

STUDI KELAYAKAN KUALITAS LAYANAN PENYAMPAIAN KONTEN MULTIMEDIA MELALUI JARINGAN BERKAPASITAS TERBATAS

Jay Idoan Sihotang
Fakultas Teknologi Informasi Universitas Advent Indonesia

Abstrak

Pengembangan teknologi yang pesat memberikan kontribusi yang positif terhadap beberapa aspek dalam kehidupan. Penelitian ini akan membahas mengenai transmisi konten multimedia pada jaringan berkapasitas terbatas (up to 5 Mbps), terutama untuk meneliti dampak kelayakan kualitas penyampaian konten multimedia di jaringan berkapasitas terbatas. Metode observasi mencakup pengukuran terhadap jaringan berkapasitas terbatas, dan melakukan simulasi jaringan untuk meneliti akan Quality of Service (QoS) penyampaian konten multimedia pada jaringan berkapasitas terbatas. Multimedia konten yang dikirimkan menggunakan konfigurasi H264 720p. Simulasi yang dibangun berdasarkan dari hasil pengukuran lapangan, dan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa kondisi jaringan di jaringan pengujian cukup dan layak dalam kualitas layanan penyampaian konten multimedia walau berada di jaringan berkapasitas terbatas.

Kata Kunci: *Multimedia Delivery, Limited Bandwidth, Rural Network, QoS*

FEASIBILITY STUDY ON MULTIMEDIA CONTENT DELIVERY QUALITY OF SERVICE OVER LIMITED CAPACITY NETWORK

Abstract

Rapid technological developments contribute a positive impact on some aspects of life. This research will discuss on transmission of multimedia content in the limited capacity network (up to 5 Mbps), especially to study feasibility of multimedia content delivery quality in limited capacity network. Observation methods include measurement of limited capacity network, and simulating the network to study the feasibility of multimedia content delivery Quality of Service (QoS) over limited capacity network. In our research, multimedia content is transmitted using H264 720p configuration. Simulation that was developed based on network measurement results, and configured with research needs. The results of simulation show that the network condition on testbed network were enough and feasible in terms of multimedia content delivery quality of service even through limited capacity network.

Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan Teknologi Informasi (TI) sangat cepat dan mempengaruhi berbagai aspek dalam kehidupan manusia guna menjadi lebih baik. Mulai dari pemerintahan, budaya, sosial, perbankan, industri, dan juga dalam bidang pendidikan. Kemajuan teknologi berjalan beriringan dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan saling berintegrasi satu dengan yang lainnya. Setiap inovasi yang diciptakan dalam bidang teknologi bertujuan untuk membantu dan memberikan manfaat positif bagi kehidupan manusia. Pengguna internet di Indonesia semakin bertumbuh dengan pesat tiap tahunnya namun menghadapi beberapa isu terkait dengan keterbatasan *bandwidth* dari koneksi internet di Indonesia (Kemp, 2015). Kebanyakan dari pengguna mengakses internet untuk saling berbagi konten multimedia, seperti video *chatting*, berbagi foto, hingga pembelajaran jarak jauh (Bandung, Langi dan Hutabarat, 2013). Kualitas dari penyampaian konten multimedia tergantung dari ketersediaan kapasitas *bandwidth* jaringan, karena semakin besar atau tinggi kualitas video yang ditransmisikan, maka akan semakin lebih banyak mengonsumsi *bandwidth* (Li, Claypool, Kinicki dan Nichols, 2005) Ada beberapa

parameter yang mempengaruhi kualitas penyampaian konten multimedia seperti *end-to-end delay*, *jitter*, ketersediaan *bandwidth*, fluktuasi akses jaringan, dan *background traffic* (Cranley dan Davis, 2006). Sehubungan dengan pertumbuhan internet, diperlukan pengamatan dan optimalisasi dari penggunaan sumber daya komunikasi dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas dari layanan (Owezarski dan Larrieu, 2004).

Dalam penelitian ini, peneliti melakukan studi akan kelayakan kualitas layanan penyampaian konten multimedia melalui jaringan berkapasitas terbatas dengan melakukan pengukuran lapangan dan validasi melalui simulasi. Beberapa parameter yang digunakan dalam pengukuran lapangan adalah kapasitas *bandwidth*, *end-to-end delay*, dan tingkat *traffic*. Dua parameter yang digunakan untuk memvalidasi dalam observasi dan simulasi terhadap studi kelayakan kualitas layanan penyampaian konten multimedia melalui jaringan berkapasitas terbatas adalah *end-to-end delay* dan *packet loss rate*. Simulasi penyampaian konten audio dan video dilakukan melalui jaringan terkonfigurasi yang disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan.

Metodologi Observasi

Metodologi observasi dalam penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan mempelajari kelayakan dari kualitas layanan penyampaian konten multimedia melalui jaringan berkapasitas terbatas. Metodologi observasi adalah pengembangan dari metodologi karakterisasi (I. Sumardi, 2015) yang dimulai dengan melakukan pengukuran di lapangan untuk mengetahui kondisi aktual dari performansi jaringan di lapangan, dan juga mengukur tingkat *traffic* di jaringan. Simulasi dari transmisi audio dan video dilakukan melalui simulator. Detail dari metodologi observasi yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

A. Pemilihan Parameter Pengukuran Jaringan

Parameter pengukuran jaringan adalah parameter utama yang mempengaruhi kualitas dari penyampaian konten multimedia. Beberapa parameter yang digunakan adalah kapasitas *bandwidth*, *end-to-end delay*, dan tingkat *traffic* untuk mengukur kondisi dari jaringan berkapasitas terbatas. Parameter tersebut dipilih sebagai referensi dalam menggambarkan kondisi aktual dari jaringan di lapangan.

B. Pengukuran dan Investigasi Jaringan

Pengukuran dan investigasi jaringan berkapasitas terbatas dengan menggunakan beberapa teknis untuk mengukur kondisi aktual dari jaringan pengujian. Sebuah investigasi dilakukan terhadap hasil pengukuran jaringan pengujian. Untuk mengukur parameter jaringan, peneliti menggunakan sebuah *host* di jaringan berkapasitas terbatas yang terhubung dengan *host* di kampus melalui VPN. Pengukuran dilakukan selama tiga hari secara berulang dengan interval waktu tertentu dalam jam pembelajaran sekolah untuk menangkap variasi dari *property* pengukuran jaringan. Pengukuran kapasitas *bandwidth* dilakukan dengan menggunakan *jperf* untuk membanjiri kanal dari *host* ke server. Pengukuran kapasitas *bandwidth* dilakukan berulang dengan perbedaan beban *traffic* pada waktu tertentu. Setiap pengulangan dilakukan selama 10 detik dengan interval antar pengulangan sekitar 60 menit. Dalam mengukur *end-to-end delay* dalam jaringan, peneliti menggunakan ICMP *echo request* berukuran 40 dan 1362 *bytes* dengan rentang waktu pengiriman selama 100 detik. Interval antar pengulangan sekitar 60 menit dengan 7 pengulangan. Pengukuran dari tingkat *traffic* dilakukan dengan melakukan pengamatan dan observasi terhadap tiap paket yang dikirim/diterima dari *host* di jaringan pengujian. Observasi dilakukan dengan melakukan koneksi ke SPAN (*Port Mirroring*) yang memungkinkan pengamatan penuh terhadap tiap paket yang ditransmisikan dalam jaringan. Observasi jaringan dilakukan selama 20 menit dalam tiap pengukuran, dengan interval antar pengulangan sekitar 60 menit.

Peneliti melakukan investigasi terhadap parameter pengukuran jaringan yaitu kapasitas *bandwidth*, *end-to-end delay*, dan tingkat *traffic*. Beberapa teknik dilakukan untuk tiap metode pengukuran. Investigasi terhadap kapasitas *bandwidth* diambil dari kanal jaringan yang telah dibanjiri antara *host* ke server. Sementara investigasi terhadap *end-to-end delay* dilakukan dengan menghitung nilai *Round Trip Time* (RTT) dari tiap pengiriman paket. Paket yang dihitung hanya paket dari sumber ke tujuan. Investigasi terhadap tingkat *traffic* dilakukan dengan mengumpulkan data dari pengukuran tingkat *traffic* selama 3 hari pengujian.

C. Simulasi dan Observasi Kualitas Layanan Multimedia

Dalam melaksanakan studi kelayakan kualitas penyampaian konten multimedia, peneliti merancang sebuah simulasi yang menggambarkan kondisi aktual dari jaringan pengujian. Beberapa parameter yang digunakan dalam simulasi adalah kapasitas *bandwidth*, ukuran dari konten audio/video, dan tingkat *traffic* dalam jaringan dalam bentuk *background traffic*. Dalam mensimulasikan penyampaian konten audio, peneliti menggunakan VoIP (*Voice over Internet Protocol*), sementara dalam mensimulasikan penyampaian konten video, peneliti menggunakan UDP (*User Datagram Protocol*). Ukuran dari konten audio/video mengacu kepada konfigurasi H264 720p (International Telecommunication Union, 2016). *Background traffic* yang digenerasikan mengacu kepada rata-rata kondisi aktual tingkat *traffic* yang terjadi di jaringan pengujian selama penelitian di lapangan. Validasi dilakukan terhadap hasil simulasi yang dilaksanakan menggunakan konfigurasi di atas. Pembahasan selengkapnya terkait simulasi dan validasi dari kualitas layanan penyampaian konten multimedia dibahas sebagai berikut.

1. Simulasi Penyampaian Konten Multimedia

Simulasi terdiri atas dua bagian, yaitu simulasi penyampaian konten audio dan penyampaian konten video. Penambahan *background traffic* untuk menggambarkan kondisi *traffic* aktual yang terjadi di jaringan pengujian. Dua parameter yang digunakan sebagai referensi dari penyampaian konten multimedia baik audio maupun video adalah *bitrate* dan ukuran dari konten. Tingkat *bitrate* dari konten audio dan video mengacu kepada konfigurasi H264 720p (International Telecommunication Union, 2016). Ukuran dari *bitrate* penyampaian konten audio/video tergantung kepada nilai dan durasi simulasi. Berdasarkan dari nilai *bitrate*, besar dari tiap paket dapat ditentukan, beserta dengan interval pengiriman paket. Ukuran dari konten audio/video dapat dihitung menggunakan rumus 1 (Sumardi, 2015).

$$PZ = PL \times \frac{1}{interval} \times t \quad (1)$$

Dari rumus 1 di atas, terlihat bahwa ukuran dari paket (*PZ*) terdiri dari panjang paket (*PL*) dikalikan dengan interval antar paket dalam periode waktu tertentu (*t*). Mekanisme penyampaian konten multimedia dalam simulasi untuk paket audio dan video adalah sebagai berikut. Paket dikirimkan dari *host* pertama ke *host* kedua bersamaan dengan transmisi *background traffic*. Kapasitas *bandwidth* yang digunakan mengacu kepada hasil penelitian lapangan. Dengan tujuan untuk menggambarkan kondisi aktual dari jaringan di lapangan.

2. Validasi Studi Kelayakan Kualitas Penyampaian Konten Multimedia

Dalam proses memvalidasi studi kelayakan kualitas penyampaian konten multimedia, dilakukan investigasi terhadap tiap parameter pengukuran. Parameter yang digunakan untuk mengukur QoS adalah *end-to-end delay* dan *packet loss rate* dalam penyampaian konten multimedia. Pada dasarnya untuk menentukan nilai *end-to-end delay* dan *packet loss rate*, peneliti membandingkan *output* dari sinyal dari *codec* audio-video dengan sinyal yang asli. Untuk memenuhi klasifikasi *end-to-end delay* yang cukup, nilai yang dibutuhkan haruslah di bawah 400 ms (*millisecond*), dan lebih baik lagi jika nilai tersebut di bawah 150 ms. Sedangkan untuk *packet loss rate* haruslah di bawah 5% untuk memenuhi standar rekomendasi ITU-T G.114 (International Telecommunication Union, 2000).

Pengukuran Jaringan Pengujian

Penelitian ini menggunakan jaringan pengujian sebagai klien yang berjarak 95 kilometer dari server, di mana klien berada di Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia. Jaringan pengujian terkoneksi dengan server melalui jaringan *broadband* DSL dari salah satu penyedia layanan internet di Indonesia. *Host* klien terkoneksi melalui VPN ke server yang berlokasi di kampus. Jaringan lokal terdiri atas modem ADSL, *router* (SPAN), *switch* dan *access point* yang terintegrasi dalam satu perangkat. Skenario pengukuran dan hasil pengukuran dijelaskan sebagai berikut.

A. Skenario Pengukuran

Skenario pengukuran digunakan sebagai referensi dalam melakukan pengukuran di jaringan pengujian. Skenario ini dirancang untuk menentukan performa jaringan di jaringan pengujian, khususnya terhadap parameter kualitas jaringan yaitu kapasitas *bandwidth*, *end-to-end delay*, dan tingkat *traffic*. Aplikasi yang digunakan dalam pengukuran yaitu *jperf*, *Winbox (Port Mirroring)*, dan *Wireshark*.

Kapasitas *bandwidth* dapat dihitung dengan membanjiri kanal jaringan menggunakan aplikasi *jperf*. Tiap pengulangan dari pengukuran dilakukan selama 10 detik dengan interval antar pengulangan sekitar 60 menit. *End-to-end delay* diukur menggunakan *ICMP echo request* yang ditransmisikan dari *host* klien ke server dan mendapatkan respon dari *host* server dengan ukuran paket *ICMP* yang sama. Variasi dari ukuran paket adalah 40 *bytes* dan 1362 *bytes* yang merupakan nilai maksimal *MTU* dari jaringan *ADSL* di jaringan pengujian. Tiap pengujian dilakukan selama 100 detik dikali 2 ukuran paket, dan diulang setiap 60 menit. Tingkat *traffic* dari jaringan pengujian diukur melalui observasi jaringan menggunakan aplikasi *Wireshark*. Untuk dapat mengobservasi *traffic* dalam jaringan, dibutuhkan konfigurasi *port mirroring* dengan menjalankan aplikasi *Winbox* di atas *RouterOS* atau dikenal sebagai teknik *SPAN*. Observasi terhadap *traffic* di jaringan dilakukan selama 20 menit, dengan iterasi antar observasi sekitar 60 menit. Pengujian ini dilakukan selama 3 hari dalam jam efektif pembelajaran di sekolah yaitu dari jam 07.00 *WIB* hingga 14.00 *WIB*.

B. Hasil Pengukuran Jaringan

Hasil dari pengukuran jaringan dilakukan sesuai dengan skenario yang dibanding pada bagian sebelumnya. Investigasi terhadap tiap parameter adalah sebagai berikut.

1. Kapasitas *Bandwidth*

Hasil dari pengukuran kapasitas *bandwidth* jaringan pengujian di Sukabumi menunjukkan adanya fluktuasi. Kapasitas *bandwidth* kurang dari 5 *Mbps*, yang berkisar dari 1.7 *Mbps* ke 4.76 *Mbps* sebagai nilai kapasitas *bandwidth* tertinggi. Dari membanjiri kanal jaringan selama 10 detik dalam 7 pengulangan di tiga hari pengujian, rentang dari kapasitas *bandwidth* cukup bervariasi. Pengujian jaringan di Sukabumi menghasilkan rata-rata kapasitas *bandwidth* sebesar 3.61 *Mbps*. Fluktuasi dari kapasitas *bandwidth* dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas *Bandwidth* dari Jaringan Pengujian (*Mbps*)

Hari ke-1			
Iterasi	Durasi (detik)	Transfer Data (MB)	Kapasitas <i>Bandwidth</i> (Mbps)
1	10,5	5,63	4,49
2	11,1	3,25	2,46
3	10,3	4,0	3,25
4	10,3	2,13	1,73
5	11,5	2,25	1,65
6	10,2	5,50	4,52
7	11,7	2,25	1,70
Hari ke-2			
Iterasi	Durasi (detik)	Transfer Data (MB)	Kapasitas <i>Bandwidth</i> (Mbps)
1	10,2	4,63	3,80
2	11	5,50	4,19
3	10,4	5,88	4,76
4	10,5	4,00	3,19
5	10,2	5,75	4,75
6	10,4	5,88	4,75
7	10,3	5,50	4,46
Hari ke-3			
Iterasi	Durasi (detik)	Transfer Data (MB)	Kapasitas <i>Bandwidth</i> (Mbps)

1	10,7	3,25	2,54
2	10,2	5,13	4,21
3	11,2	2,38	1,78
4	10,9	5,75	4,44
5	10,2	5,13	4,20
6	10,4	5,38	4,34
7	10,4	5,63	4,53

2. End-to-end Delay

End-to-end delay dari jaringan pengujian dikalkulasi dengan mengukur RTT dari tiap pengiriman paket dan dibagi dengan 2. Nilai rata-rata dari *end-to-end delay* di jaringan pengujian adalah 60.50 ms. Detail dari fluktuasi nilai *end-to-end delay* untuk tiap ukuran paket dipresentasikan di Tabel 2.

Tabel 2. *End-to-end Delay* di Jaringan Pengujian (ms)

Iterasi	<i>End-to-end Delay</i>		
	40B	1362B	Avg.
1	59,63	37,37	48,50
2	38,33	43,72	41,02
3	89,36	49,79	69,58
4	59,23	79,96	69,60
5	82,34	127,16	104,75
6	35,75	34,98	35,32
7	56,31	53,15	54,73

3. Tingkat *Traffic*

Hasil dari observasi dan pengukuran terhadap tingkat *traffic* di jaringan pengujian yang berlokasi di Sukabumi menyajikan rentang tingkat *traffic* yang komprehensif. Observasi yang dilakukan selama 3 hari dengan berbagai perangkat yang tersambung ke jaringan, menghasilkan fluktuasi data yang dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3. Fluktuasi Tingkat *Traffic* di Jaringan Pengujian (Mbps)

Iterasi	Tingkat Laju <i>Traffic</i>		
	Hari 1	Hari 2	Hari 3
1	1,250	1,510	1,363
2	1,245	1,266	0,591
3	1,071	1,305	0,711
4	3,905	1,256	0,941
5	0,551	1,906	0,700
6	0,980	1,966	0,760
7	1,337	3,123	2,248

Fluktuasi yang terjadi dalam observasi memiliki hubungan dengan jumlah koneksi yang terkoneksi ke AP. Penggunaan aplikasi internet dari perangkat yang terkoneksi juga mempengaruhi tingkat *traffic*. Tingkat *traffic* terendah terjadi di hari yang pertama dari observasi dalam iterasi ke-5 yang bernilai 0.551 Mbps. Tingkat *traffic* tertinggi terjadi dalam hari yang sama dengan nilai 3.905 Mbps yang terjadi di iterasi ke-4. Rata-rata, tingkat *traffic* dari jaringan pengujian adalah 1.428 Mbps. Nilai rata-rata tingkat *traffic* dibandingkan dengan nilai kapasitas *bandwidth* adalah senilai 30% dari nilai kapasitas *bandwidth* tertinggi dari jaringan pengujian.

Simulasi dan Observasi QoS Penyampaian Konten Multimedia

Dalam melakukan simulasi penyampaian konten multimedia di jaringan berkapasitas terbatas, terdapat beberapa teknik yang digunakan dalam mengobservasi hasil dari simulasi. Beberapa dari teknik tersebut dijelaskan sebagai berikut.

A. Pemodelan Simulasi Jaringan

Untuk membangun simulasi jaringan, peneliti menggunakan aplikasi OMNet++ yang terintegrasi dengan kerangka kerja INET dalam satu aplikasi. Simulasi jaringan terdiri dari beberapa komponen yaitu *wireless hosts*, *access point*, *routers*, koneksi ETH100M, koneksi ISP, dan internet *cloud*. Tiap *host* terkoneksi ke *access point* melalui jaringan nirkabel dengan nilai maksimum *datarate* di kanal sebesar 54 Mbps. *Datarate* dari kanal diatur dan diadaptasi dari hasil pengukuran kapasitas *bandwidth* di lapangan. Simulasi ini menggunakan nilai kapasitas *bandwidth* sesuai dengan hasil pengukuran di lapangan, dengan nilai kapasitas *bandwidth* tertinggi sebesar 4.76 Mbps dan nilai *end-to-end delay* sebesar 60.50 ms sebagai parameter dalam membangun simulasi jaringan. Nilai *datarate* di internet *cloud* diasumsikan memiliki jaringan internet berkecepatan tinggi dengan nilai sebesar 100 Mbps.

B. Skenario Penyampaian Konten Multimedia

Konten multimedia ditransmisikan melalui beberapa tahap dalam skenario simulasi dengan tujuan untuk mengukur dan memvalidasi kelayakan kualitas layanan penyampaian konten multimedia melalui jaringan berkapasitas terbatas. Penyampaian konten multimedia antara *host server* dan klien dalam simulasi ini menggunakan komunikasi satu arah. Penyampaian konten multimedia mencakup transmisi audio dan video dengan *background traffic* agar dapat menggambarkan kondisi aktual dari jaringan di lapangan. Penyampaian konten multimedia dilakukan selama 100 detik. Konfigurasi dari penyampaian konten multimedia yaitu audio dan video, serta *background traffic* dijelaskan sebagai berikut.

1. Audio

Penyampaian dari konten multimedia yaitu paket audio disimulasikan menggunakan aplikasi UDP dalam kerangka kerja INET, lebih spesifik yaitu *simpleVoIPSender* dan *simpleVoIPReceiver*. Dua parameter yang digunakan dalam aplikasi UDP adalah *talkPacketSize* dan *packetizationInterval*. Untuk mengadaptasi konfigurasi penyampaian audio H264 dengan ukuran 64 Kbps, nilai *talkPacketSize* adalah 160 *bytes*, dan nilai dari *packetization* interval diatur di 0.02 detik.

2. Video

Dalam rangka untuk mensimulasikan penyampaian paket video, peneliti menggunakan aplikasi UDP yang terdapat dalam kerangka kerja INET. Untuk mensimulasikan penyampaian paket video yang serupa dengan paket audio, peneliti menggunakan konfigurasi H264 720p dengan nilai *bitrate* 2496 Kbps (Patterson, 2012). Dalam simulasi ini, parameter penyampaian paket video yang ditransmisikan menggunakan *packetLen* berukuran 128 *bytes* dengan *sendInterval* bernilai 0.004 detik.

3. Background Traffic

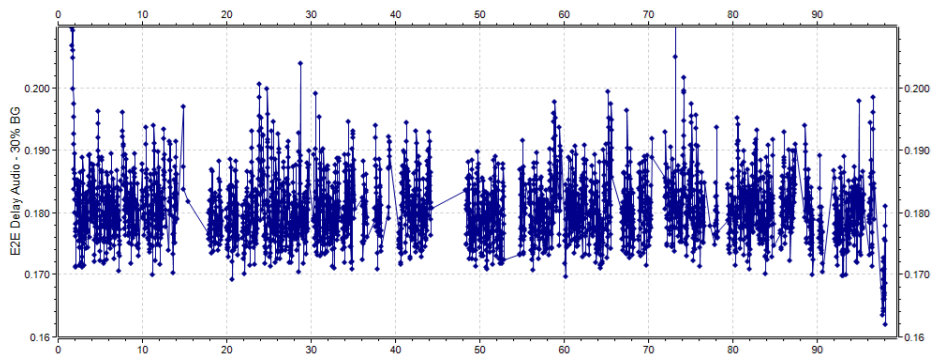
Background traffic disimulasikan menggunakan aplikasi UDP dalam kerangka kerja INET. Dalam simulasi ini *background traffic* digenerasikan sesuai dengan kondisi *traffic* aktual di lapangan. Berdasarkan dari pengukuran lapangan, *datarate* dari *background traffic* bernilai 1.428 Mbps. Maka dalam melakukan generasi *Background traffic*, nilai properti *messageLength* adalah sebesar 357 *bytes* dan *sendInterval* selama 0.002 detik.

C. Observasi dan Validasi Hasil Simulasi

Pengukuran QoS penyampaian konten multimedia menggunakan *background traffic* sebesar 1.428 Mbps. Persentase nilai *background traffic* yang digenerasikan ini berdasarkan dari pengukuran tingkat laju *traffic* pada jaringan *testbed*. Detail hasil pengukuran parameter *end-to-end delay* dan *packet loss rate* dijelaskan sebagai berikut.

1. End-to-end Delay Audio

Hasil simulasi penyampaian konten audio dengan *background traffic*, nilai *end-to-end delay* bervariasi dengan nilai rata-rata sebesar 188.95 ms. Nilai *end-to-end delay* terendah adalah sebesar 161.95 ms, sementara nilai *end-to-end delay* tertinggi sebesar 1181.66 ms. Mengacu kepada ITU-T G.114, nilai *end-to-end delay* di bawah 150 ms dinilai dapat diterima dengan kualitas yang baik. Nilai *end-to-end delay* di bawah 400 ms dinilai berkualitas cukup dan masih dapat diterima, sedangkan di atas angka tersebut dinilai tidak layak dan berkualitas buruk. Dalam skenario ini, kualitas audio bernilai cukup dan masih dapat diterima. Detail dari fluktuasi yang terjadi dalam pengukuran *end-to-end delay* dipresentasikan dalam Gambar 1.



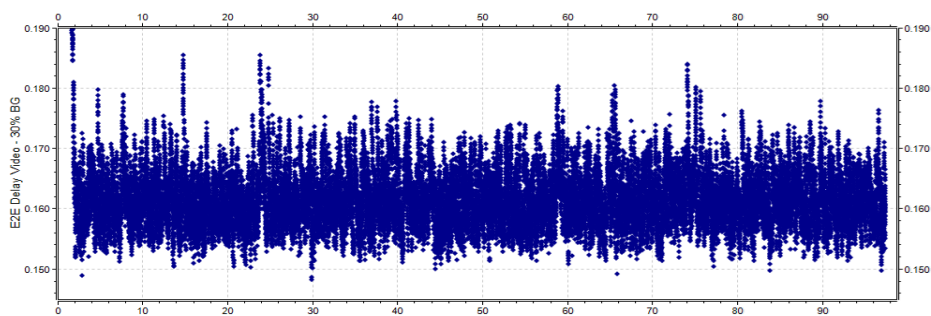
Gambar 1. End-to-end Delay Audio

2. *Packet Loss Rate Audio*

Hasil simulasi penyampaian konten audio yang dipengaruhi oleh *background traffic*, terdapat 3450 paket yang terkirim dari server audio dan sebanyak 3391 paket diterima oleh klien audio. Persentase nilai *packet loss rate* dalam skenario ini adalah sebesar 1.71%. Berdasarkan rekomendasi ITU-T G.114, nilai *packet loss rate* di bawah 1% dinilai dapat diterima dengan kualitas yang bagus. *Packet loss rate* yang bernilai di antara 1% hingga 5% dinilai masih dapat diterima dengan kualitas yang cukup. Kualitas audio dinilai tidak layak diterima dan berkualitas buruk ketika nilai *packet loss rate* berada di atas 5%. Dalam skenario ini, kualitas audio mendapatkan nilai yang cukup dan masih dapat diterima.

3. *End-to-end Delay Video*

Hasil simulasi penyampaian konten video dengan *background traffic*, nilai *end-to-end delay* dari penyampaian konten video bervariasi dengan nilai rata-rata sebesar 161.74 ms. Nilai *end-to-end delay* terendah adalah sebesar 148.15 ms, sementara nilai *end-to-end delay* tertinggi sebesar 236.66 ms. Mengacu kepada ITU-T G.114, nilai *end-to-end delay* di bawah 150 ms dinilai dapat diterima dengan kualitas yang baik. Nilai *end-to-end delay* di bawah 400 ms dinilai berkualitas cukup dan masih dapat diterima, sedangkan di atas angka tersebut dinilai tidak layak dan berkualitas buruk. Dalam skenario ini, kualitas video bernilai cukup dan masih dapat diterima. Detail dari fluktuasi yang terjadi dalam pengukuran *end-to-end delay* dipresentasikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. End-to-end Delay Video

4. *Packet Loss Rate Video*

Hasil simulasi penyampaian konten audio yang dipengaruhi oleh *background traffic*, terdapat 24039 paket yang terkirim dari server video dan sebanyak 23218 paket diterima oleh klien video. Persentase nilai *packet loss rate* dalam skenario ini adalah sebesar 3.42%. Berdasarkan rekomendasi ITU-T G.114, nilai *packet loss rate* di bawah 1% dinilai dapat diterima dengan kualitas yang bagus. *Packet loss rate* yang bernilai di antara 1% hingga 5% dinilai masih dapat diterima dengan kualitas yang cukup. Kualitas video dinilai tidak layak diterima dan berkualitas buruk ketika nilai *packet loss rate* berada di atas 5%. Dalam skenario ini, kualitas video mendapatkan nilai yang cukup dan masih dapat diterima.

Kesimpulan

Paper ini mempresentasikan hasil dari perancangan hingga studi kelayakan kualitas layanan penyampaian konten multimedia pada jaringan terbatas. Simulasi dari jaringan percobaan yang berdasarkan data aktual dari penelitian di lapangan dengan kapasitas *bandwidth* maksimal sebesar 4.76 Mbps, rata-rata *end-to-end delay* sebesar 60.50 ms, serta rata-rata *traffic* di jaringan pengujian selama tiga hari penelitian sebesar 1.428 Mbps menghasilkan sebuah simulasi yang diasumsikan menggambarkan kondisi aktual dari jaringan percobaan sebagai dasar dari studi kelayakan kualitas layanan penyampaian konten multimedia pada jaringan terbatas. Konten multimedia yang dikirimkan menggunakan konfigurasi H264 720p baik untuk konten audio ataupun video, dan dibarengi dengan *background traffic* yang menggambarkan arus lintas *traffic* yang terjadi di jaringan sesuai dengan jaringan pengujian. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa kondisi jaringan di jaringan pengujian cukup dan layak dalam kualitas layanan penyampaian konten multimedia walau berada di jaringan berkapasitas terbatas. Nilai *end-to-end delay* dari Audio maupun Video berada di kategori cukup berdasarkan standar rekomendasi ITU-T G.114 yaitu di bawah 400 ms. Sama halnya dengan *packet loss rate* dari konten audio maupun video berada di bawah 5% yang dinyatakan cukup berdasarkan standar rekomendasi ITU-T G.114.

Referensi

1. Akamai, 2014. "*State of The Internet (Q4 2014)*". [Online]. Available: <http://www.akamai.com/stateoftheinternet/>. [Accessed 28 March 2015].
2. S. Kemp, 2015. "*Digital, Social & Mobile in 2015*," We Are Social, Singapore, 2015.
3. Y. Bandung, A. Z. Langi and M. T. Hutabarat, 2013. "*Digital Learning – Lesson Study (DL-LS) for Teacher Learning Community*". in 2013 Joint International Conference on rICT & ICeV-T, Bali, Indonesia, 2013.
4. M. Li, M. Claypool, R. Kinicki dan J. Nichols, 2005. "*Characteristics of streaming media stored on the Web*" ACM Transactions on Internet Technology (TOIT), vol. 5, no. 4, pp. 601-626, 2005.
5. N. Cranley dan M. Davis, "*The Effects of Background Traffic on the End-to-End Delay For Video Streaming Applications Over IEEE 802.11B WLAN Networks*,". *IEEE PIMRC*, 2006.
6. P. Owezarski dan N. Larrieu, "*Internet traffic characterization – An analysis of traffic oscillations*". High Speed Networks and Multimedia Communications: 7th IEEE International Conference, Toulouse, France, 2004.
7. I. Sumardi, Karakterisasi Kualitas Layanan Multimedia Melalui Jaringan Berkapasitas Terbatas Di Wilayah Pedesaan, Tesis, Bandung: ITB, 2015. (In Bahasa Indonesia)
8. International Telecommunication Union, 2016. "*ITU-T H264 Recommendation Advanced video coding for generic audiovisual services*," ITU, 2016.
9. International Telecommunication Union, 2000. "*One-Way Transmission Time, ITU-T G.114 Recommendation*," 2000.
10. J. R. C. Patterson, 2012. "*Video Encoding Settings for H.264 Excellence*". [Online]. Available: <http://www.lighterra.com/papers/videoencodingh264/>. [Accessed June 2016].