

# Perancangan FTTH Menggunakan *Ethernet Passive Optical Network* (EPON) Pada *Layer Network* di Kampus Universitas Islam Indonesia

Nurul Aulia<sup>1</sup>, Ida Nurcahyani<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia  
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

<sup>1</sup>12524093@students.uui.ac.id

<sup>2</sup>155240104@uui.ac.id

**Abstrak**—Perkembangan dunia teknologi membuat internet menjadi sumber informasi utama dengan menawarkan penyatuan seluruh komunikasi yang bersifat multimedia. Seiring bertambahnya jumlah pengguna internet kemudian dikembangkanlah teknologi *Passive Optical Network* (PON) yang mendukung layanan *triple play* dimana transmisi paket data (internet), suara, dan multimedia dalam satu kabel optik dengan kecepatan tinggi serta *bandwidth* yang besar. Kelebihan yang dimiliki oleh PON inilah sangat tepat diaplikasikan untuk menunjang kebutuhan akademik mahasiswa maupun dosen di area kampus terpadu Universitas Islam Indonesia. Simulasi perancangan jaringan PON menggunakan Opnet Modeler yang kemudian dilakukan pengamatan terhadap parameter QoS dan dibandingkan dengan standar yang dikeluarkan oleh ITU-T. Nilai QoS yang didapat yaitu *delay* sangat bagus di tiap layanan dan termasuk dalam kategori baik yaitu dibawah 150 ms untuk semua layanan. Persentase *packet loss* 0% untuk layanan telepon dan data, sedangkan untuk layanan video adalah 0,0000061%. Untuk rata-rata *jitter* didapat nilai -0,09  $\mu$ s pada layanan telepon dan 0,0025  $\mu$ s pada layanan video serta termasuk dalam kategori bagus. *Page response time* untuk layanan data termasuk dalam kategori bagus dengan nilai 468,4 ms.

**Kata kunci** : PON, QoS, Opnet Modeler

## I. PENDAHULUAN

Sebelum adanya internet, akses sumber informasi menjadi masalah utama yang dihadapi dunia pendidikan. Perpustakaan konvensional menjadi sumber informasi utama pada saat itu. Namun, perpustakaan konvensional dibangun dengan biaya yang tidak murah karena buku-buku dan jurnal dibeli dengan harga mahal serta tidak mudah dalam pengelolaannya. Dengan biaya mahal sehingga banyak perpustakaan di dunia yang tidak lengkap dalam menyediakan sumber informasi [1].

Seiring dengan perkembangan teknologi, internet menjadi sumber informasi baru yang begitu cepat menggeser perpustakaan konvensional sebagai sumber informasi utama [2]. Menurut survei yang dilakukan oleh Asosiasi Penyelenggaraan Jasa Internet Indonesia (APJII) pada tahun 2017, pengguna internet di Indonesia mencapai 143,26 juta jiwa. Jumlah pengguna ini mengalami kenaikan sekitar 7,4%

dibandingkan pada tahun 2016 [3]. Dunia pendidikan tidak luput dari pemanfaatan internet sebagai sarana media belajar-mengajar, seperti membaca artikel maupun melihat dan mengunduh video materi belajar [3]. Dengan adanya internet, akses sumber informasi menjadi lebih mudah dengan sumber yang lebih banyak sehingga informasi bukan menjadi masalah lagi [4]. Pemanfaatan internet yang tinggi menuntut jaringan teknologi yang mendukung koneksi internet yang cepat untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Dalam dunia pendidikan khususnya pada Universitas Islam Indonesia, kebutuhan akan internet tidak hanya diperuntukan bagi mahasiswa saja melainkan juga bagi departemen dalam kalangan akademisi kampus. Jaringan yang memiliki kemampuan transfer data yang cepat serta *bandwidth* yang cukup besar merupakan pertimbangan dalam pemilihan jaringan untuk area kampus. Oleh karena itu diperlukan suatu jaringan lokal akses fiber yang lebih handal dan berprospek hingga jangka waktu yang lama.

Jaringan *Passive Optical Network* (PON) merupakan jaringan yang menggunakan serat optik sebagai medium penghantar dari pusat penyedia layanan sampai ke pengguna. PON mendukung layanan *triple play* dimana transmisi paket data (internet), suara, dan multimedia secara bersamaan dalam satu kabel dengan kecepatan tinggi serta *bandwidth* yang besar [5]. Jaringan PON memiliki protokol yang dapat dikombinasikan dengan jaringan *ethernet* yang telah ada pada wilayah kampus Universitas Islam Indonesia yaitu *Ethernet Passive Optical Network* (EPON). Dengan demikian, jaringan EPON sangat tepat diaplikasikan untuk menunjang kebutuhan akademik mahasiswa maupun dosen di area kampus terpadu Universitas Islam Indonesia.

Arsitektur jaringan PON yang sering digunakan adalah *Fiber To The Home* (FTTH) dan *Fiber To The Office* (FTTO). Arsitektur FTTH sangat mirip dengan FTTO hanya saja berbeda pada peletakan titik terminasi jaringan. Titik terminasi pada FTTH diletakkan sangat dekat dengan *Optical Network Unit* (ONU) pada sisi pengguna layanan [6]. Dengan mempertimbangkan hal tersebut dapat mengurangi penggunaan

kabel tembaga sehingga dapat menyediakan bandwidth yang lebih besar.

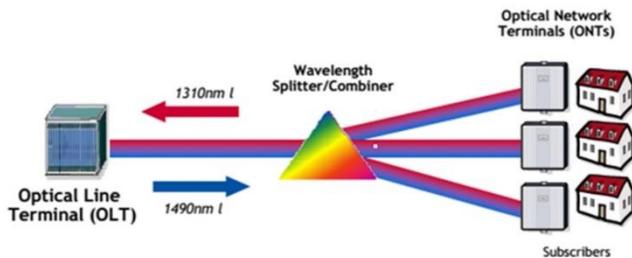
Berdasarkan latar belakang di atas, pada penelitian ini dilakukan simulasi perancangan jaringan EPON dengan menggunakan software Opnet Modeler untuk melihat tingkat kehandalan dan kualitas jaringan EPON dalam mentransmisikan layanan triple play di wilayah kampus terpadu Universitas Islam Indonesia.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Passive Optical Network (PON)

PON merupakan arsitektur jaringan akses *broadband* menggunakan perangkat pasif optik dengan serat optik sebagai media transmisi. Optik dapat menyediakan beberapa layanan dalam satu saluran secara bersamaan seperti paket data (internet), suara, dan multimedia (video). Teknologi PON ini tidak membutuhkan komponen aktif yang membutuhkan daya sehingga dapat menghemat biaya [5].

Gambar 1 menunjukkan arsitektur yang umum digunakan pada jaringan PON. Perangkat yang digunakan dalam PON terdiri dari *Optical Line Terminal (OLT)* yang ditempatkan pada pusat terminasi jaringan. OLT berfungsi untuk mengubah sinyal elektrik yang ditransmisikan dari sisi penyedia layanan atau Internet Service Provider (ISP) menjadi sinyal optik [6]. Satu serat optik dari OLT terhubung dengan *splitter* yang membagi dan menghubungkan dengan maksimal 64 pengguna yang masing-masing memiliki perangkat *Optical Network Unit (ONU)* di titik akhir jaringan [7]. ONU berfungsi sebagai pengubah sinyal optik yang ditransmisikan OLT menjadi sinyal elektrik [6].



Gambar 1 Arsitektur jaringan PON [8]

### B. Ethernet Passive Optical Network (EPON)

EPON merupakan PON yang berbasis *ethernet* dengan standar IEEE 802.3ah yang dikeluarkan oleh IEEE dengan *bandwidth* 1 Gbps untuk *upstream* dan *downstream*. EPON mengadopsi mekanisme *Time Division Multiplexing (TDM)* untuk melakukan transmisi *upstream*. Sedangkan untuk *downstream*, EPON menggunakan metode *broadcast* yang mengirimkan semua data pada satu slot waktu yang kemudian dipisahkan oleh ONU berdasarkan data yang dibutuhkan oleh setiap pengguna [9].

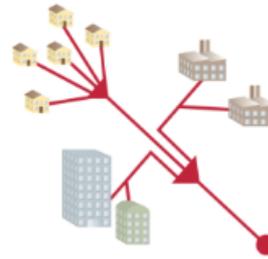
### C. Fiber To The Home (FTTH)

*Fiber to the home (FTTH)* telah dianggap sebagai solusi ideal untuk jaringan akses sejak penemuan komunikasi serat optik karena memiliki kecepatan transfer data yang tinggi,

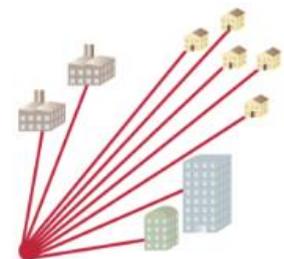
ukuran tipis, serta tahan terhadap gangguan elektromagnetik [10]. FTTH merupakan arsitektur jaringan optik yang sepenuhnya menggunakan serat optik mulai dari *provider* sampai ke pengguna. Sinyal optik dibawa secara bersamaan ke *splitter* yang hampir mendekati pengguna jaringan. Sinyal optik tersebut kemudian diubah menjadi sinyal elektrik di akhir jaringan dengan menggunakan *Optical Network Unit (ONU)* [11].

Dalam pendistribusian jaringan FTTH secara umum digunakan 2 topologi, yaitu:

1. *Point-to-multipoint (P2MP)* dimana transmisi satu *fiber* dari sentral *office* dihubungkan dengan *splitter* yang dibagi untuk beberapa pengguna Gambar 2. Pada topologi ini dapat dikombinasikan antara teknologi PON dan *Ethernet Active* yang menggunakan daya listrik pada beberapa perangkat dalam mendistribusikan sinyal.
2. *Point-to-point (P2P)* dimana setiap pelanggan memiliki koneksi langsung dengan sentral *office* Gambar 3. Topologi ini memerlukan kabel *fiber* yang lebih banyak dan lebih ideal untuk cakupan daerah yang kecil dan dekat dengan sentral *office*.



Gambar 2 Point-to-multipoint (P2MP) [7]



Gambar 3 Point-to-point (P2P) [7]

### D. Quality of Service (QoS)

QoS adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang baik dengan menggunakan sumber daya yang ada tanpa memperluas jaringan tersebut, sehingga sumber daya yang ada digunakan secara efisien tanpa mempengaruhi kinerja lalu lintas jaringan.

1. *Packet Loss* menunjukkan jumlah total paket yang hilang pada jaringan. Jika total paket yang hilang tinggi, maka tingkat efisiensi jaringan secara keseluruhan akan berkurang karena proses pengiriman ulang dari paket yang hilang tersebut. Untuk menghitung *packet loss* dapat menggunakan Persamaan 1 berikut:

$$packet\ loss = \left( \frac{paket\ terkirim - paket\ diterima}{paket\ terkirim} \right) \times 100\% \quad (1)$$

2. *Delay (Latency)* merupakan waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari pengirim ke penerima dalam suatu jaringan. Penundaan memiliki dampak langsung terhadap kepuasan pengguna layanan.
3. *Jitter* merupakan variasi dari *delay* antar paket yang diterima pengguna suatu jaringan.

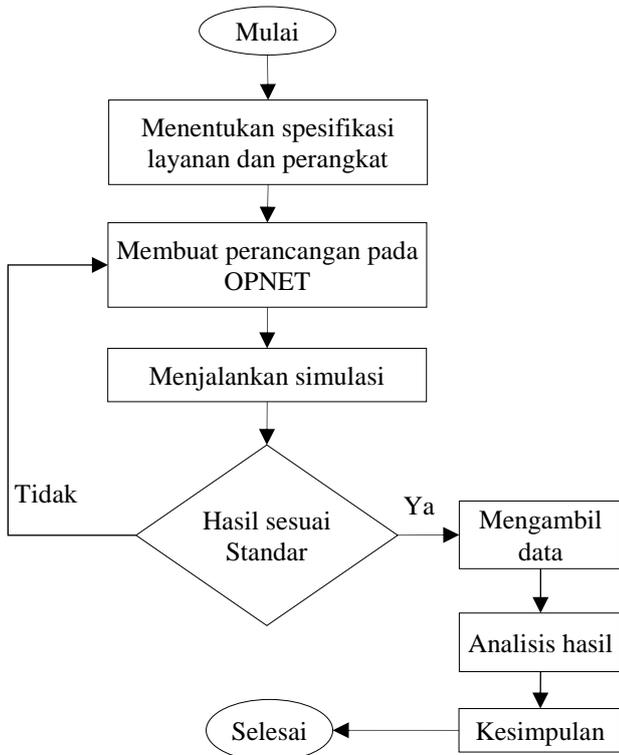
Tabel 1 memperlihatkan standar nilai QoS yang telah ditentukan oleh ITU-T untuk layanan multimedia.

TABEL 1 PARAMETER KEPUASAN QoS [12]

Kategori	Packet Loss	Peak Jitter (ms)	Besar Delay (ms)
Sangat bagus	0%	0	0 - 150
Bagus	1-3 %	0 – 75	
Sedang	4-15 %	76 – 125	150 – 400
Jelek	16-25 %	125 – 225	> 400

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat simulasi, alat yang dibutuhkan adalah perangkat komputer yang memiliki spesifikasi yang cukup dan telah terintegrasi dengan *software* Opnet Modeler 14.5. Diagram alir tahapan penelitian ini secara rinci dapat terlihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Diagram alir perancangan jaringan EPON

Metode perancangan yang dilakukan adalah dengan mengambil acuan perhitungan kebutuhan layanan dan jumlah perangkat dari tugas akhir Ramadhany Darmaningtyas [5] yang kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak Opnet Modeler 14.5. Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kualitas jaringan EPON hasil perancangan dan kemudian dibandingkan dengan standar kualitas layanan yang telah ditentukan oleh ITU-T.

Dalam penelitian ini menggunakan 3 layanan atau lebih di kenal dengan *triple play* yaitu layanan data, video dan telepon. Tahap pertama adalah menentukan spesifikasi tiap layanan yang digunakan pada penelitian ini. Adapun spesifikasi layanannya sebagai berikut:

#### A. Quality of Service (QoS)

Penentuan QoS perancangan berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh ITU-T untuk multimedia [12] dengan kategori Sangat bagus dan bagus untuk semua layanan. Berikut penentuan QoS untuk perancangan jaringan EPON :

TABEL 2 PENENTUAN NILAI QoS UNTUK PERANCANGAN JARINGAN EPON

Kategori	Packet Loss	Peak Jitter (ms)	Besar Delay (ms)
Sangat bagus	0%	0	0 - 150
Bagus	1-3 %	0 – 75	

#### B. Telepon

Spesifikasi untuk layanan telepon yang digunakan terlihat pada Tabel 3 berikut:

TABEL 3 SPESIFIKASI LAYANAN TELEPON

Attribute	Value
Encoder scheme	G.711
Voice frame per packet	1
Type of service	Interactive voice (6)
Signaling	H.323 [13]
Incoming Conversation Environment	Land phone - Quiet room
Outgoing Conversation Environment	Land phone - Quiet room
Traffic Mix (%)	All Discrete
Data Rate	64 – 100 kbps [13]
Jumlah node	154

#### C. Video

Untuk video digunakan 2 layanan yaitu IP CCTV dan Video on Demand (VoD) atau sebagai IP TV. Spesifikasi untuk layanan video terlihat pada Tabel 4 berikut:

TABEL 4 SPESIFIKASI LAYANAN VIDEO

Attribute	Value	
	IP TV	IP CCTV
Frame Interarrival Time Information	30 fps [13]	30 fps[13]
Frame Size Information (bytes)	352X240 pixels	128X240 pixels
Type of Service	Streaming Multimedia (4)	Streaming Multimedia (4)
Traffic Mix (%)	All Discrete	All Discrete
Data Rate	10 – 15 Mbps [13]	2 – 3 Mbps [13]
Jumlah node	44	317

#### D. Data

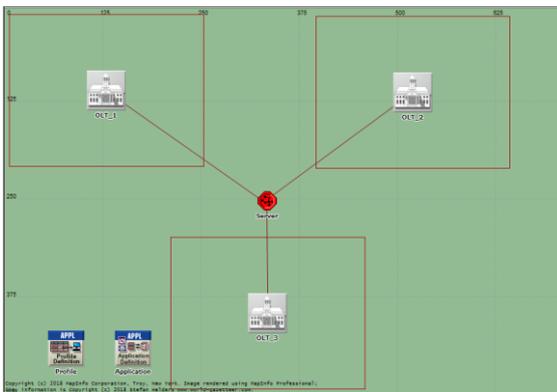
Adapun layanan data yang dimaksud adalah layanan yang digunakan untuk menghubungkan perangkat seperti komputer/laptop dan smartphone dengan internet baik melalui jaringan LAN maupun Access Point (AP). Adapun spesifikasi layanan data seperti pada Tabel 5 berikut:

TABEL 5 SPESIFIKASI LAYANAN DATA

Attribute	Value
HTTP Specification	HTTP 1.1
Type of Service	Best Effort (0)
Data Rate	2 – 3 Mbps [13]
Jumlah node	533

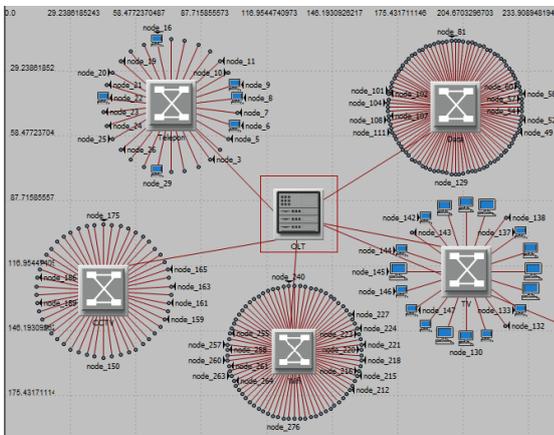
E. Perancangan Simulasi

Perancangan ini menggunakan topologi P2MP. Peletakan 3 buah OLT untuk memenuhi kebutuhan layanan di 4 gedung yaitu gedung K.H. Mas Mansur (FTI), K.H.A. Wahid Hasyim (FIAI), Lab terpadu FMIPA dan gedung Dr. Mohammad Natsir (FTSP) terlihat pada Gambar 5. Layanan dikirim dari tiap-tiap OLT kemudian melewati switch sebagai pembagi jaringan menuju node-node workstation yang digunakan sebagai end-user atau pengguna layanan. Hasil yang didapat dari simulasi berupa nilai packet sent, packet received dan delay yang kemudian di export ke excel. Dari nilai-nilai tersebut digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kualitas QoS dari jaringan yang dibuat. Parameter QoS yang dianalisis yaitu packet loss, delay dan jitter pada layanan telepon dan video, sedangkan untuk layanan data berupa nilai page response time yang kemudian parameter-parameter tersebut dibandingkan dengan standarisasi kualitas layanan oleh ITU-T.



Gambar 5 Pemodelan OLT

Topologi P2MP juga digunakan untuk mendistribusikan jaringan EPON dari OLT menuju end-user atau pengguna seperti yang terlihat pada Gambar 6.

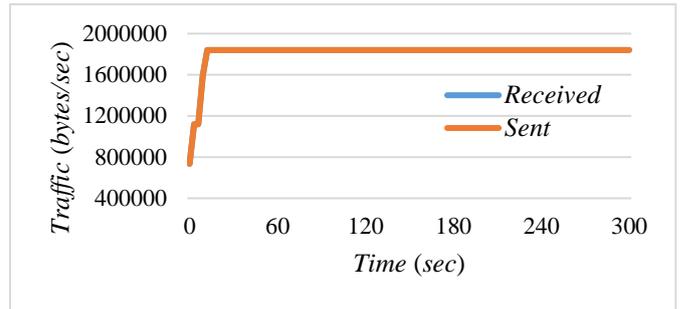


Gambar 6 Node end-user pada setiap OLT

II. HASIL DAN ANALISIS

Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik dan dihitung rata-rata dari nilai yang didapat. Cara ini dilakukan agar dapat lebih mudah untuk menganalisis data tersebut.

A. Telepon

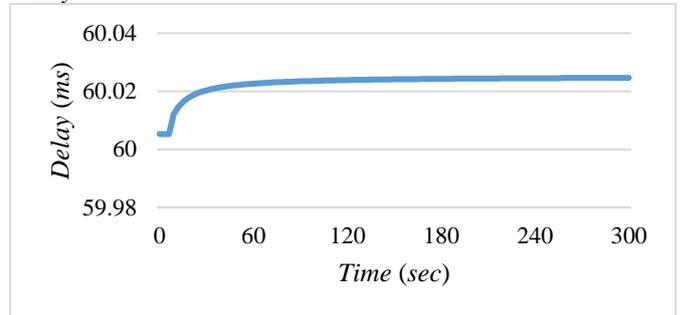


Gambar 7 Hasil packet sent dan packet received telepon

Packet Loss

Pada Gambar 7 terlihat packet sent dan packet received bertumpang-tindih membuktikan bahwa nilai packet loss adalah 0%. Dengan demikian tidak ada paket yang hilang selama pengiriman informasi dari server sampai ke pengguna. Nilai packet loss ini termasuk dalam kategori sangat bagus dengan mengacu pada Tabel 1.

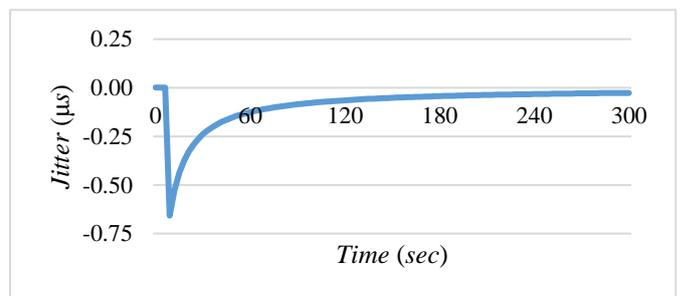
Delay



Gambar 8 Delay layanan telepon

Gambar 8 menunjukkan nilai delay yang terjadi pada layanan telepon. Rata-rata nilai delay pada layanan telepon sebesar 60,02 ms. Nilai delay yang sangat rendah membuat suara yang terdengar tidak ada penundaan selama telepon berlangsung. Nilai tersebut termasuk dalam kategori baik dengan mengacu pada Tabel 1.

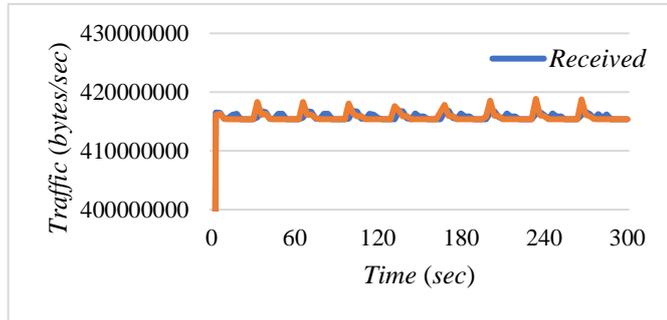
Jitter



Gambar 9 Jitter layanan telepon

Gambar 9 memperlihatkan nilai rata-rata *jitter* yang didapat untuk layanan telepon. Nilai rata-rata *jitter* adalah sebesar  $-0,09 \mu\text{s}$ . Nilai *jitter* yang negatif disebabkan oleh adanya gangguan paket sehingga *delay* waktu yang dibutuhkan untuk mengirim paket lebih sedikit, begitu juga sebaliknya jika nilai *delay* lebih banyak maka nilai *jitter* akan menjadi positif [14]. Nilai *jitter* yang negatif menunjukkan bahwa paket tiba lebih awal dari yang seharusnya [15], [16].

### B. Video



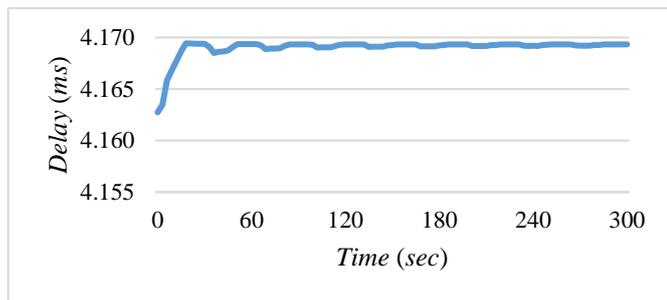
Gambar 10 Hasil *packet sent* dan *packet received* video

Simulasi yang dilakukan untuk video meliputi 2 layanan yaitu IP TV dan IP CCTV. Hasil simulasi yang berupa *video conferencing* dimana kedua layanan tersebut dijadikan satu keluaran. Total *traffic sent* layanan video adalah 41444193237,3 bytes/s sedangkan total *traffic received* adalah 41444190720 bytes/s.

### Packet Loss

Setelah di *export* ke *excel* terlihat perbedaan paket yang diterima pengguna dan yang terkirim dari server. Dengan menggunakan Persaman 1 didapat nilai *packet loss* pada layanan video adalah sebesar 0,0000061%. Nilai *packet loss* tersebut termasuk dalam kategori sangat bagus dengan mengacu pada Tabel 1 dengan nilai di bawah dari 1%.

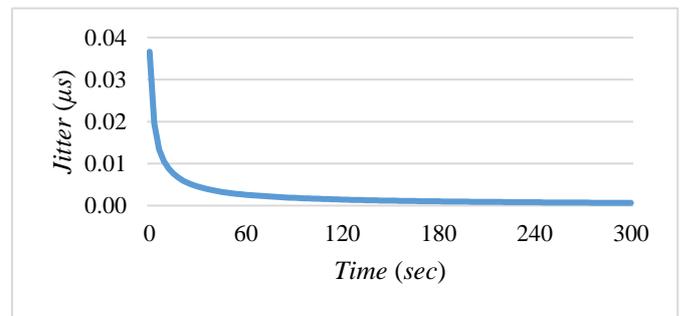
### Delay



Gambar 11 *Delay* layanan video

Pengambilan data pada layanan video pada Gambar 11 didapat nilai rata-rata *delay* sebesar 4,2 ms. Nilai *delay* yang kecil sangat berpengaruh untuk komunikasi video yang membutuhkan transfer data terus menerus secara *real time* yang sensitif terhadap *delay*. Nilai tersebut termasuk dalam kategori baik dengan mengacu pada Tabel 1.

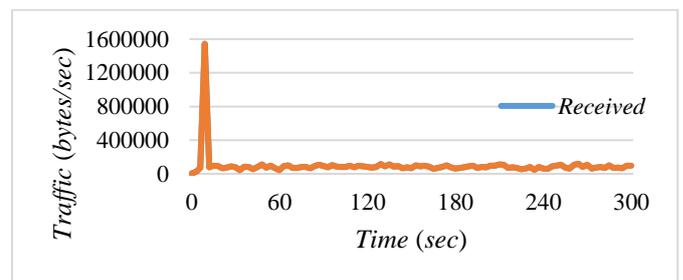
### Jitter



Gambar 12 *Jitter* layanan video

Pengambilan data untuk nilai rata-rata *jitter* adalah variasi *delay* yang terjadi antar paket. *Jitter* pada Gambar 12 setelah dirata-ratakan didapat nilai sebesar  $0,0025 \mu\text{s}$ . Nilai rata-rata *jitter* tersebut termasuk dalam kategori bagus dengan mengacu pada Tabel 1. Nilai *jitter* yang sangat rendah membuat gambar maupun suara yang diterima oleh pengguna sangat jernih tanpa ada penundaan gambar yang terkirim *frame* demi *frame*.

### C. Data

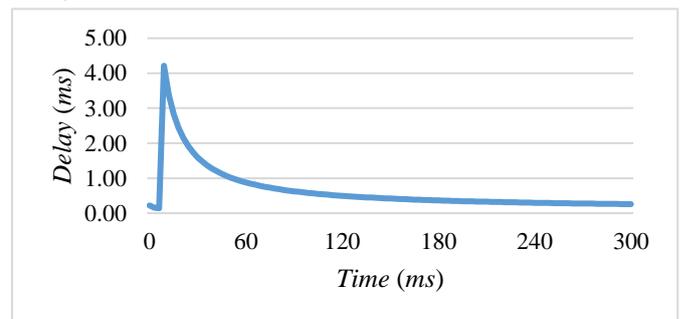


Gambar 13 Hasil *packet sent* dan *packet received* data

### Packet Loss

Pengambilan data *packet sent* dan *packet received* untuk layanan data setelah di *export* ke *excel* tidak terjadi perubahan seperti yang terlihat pada Gambar 13. Tidak adanya perubahan pada *packet sent* dan *packet received* menunjukkan bahwa *packet loss* layanan data adalah 0%. Hal ini menandakan bahwa tidak adanya kehilangan paket selama proses pengiriman informasi dari *server* menuju ke pengguna layanan. Nilai tersebut termasuk dalam kategori sangat bagus dengan mengacu pada Tabel 1 Parameter kepuasan QoS [12]Tabel 1.

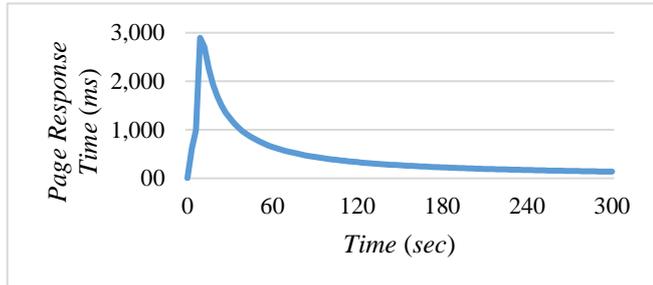
### Delay



Gambar 14 *Delay* layanan data

HTTP menggunakan protokol TCP sebagai lapisan *transport*. Oleh karena itu, nilai *delay* pada layanan data ini diambil dari *delay* pada protokol TCP. Didapat nilai rata-rata *delay* adalah sebesar 0,71 ms. Waktu *delay* yang sangat rendah membuat pengguna tidak memerlukan waktu lama dalam melakukan *browsing* dengan internet. Mengacu pada Tabel 1, nilai *delay* termasuk dalam kategori baik.

#### Page Response Time



Gambar 15 Page response time layanan data

Hasil nilai dari *page response time* layanan data adalah 468,4 ms. Nilai *response time* yang rendah membuat pengguna layanan tidak membutuhkan waktu yang lama untuk menunggu sebuah halaman pada HTTP termuat secara utuh. Nilai tersebut termasuk dalam kategori yang dapat di terima berdasarkan [12] dimana *page response time* yang dapat di terima adalah kurang dari 10 detik.

Hasil keseluruhan perancangan jaringan EPON ini telah memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T. Dengan demikian jaringan EPON dapat memenuhi kebutuhan layanan *triple play* pada empat gedung yang ada pada wilayah kampus Universitas Islam Indonesia.

### III. KESIMPULAN

Perangkat yang digunakan dalam merancang simulasi jaringan EPON yang mendukung layanan *triple play* untuk 4gedung di wilayah kampus terpadu Universitas Islam Indonesia antara lain OLT, splitter, dan ONU di titik akhir jaringan dengan 1000Base-X sebagai media transmisi data.

Pada layanan telepon, dengan tidak adanya paket yang hilang ketika pengiriman paket informasi serta nilai *jitter* yang kecil yaitu hanya -0,09  $\mu$ s membuat suara yang diterima oleh pengguna sangat jernih dan tidak terputus-putus. Pada layanan video, nilai *delay* yang sangat kecil yaitu 4,2 ms membuat layanan video tidak ada perlambatan walaupun terjadi kehilangan paket selama pengiriman informasi data sebesar 0,0000061%. *Page response time* sebesar 468,4 ms membuat perpindahan satu halaman ke halaman lainnya pada saat browsing dengan menggunakan HTTP sangat cepat dan tidak harus menunggu lama. Secara keseluruhan nilai QoS yang didapat sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T.

- [1] L. H. Nasution, "Pemanfaatan Internet Guna Mendukung Kegiatan Perkuliahan Mahasiswa Program Pascasarjana UNIMED," *Univ. Sumatra Utara*, 2006.
- [2] A. R. Saleh, "Pengembangan Perpustakaan Digital," 2014.
- [3] "Penetrasi & Perilaku Pengguna Internet Indonesia." Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), 2017.
- [4] I. Novianto, "Perilaku Penggunaan Internet di Kalangan Mahasiswa," *Surabaya Univ. Airlangga*, 2011.
- [5] Ramadhany Darmaningtyas, "Perancangan Jaringan Passive Optical Network (PON) Di Kampus Universitas Islam Indonesia," Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, 2014.
- [6] R. A. K. Chaniago, "Analisa Performa Gigabit Passive Optical Network (GPON) Pada Data Rates Yang Berbeda-Beda," 2017.
- [7] D&O Committee, "FTTH Handbook Edition 7," 16-Feb-2016. [Daring]. Tersedia pada: [http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/FTTH\\_H\\_Handbook\\_V7.pdf](http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/FTTH_H_Handbook_V7.pdf). [Diakses: 05-Apr-2018].
- [8] M. El-Sayed, "Tutorial Fiber-To-The-X: Technologies & Economics," in *Networks 2008 - The 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium*, 2008, vol. Supplement, hal. 1–96.
- [9] P. E. Green, "Fiber To The Home White Paper," *Telecommun. Consultant Feb*, vol. 21, 2003.
- [10] K. S. Kim, "On The Evolution of PON-Based FTTH Solutions," *ArXiv Prepr. ArXiv14042415*, 2014.
- [11] S. Rahmatia dan A. Syahriar, "FTTH di Dunia Telekomunikasi," Universitas Al Azhar Indonesia, 2008.
- [12] T. ITU, "G. 1010: End-User Multimedia QoS Categories," *Tech. Rep. ITU*, 2001.
- [13] Scott Beer, "How To Determine Bandwidth Requirements," 2008. [Daring]. Tersedia pada: [www.ingate.com/files/Application\\_Note\\_Bandwidth.pdf](http://www.ingate.com/files/Application_Note_Bandwidth.pdf). [Diakses: 19-Mei-2018].
- [14] M. Winatha, "Analisis Pengaruh Perubahan Codec Terhadap Quality Of Service VoIP Pada Jaringan UMTS," *J. Ilm. Mhs. SPEKTRUM*, no. Vol 1, No 01 (2014): Jurnal Ilmiah Mahasiswa SPEKTRUM, 2014.
- [15] M. H. Miraz, S. A. Molvi, M. Ali, M. A. Ganie, dan A. H. Hussein, "Analysis of QoS of VoIP Traffic Through WiFi-UMTS Networks," *CoRR*, vol. abs/1708.05068, 2017.
- [16] L. Magalhaes dan R. Kravets, "Transport Level Mechanisms for Bandwidth Aggregation on Mobile Hosts," in *Proceedings Ninth International Conference on Network Protocols. ICNP 2001*, 2001, hal. 165–171.