcast* perhitungan hanya dilakukan pada transmisi arah *downstream*. Analisa *throughput* dilakukan pada arah transmisi *downstream* dan *upstream*. Nilai *throughput* pada arah *upstream* adalah 1,2314 Gbps sedangkan pada arah *downstream* nilai *throughput* sebesar 2,277 Gbps. Gambar 8 menunjukkan nilai *throughput* pada arah *upstream* dan Gambar 9 menunjukkan nilai *throughput* pada arah *downstream* terhadap jumlah ONT.



Gambar 8 Throughput pada arah upstream

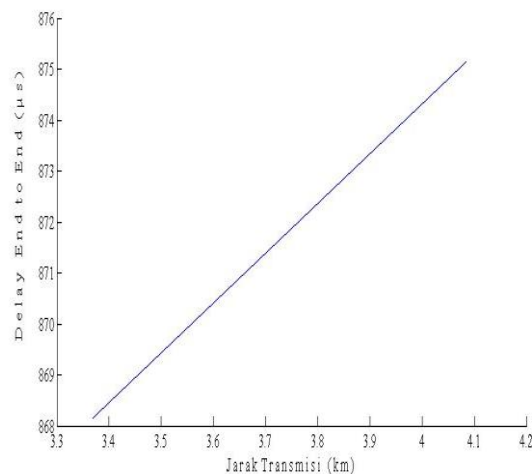


Gambar 9 Throughput pada arah downstream

Gambar 8 dan 9 memperlihatkan penurunan nilai *throughput* terhadap jumlah ONT. Faktor yang mempengaruhi penurunan nilai *throughput* adalah jumlah pengguna yang menggunakan jaringan dalam waktu yang bersamaan.

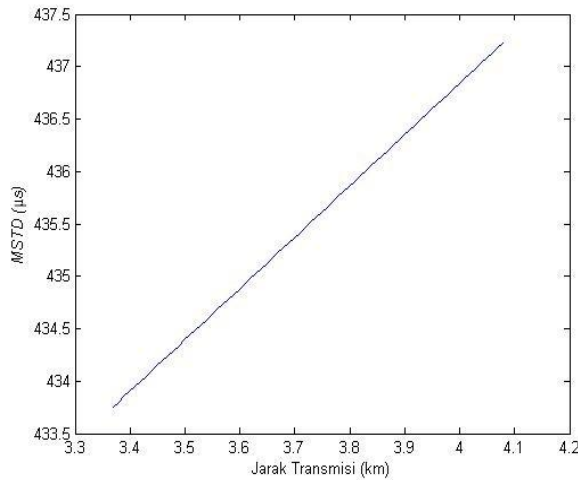
5. Delay

Analisa *delay* yang dilakukan mencakup empat bagian yakni *delay* pemrosesan, *delay* transmisi, *delay* antrian, dan *delay* propagasi. Pada jarak terjauh diketahui nilai *delay* transmisi sebesar 125 μs , *delay* pemrosesan sebesar 482,5465 μs , *delay* antrian sebesar 227,6209 μs , dan *delay* propagasi sebesar 19,9917 μs . Nilai *delay end to end* sebesar 875,1504 μs . Nilai *Mean Signal Transfer Delay* pada jarak transmisi terjauh sebesar 437,5752 μs . Gambar 10 dan 11 memperlihatkan nilai *delay end to end* dan MSTD terhadap jarak transmisi.



Gambar 10 Delay end to end terhadap jarak transmisi

Gambar 10 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 16. Panjang paket yang akan ditransmisikan juga akan mempengaruhi nilai *delay end to end*



Gambar 11 Nilai MSTD terhadap jarak transmisi
 Gambar 11 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 18. Faktor lain yang mempengaruhi nilai MSTD adalah panjang paket yang ditransmisikan. Semakin panjang paket yang akan ditransmisikan maka semakin besar *delay* pemrosesan sehingga nilai MSTD juga akan semakin besar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Perencanaan jaringan FTTH di Perumahan Permata Jingga West Area – Malang menghasilkan konfigurasi jaringan yang terdiri dari 4 komponen utama yakni *Optical Line Termination (OLT)*, *splitter 1:4*, *splitter 1:8* dan *Optical Network Termination (ONT)*. Dari hasil studi lapangan didapatkan jarak transmisi terjauh antara OLT yang ada di STO Blimbing dengan ONT yang ada di Perumahan Permata Jingga sebesar 4,0855 km.
2. Total *bandwidth* yang dibutuhkan pengguna yang berjumlah 388 adalah sebesar 8,560 Gbps.
3. Perhitungan *link power budget* menunjukkan hasil 10,87 dB pada panjang gelombang 1310 nm, 5,2786 dB pada panjang gelombang 1490 nm, 8,442 dB pada panjang gelombang 1550 nm. Untuk ONT yang lain, nilai *link power budget* pada ketiga panjang gelombang lebih besar dari 0 dB sehingga jaringan yang telah dirancang memenuhi kelayakan operasional.
4. Perhitungan *link rise time budget* menunjukkan hasil 0,2504 ns pada panjang gelombang 1310 nm, 0,226 ns pada panjang gelombang 1490 nm, 0,2306 ns pada panjang gelombang 1550 nm. Nilai *bit rate system* untuk jarak transmisi terjauh yakni 4,0855 km adalah sebesar 2,794 Gbps pada panjang gelombang 1310 nm, 3,0925 Gbps pada panjang gelombang 1490 nm 3,0343 Gbps pada panjang gelombang 1550 nm.
5. Dari hasil perhitungan didapat nilai *throughput* pada arah *upstream* adalah 1,2314 Gbps sedangkan pada arah *downstream* nilai *throughput* sebesar 2,277 Gbps.
6. Perhitungan *delay end to end* menunjukkan nilai 875,1504 μs dengan *delay* transmisi sebesar 125 μs,

delay pemrosesan sebesar 482,5465 μs, *delay* antrian sebesar 227,6209 μs, dan *delay* propagasi sebesar 19,9917 μs. Nilai *Mean Signal Transfer Delay* pada jarak transmisi 4,0855 km sebesar 437,5752 μs. Jaringan yang telah dirancang telah memenuhi standar ITU-T G.984.1 yang mensyaratkan jaringan FTTH memiliki nilai MSTD dibawah 1,5 ms.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dutton, Harry. "Understanding Optical Communications". North Carolina: IBM. 1998
- [2] Dorf, Richard. The Handbook of Optical Communication Networks. Boca Raton: CRC Press. 2003
- [3] ITU-T G.984.1. "General Characteristics for Gigabit-capable Passive Optical Networks". 2008
- [4] Keiser, Gerd. "FTTX Concepts and Applications". New Jersey: John Wiley & Sons. 2006
- [5] Lallukka, Sami & Raatikainen, Pertti. "Passive Optical Networks Transport Concepts". Espoo : VTT Publications 597.123 p. 2006
- [6] Lam, Cedric. Passive Optical Networks : Principles and Practice. Elsevier. USA. 2007
- [7] Massa, Nick. Fundamentals Of Photonics. University of Connecticut. USA. 2000
- [8] PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Panduan Desain FTTH. PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk. Jakarta. 2012
- [9] Moch. Andi M ST. Perencanaan GPON Pada FTTH : Universitas Brawijaya, Skripsi tidak diterbitkan. 2009