

Pengukuran Kinerja Jaringan IPTV Berbasis QoE Menggunakan Metode ITU-T G1070

Kusdarnowo Hantoro¹,

¹Teknik Informatika, Universitas Bhayangkara Jaya
Jl. Perjuangan No. 1, Bekasi,
kusdarnowo@dsn.ubharajaya.ac.id¹

Abstrak – Meningkatnya popularitas berbagai layanan video khususnya melalui layanan TV berbasis internet seperti IPTV telah membuat studi tentang Quality of Experience (QoE) menjadi penting. ITU-T G-1070 mendefinisikan QoE sebagai ukuran untuk mengevaluasi kualitas layanan seperti yang dirasakan oleh pengguna akhir. Berbagai faktor teknis dan non-teknis mempengaruhi ukuran kualitas baru ini. Di antara faktor-faktor ini adalah yang terkait dengan persiapan layanan, pengiriman dan presentasi ke public. Ini membuat tugas mempertahankan QoE pada tingkat yang dapat diterima menjadi tantangan. Arsitektur yang lebih menjanjikan diperlukan untuk memenuhi kepuasan pengguna dan menjaga minat penyedia layanan. Model arsitektur berlapis diarahkan pada cakupan lapisan infrastruktur jaringan IPTV yang terdiri dari kesiapan layanan (*headend*), pengiriman (*core network*) dan presentasi layanan ke public (*access network*). Tingkat kualitas di tiap lapisan dinilai dari QoEnya. Pengujian dilakukan secara langsung (*empiris*) dengan cara mengalirkan video dengan bit rate antara 1000 hingga 8000 kbps. Pada masing-masing lapisan jaringan dilakukan pengukuran data-data QoS. Selanjutnya dihitung QoEnya menggunakan ITU-T G.1070 dan membandingkan komputerkan video dengan hasil pengukuran ITU-T G.1070. Kontribusi dari makalah ini adalah untuk mengoptimalkan layanan streaming video secara empiris untukantisipasi terhadap masalah degradasi QoE dalam jaringan dengan mengendalikan penerimaan di tiap lapisan.

Kata Kunci – *Quality of Service, Quality of Experience, Mean Opinion Score, IPTV, video streaming, ITU-T G.1070*

PENDAHULUAN

Saat ini, industri perlahan-lahan beralih dan migrasi dari TV konvensional ke era TV digital. Sebagian besar operator TV meningkatkan jaringan mereka dan memasang standar lebih lanjut yang berupa digital. Operator mengajak pelanggan ke teknologi mutakhir dari teknologi analog ke digital

lalu ke layanan lebih canggih yang dikenal dengan TV berbasis Internet Protocol (IPTV). IPTV adalah istilah yang menggambarkan sebuah sistem yang memungkinkan penyampaian program *real-time* televisi, film, dan jenis-jenis konten video interaktif melalui jaringan berbasis IP[1]

Perkembangan jaringan computer LAN (*Local Area Network*) yang hanya dapat berbagi layanan secara terbatas di suatu area saja dengan adanya internet memberikan peluang layanan yang sangat luas dan tidak terbatas pada area tertentu saja yang dikenal dengan WAN (*Wide Area Network*). Perkembangan spektrum *broadband* data dengan kecepatan tinggi memberi peluang layanan televisi digital berbasis IP (*Internet Protocol*) disebut dengan IPTV. Menggunakan jaringan IP berarti membutuhkan kehandalan jaringan yang baik yang dapat menjamin kualitas layanan yang dapat dirasakan oleh pelanggan (*Quality of Experience/QoE*). QoE merupakan nilai hasil pengukuran kualitas layanan jaringan yang sangat dibutuhkan oleh penyedia layanan multimedia seperti IPTV. Dengan mendapatkan nilai ini, maka para penyedia layanan bisa memberikan layanan sesuai dengan nilai QoE yang didapatkan sehingga bisa memberikan kepuasan kepada para pengguna layanannya (karena pengguna layanan dapat memetakan kualitas layanan sesuai dengan yang ditawarkannya)[2]. Nilai kualitas jaringan diantaranya ditentukan oleh faktor kesesuaian persepsi pengguna layanan internet dan nilai QoE [3] Arianit Maraj dan Adrian Shehu [4] dari Polytechnic University Kosovo melakukan penelitian tentang aspek-aspek yang mempengaruhi kualitas QoS terhadap QoE yang merupakan kriteria utama dalam implementasi pada jaringan layanan IPTV. Markus Fiedler[5] mengajukan suatu formulasi generik yang menghubungkan parameter QoE dan QoS secara eksponensial, disebut dengan hipotesa IQX.

Ketidakpuasan layanan tergantung pada dampak dari kehilangan paket, yang didistribusikan di jaringan berbasis IP,[6] sesuai ukuran kualitas pengalaman (QoE), seperti kualitas video yang dirasakan oleh pengguna akhir[7],[8]. Transmisi yang handal pada jaringan ad hoc menjadi kunci yang menentukan kepuasan pelanggan[9]. Karenanya paket transmisi yang dapat mendorong

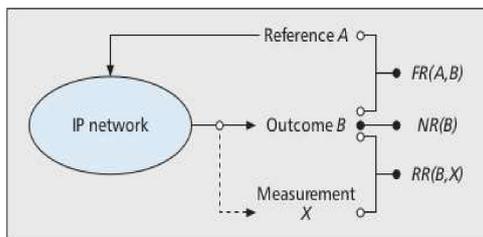
peningkatan pelayanan harus dioptimalkan[10]. Alternatif-alternatif model transmisi dengan berbagai bit rate diharapkan menemukan solusinya[11]. Sebagai apresiasi terhadap hubungan kuantitatif QoS dan QoE ITU menyusun standar G.1070[12].

METODE PENELITIAN

Pengertian dari QoE (*Quality of Experience*) menurut ITU-T Focus Group [13] adalah persepsi subyektif pemakai (*end user*) terhadap keseluruhan pemanfaatan aplikasi atau layanan.

Terdapat tiga metodologi untuk pengukuran QoE seperti ditunjukkan pada Gambar 4, yaitu :

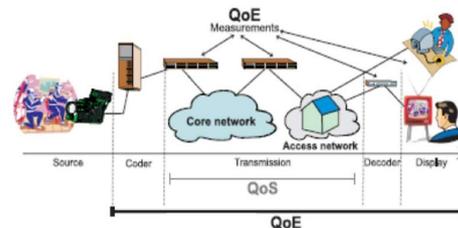
1. *No-Reference Model* (NR), NR tidak memerlukan pengetahuan dari sumber asli untuk pembandingan dalam memprediksi QoE saat memantau parameter-parameter QoS pada kondisi nyata (*real time*).
2. *Reduce-Reference Model* (RR), menggunakan pengetahuan yang terbatas dari sumber aslinya untuk dikombinasikan saat pengukuran pada kondisi nyata (*real time*) agar mendapat prediksi nilai QoE.
3. *Full-Reference Model* (FF), menggunakan pengetahuan dari sumber asli sebagai referensi saat pengukuran sebenarnya.



Gambar 2 Diagram Metode-metode Penelitian Pengukuran QoE

Cara yang paling dapat diandalkan untuk mengukur QoE adalah tes subyektif, dimana biasanya urutan video disajikan kepada pemirsa yang berbeda, dan hasilnya dirata-ratakan. Tes subyektif sulit untuk diterapkan, dan perlu waktu yang cukup. Untuk alasan ini, dikembangkan metode pengukuran RR dengan menggunakan kualitas metrik berbeda untuk mengevaluasi dan estimasi kualitas video. Yamagishi dari NTT DoComo[12] mengusulkan kepada ITU sebuah model matematis eksperimental yang kemudian menjadi rekomendasi untuk pengukuran QoE yaitu

ITU-T G.1070. Tidak seperti pengukuran QoS yang dilakukan hanya terhadap jalur komunikasi, pengukuran QoE IPTV meliputi pula proses *coding/decoding*, analisa jaringan transmisi dan persepsi dari pelanggan [14], seperti ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 1 Pengukuran QoE

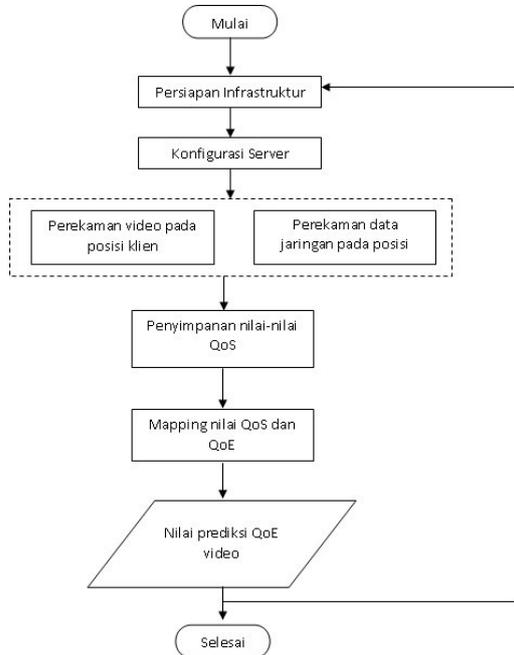
Persepsi pemakai sering dilakukan dengan pengukuran berdasarkan *Mean Opinion Score* (MOS) yang diperoleh dari beberapa tes panel terhadap pemakai. Pada ranah pengukuran QoE menggunakan skala MOS, video dipertimbangkan sebagai *meta-metric* yang dihasilkan dari nilai-nilai metrik lainnya untuk menghasilkan nilai komputasi dari persepsi pemakai. [15]. Dengan mengkombinasikan delay, nilai *jitter* yang diterima, *codec* untuk komunikasi dan *packet loss* maka dapat dihasilkan nilai komputasi untuk memprediksi nilai QoE. [16]

Tabel 1 Skala Mean Opinion Score

Skala	MOS
5	<i>Excellent</i>
4	<i>Good</i>
3	<i>Fair</i>
2	<i>Poor</i>
1	<i>Bad</i>

Penelitian yang dilakukan seperti ditunjukkan pada Gambar 3 yaitu pertama dengan mempersiapkan skenario yang diarahkan pada cakupan infrastruktur jaringan IPTV yang terdiri dari stasiun pusat (*headend*), transmisi lokal (*core network*) dan transmisi publik (*access network*). Kedua, mengkonfigurasi server dan klien pada jaringan. Langkah berikutnya yaitu melakukan pengukuran QoS dengan cara mengalirkan video berformat H.264 melalui infrastruktur jaringan IPTV pada bit rate antara 1000 hingga 8000 kbps. Pada masing-masing node jaringan tersebut, dilakukan perekaman video serta data-data jaringannya (*packet loss*, *delay* dan *jitter*). Selanjutnya melakukan penghitungan nilai QoS ke QoE

menggunakan ITU-T G.1070 dan membandingkan rekaman video dengan hasil pengukuran ITU-T G.1070



Gambar 3 Langkah-langkah penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari kegiatan pengujian kualitas video yang dilakukan pada jaringan IPTV telah menghasilkan sebanyak lebih dari 100 gambar. Pengukuran dilakukan menggunakan Wireshark. Uji coba *streaming* telah dilakukan pada skala lab (1 segmen) untuk *headend*, Local Area Network (2 segmen) untuk *core network* dan Wide Area Network (antar gedung) untuk *access network*. Hasilnya dilakukan penghitungan estimasi nilai kualitas video.

Fungsi estimasi nilai kualitas video

Persamaan berikut ini digunakan untuk menghitung nilai perkiraan (Vq) dari MOS (Mean Opinion Score) Video.

$$Vq = 1 + I_{coding} \exp \left[-\frac{P_{plV}}{D_{P_{plV}}} \right] \quad (1)$$

Nilai Vq berkisar antara 1 dan 5 sesuai nilai MOS. Vq memberikan nilai kualitas video yang diakibatkan oleh pengaruh *packet-loss*, perubahan

frame rate dan *video bit rate* yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$I_{coding} \exp \left[-\frac{P_{plV}}{D_{P_{plV}}} \right] \quad (2)$$

Dimana P_{plV} adalah *packet-loss* yang dihasilkan dari pengukuran, dan $D_{P_{plV}}$ adalah degradasi *packet loss* yang diakibatkan perubahan *frame rate* dan *video bit rate*. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$D_{P_{plV}} = v_{10} + v_{11} \exp \left[-\frac{Fr_V}{v_8} \right] v_{12} \exp \left[-\frac{Br_V}{v_9} \right],$$

$$0 < D_{P_{plV}} \quad (3)$$

I_{coding} merupakan nilai distorsi kualitas gambar dasar (*basic I frame*) video

$$I_{coding} = v_3 - \frac{v_3}{1 + \left[\frac{Br_V}{v_4} \right]^{v_5}} \exp \left\{ -\frac{(\ln(Fr_V) - \ln(O_{fr}))^2}{2D_{FrV}^2} \right\}$$

$$(4)$$

D_{FrV} adalah penurunan nilai *frame rate* yang dipengaruhi video bit rate selama transmisi pada jaringan.

$$D_{FrV} = v_6 + v_7 Br_V, \quad 0 < D_{FrV}, \quad v_6 \text{ dan } v_7 : \text{const} \quad (5)$$

Optimal frame rate (O_{fr}) merupakan nilai frame rate yang terbaik yang dihasilkan pada video bit rate tertentu.

$$O_{fr} = v_1 + v_2 Br_V, \quad 1 < O_{fr} \leq 30, \quad v_1 \text{ dan } v_2 : \text{const} \quad (6)$$

Koefisien-koefisien $v_1, v_2, v_3 \dots v_{12}$ dihasilkan dari

Tabel 2 Codec video

Factors	#1	#2	#3	#4	#5
Codec type	MPEG-4	MPEG-4	MPEG-2	MPEG-4	ITU-T H.264
Video format	QVGA	QQVGA	VGA	VGA	VGA
Key frame interval (s)	1	1	1	1	1
Video display size (inch)	4.2	2.1	9.2	9.2	9.2

tabel database standar dari ITU sebagai berikut :

A. Pengukuran Skala Lab (*headend*)

Pengukuran ini untuk mengetahui kualitas QoE video terdistribusi pada skala lab pada *headend*

stasiun siaran utama. Tujuannya ialah melakukan pengukuran dalam lingkungan perangkat yang terjamin kelayakannya.

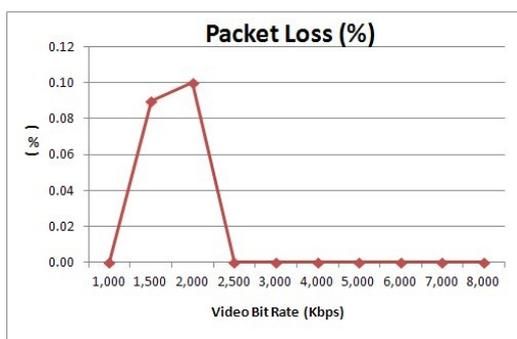
Proses *streaming* ini dilakukan dengan mentransmisikan video menggunakan protokol RTP. Perekaman data menggunakan Wireshark yang berbasis *open source*. Untuk perekaman video menggunakan aplikasi *video capturing* Camtasia versi *trial*.

Tabel 3 Pengukuran Skala *Headend*

Bit Rate (Kbps)	Packet Loss (%)	Delay (ms)	Jitter (ms)	Vq ^{*)}
1000	0.00	31	4	3.80
1500	0.09	26	3	3.90
2000	0.10	24	3	3.90
2500	0.00	31	4	4.20
3000	0.00	31	3	4.30
4000	0.00	31	3	4.30
5000	0.00	29	3	4.30
6000	0.00	32	4	4.40
7000	0.00	30	3	4.40
8000	0.00	32	4	4.40

*) Perhitungan Vq menggunakan formulasi ITU-T G.1070

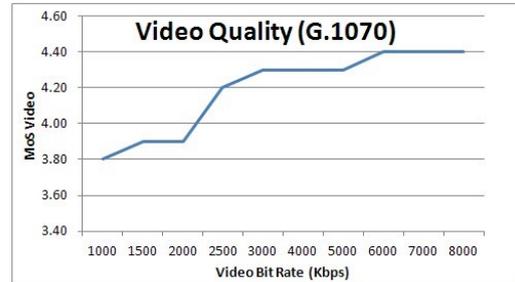
Pada Tabel 3, dari hasil pengukuran didapatkan nilai *packet loss* yang stabil (<0.10%). Hasil perhitungan menggunakan G.1070 didapat nilai kualitas QoE video berada di kisaran 4 (*Good*). Pada Gambar 4 tampak nilai *packet loss* sebesar 0.10% untuk bit rate 2000 kbps relative kecil dan tidak berpengaruh terhadap kualitas QoE video.



Gambar 4 Pengukuran nilai *packet loss* terhadap nilai video bit rate skala *headend*

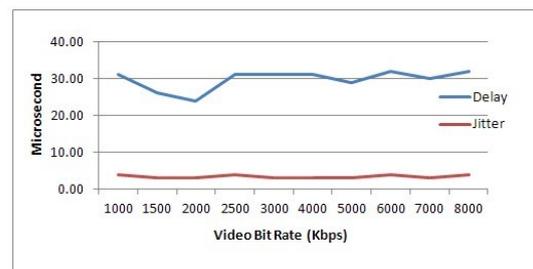
Secara umum dengan nilai *packet loss* 0.10% pada rentang bit rate 1000 sd 2500 kbps dan 0.00% pada bit rate > 2500 kbps menunjukkan bahwa kondisi

jaringan *headend* sudah menunjukkan jaminan terhadap kualitas QoE video yang baik (Gambar 5).



Gambar 5 Pengukuran nilai kualitas video pada skala *headend*

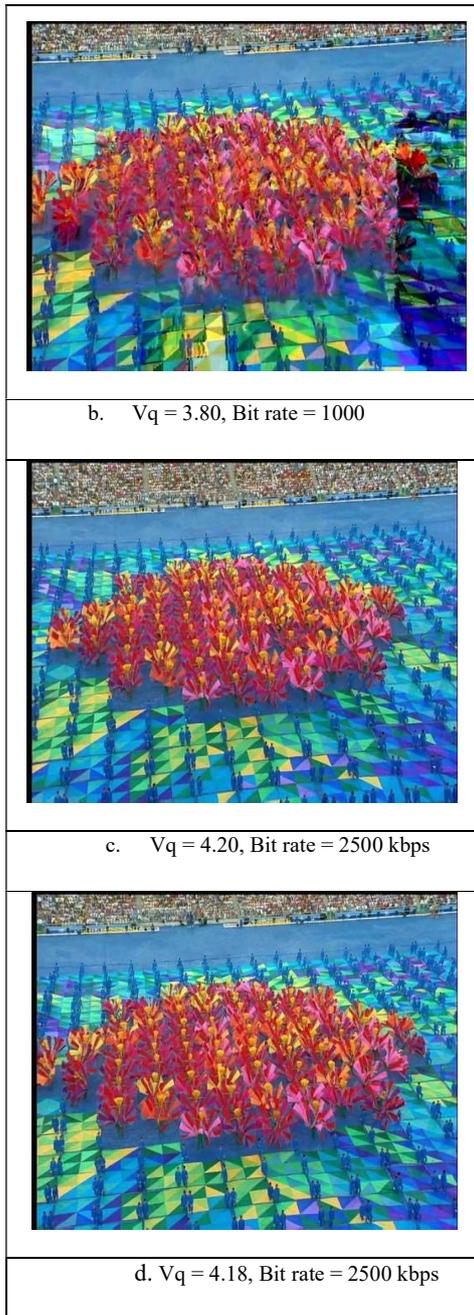
Penurunan nilai delay menjadi sekitar 25 ms (artinya terjadi percepatan dalam transmisi) pada rentang 1000 sd 2500 kbps berpengaruh sangat kecil terhadap *packet loss*. Untuk peningkatan delay dengan kisaran 30 ms dan jitter yang stabil (<5 ms) tidak berpengaruh terhadap *packet loss* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Pengukuran nilai delay dan jitter pada skala *headend*



a. Vq = 3.70, Bit rate = 1000 kbps



Gambar 7 Hasil perekaman video streaming pada skala headend

Pada Gambar 7 tampak V_q memiliki nilai yang hampir sama yaitu 4.18 dan 4.20 untuk bit rate sebesar 2500 kbps. Pada bit rate 1000 kbps, V_q memiliki selisih 0.1 (3.70 dan 3.80), sehingga perbedaan videonya lebih tampak jelas.

B. Pengukuran Skala LAN (core network)

Tujuan pengukuran ini untuk mengetahui kualitas QoE video terdistribusi skala LAN pada *core network* stasiun siaran utama. Hal lainnya adalah melakukan pengukuran pada jaringan transmisi untuk mengetahui kualitas atau kemampuan jaringan dalam mendukung siaran IPTV.

1. Pengukuran dengan protocol RTP

Proses *streaming* dilakukan dengan mentransmisikan video menggunakan protocol RTP. Video dialirkan (*streaming*) dari server ke klien dengan berbagai kombinasi bit rate antara 1000 hingga 8000 kbps.

Tabel 4 Hasil pengukuran dgn protokol RTP skala *core network*

Bit Rate (kbps)	Packet Loss (%)	Jitter (ms)	Delay (ms)	$V_q^*)$
1000	2.62	26.80	102.55	2.10
2000	2.25	11.59	19.59	1.70
3000	0.08	26.13	96.21	3.90
4000	0.00	9.18	36.49	3.80
5000	0.00	6.65	115.96	4.10
6000	0.06	21,04	63.79	4.00
7000	0.04	16.35	24.78	4.10
8000	0.00	14.20	24.78	4.30

*)Perhitungan V_q menggunakan formulasi ITU-T G.1070

Pada Tabel 4, dari hasil pengukuran didapatkan nilai *packet loss* yang stabil (<0.10) pada bit rate ≥ 3000 kbps. Sedang untuk bit rate < 3000 kbps, nilai *packet loss* cukup besar (>2%) sehingga kualitas videonya rendah seperti ditunjukkan Gambar 12. Delay dan jitter memiliki nilai yang fluktuatif dengan nilai rata-rata 60 ms dan 16.5 ms namun memiliki kecenderungan penurunan pada bit rate yang makin besar (Gambar 9 dan Gambar 21). Dari hasil perhitungan menggunakan G.1070 didapat nilai kualitas QoE video berada di kisaran 4 (*Good*) pada video bit rate ≥ 3000 kbps. Ini menunjukkan delay dan jitter tidak berpengaruh pada kualitas video dengan bit rate ≥ 3000 kbps (Gambar 13).

2. Pengukuran dengan protocol TCP

Proses *streaming* ini dilakukan dengan mentransmisikan video menggunakan protocol TCP. Video dialirkan (*streaming*) dari server ke klien dengan berbagai kombinasi bit rate antara 1000 hingga 8000 kbps.

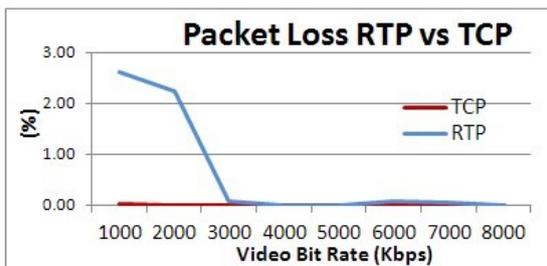
Pada Tabel 5, dari hasil pengukuran didapatkan nilai *packet loss* yang stabil mendekati 0 ms pada semua bit rate (Gambar 8). Delay dan jitter

memiliki nilai yang relatif kecil yaitu pada kisaran 5 ms (Gambar 10 dan Gambar 11). Rata-rata nilai kualitas video dengan TCP adalah di atas 4 (Good) seperti ditunjukkan pada Gambar 9

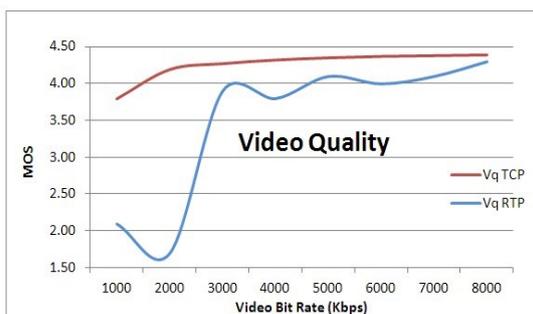
Tabel 5 Hasil pengukuran dgn protokol TCP skala core network

Bit Rate (kbps)	Packet Loss (%)	Jitter (ms)	Delay (ms)	Vq ^{*)}
1000	0.01	5.47	5.41	3.79
2000	0.00	5.60	5.42	4.19
3000	0.00	5.29	4.69	4.27
4000	0.00	5.29	3.52	4.32
5000	0.00	5.28	3.82	4.35
6000	0.00	5.27	3.06	4.37
7000	0.00	5.28	3.81	4.38
8000	0.00	5.79	4.47	4.39

^{*)}Perhitungan Vq menggunakan formulasi ITU-T G.1070

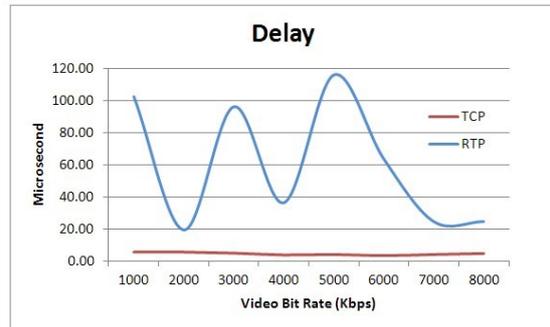


Gambar 9 Perbandingan nilai packet loss video menggunakan protocol RTP dan

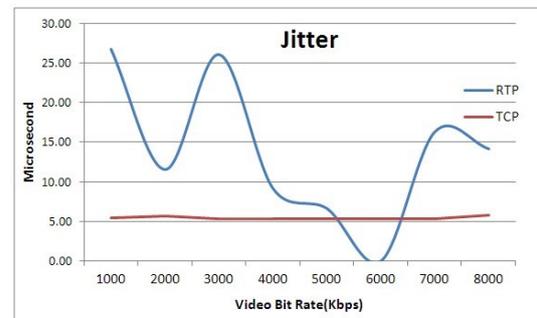


Gambar 8 Perbandingan nilai kualitas video menggunakan protocol RTP dan TCP pada skala core network

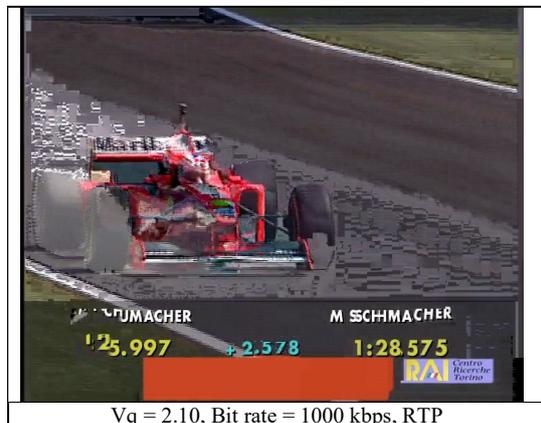
Pada Gambar 10 tampak delay RTP lebih besar dibandingkan dengan delay pada TCP, dan bersifat fluktuatif atau tidak stabil khususnya pada bit rate kurang dari 3000 kbps. Hasil proses videonya (Gambar 12 dan 13) cenderung membaik sesuai peningkatan bit rate



Gambar 10 Perbandingan nilai delay menggunakan protocol RTP dan TCP pada skala core network



Gambar 11 Perbandingan nilai jitter menggunakan protocol RTP dan TP pada skala core network



Gambar 12 Hasil perekaman video pada bit rate 1000 kbps RTP

Gambar 12 di atas menunjukkan efek *noisy* yang disebabkan hilangnya piksel pada saat pengiriman data video menggunakan RTP. Sedangkan stabilitas *Vq* pada TCP terjadi karena TCP adalah *connection oriented protocol* sehingga setiap data yang dikirimkan akan selalu dikonfirmasi (Gambar 13)



Gambar 13 Hasil perekaman video pada bit rate 1000 kbps TCP

C. Pengukuran Skala WAN (core network)

Tujuan pengukuran ini untuk mengetahui kualitas QoE video terdistribusi skala WAN pada *access network* yang terhubung ke pelanggan akhir. Hal lainnya adalah melakukan pengukuran pada jaringan akses untuk mengetahui kualitas atau kemampuan jaringan dalam mendukung siaran IPTV.

Proses streaming ini dilakukan dengan mentransmisikan video menggunakan protocol RTP menggunakan VLC sebagai server maupun klien. Dan protocol TCP menggunakan SysMaster sebagai server dan DMC Tornado sebagai klien

Tabel 6 Hasil pengukuran dgn rotocol TCP skala access network

Bit Rate (kbps)	Packet Loss (%)	Jitter (ms)	Delay (ms)	Vq ^{*)}
1000	0.00	1.14	9.01	3.80
1500	0.02	0.50	1.55	4.04
2000	0.01	0.54	1.20	4.16
2500	0.00	0.93	9.94	4.24
3000	0.00	3.07	8.51	4.27
4000	0.00	0.73	10.84	4.32
5000	0.00	1.14	10.76	4.35
6000	0.00	0.73	12.59	4.37

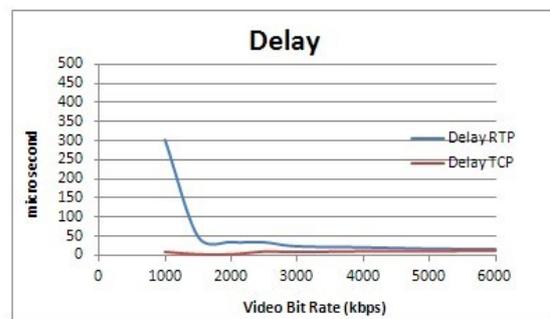
^{*)}Perhitungan Vq menggunakan formulasi ITU-T G.1070

Pada Tabel 6 dan 7, dari hasil pengukuran didapatkan nilai *packet loss* yang stabil (≤ 0.15) pada semua bit rate kecuali untuk protocol RTP. Sedang delay dan jitternya memiliki nilai yang relative stabil. Dari hasil perhitungan menggunakan G.1070 didapat nilai kualitas QoE video berada di kisaran 4 (*Good*) pada video bit rate ≥ 3000 kbps. Hal ini disebabkan nilai *packet loss* yang rendah

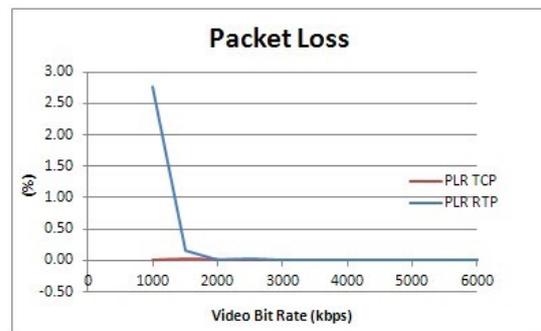
Tabel 7 Hasil pengukuran dgn rotocol RTP skala access network

Bit Rate (kbps)	Packet Loss (%)	Jitter (ms)	Delay (ms)	Vq ^{*)}
1000	2.76	22.30	300.31	2.00
1500	0.15	8.09	47.77	3.79
2000	0.00	6.19	33.59	4.19
2500	0.02	5.34	33.07	4.15
3000	0.00	4.67	22.50	4.27
4000	0.02	3.92	19.93	4.23
5000	0.01	4.24	16.34	4.30
6000	0.00	2.95	14.85	4.37

^{*)}Perhitungan Vq menggunakan formulasi ITU-T G.1070

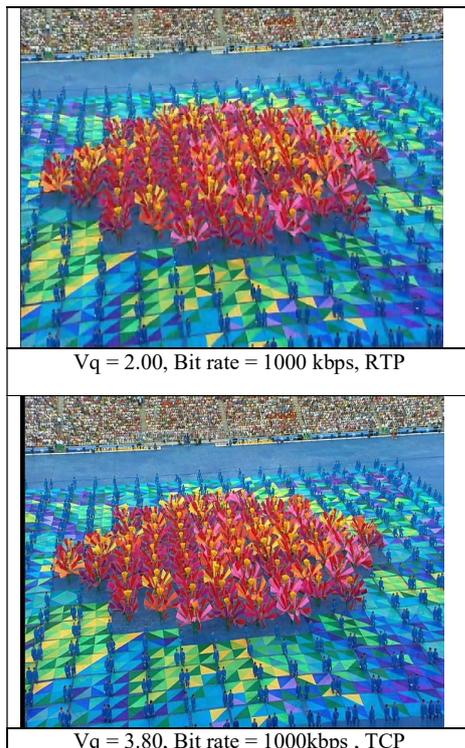


Gambar 14 Perbandingan delay menggunakan protocol RTP dan TCP pada skala access network



Gambar 15 Perbandingan packet loss menggunakan rotocol RTP dan TCP pada skala access network

Penurunan delay (Gambar 14) berpengaruh pada penurunan *packet loss* (Gambar 15) yang pada akhirnya meningkatkan kualitas video. Hal ini menunjukkan jaminan kualitas jaringan yang baik dalam mendukung siaran IPTV. Gambar 16, $Vq = 2.00$ untuk RTP dan $Vq = 3.80$ untuk TCP seperti memiliki kualitas yang sama tapi $Vq = 2.00$ berjalan tersendat-sendat sementara $Vq = 3.80$ berjalan lancar ini terjadi karena *packet loss* RTP lebih besar daripada TCP namun paket frame yang hilang



Gambar 16 Hasil perekaman video pada video bit rate 1000 kbps skala access network

tidak pada posisi yang sama sehingga tidak tampak kerusakan pada frame. Hasil rata-rata nilai QoE = 4 (Good) berarti kinerja berjalan baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kinerja arsitektur jaringan berlapis yang dianalisis secara empiris menunjukkan bahwa telah menunjukkan rata-rata MOS yang baik, jumlah sesi video yang berhasil didekodekan lebih tinggi, serta penurunan rata-rata *delay* dan *paket loss*.. Evaluasi variasi konten video yang lebih besar dan bit rate switching pasca-penerimaan, menarik untuk penelitian berikutnya, selain juga dapat mempertimbangkan resolusi yang lebih tinggi.

REFERENSI

[1] G. O. Driscoll, *Next Generation IPTV Services and Technologies*. John Wiley & Sons Inc., 2007.
 [2] Y. Chang, C. Chang, K. Chen, and C. Lei, "Radar Chart: Scanning for High QoE in QoS Dimensions," in *IEEE CQR*, 2010.
 [3] A. V Vasilakos, Z. Li, G. Simon, and W. You, "Information centric network: Research challenges and opportunities," *J. Netw.*

Comput. Appl., vol. 52, pp. 1–10, 2015.
 [4] A. Maraj and A. Shehu, "Analysis of Different Parameters that Affect QoS/QoE for Offering Multi-IPTV Video Simultaneously in TK," *J. Comput. Communcation*, vol. 9, pp. 1412–1423, 2012.
 [5] B. Markus Fiedler, "A generic quantitative relationship between Quality of Experience and Quality of Service," *IEEE Netw.*, vol. 24, no. March, 2010.
 [6] M. Cheon and J. Lee, "Evaluation of Objective Quality Metrics for Multidimensional Video Scalability," *J. Vis. Commun. Image Represent.*, no. December, 2015.
 [7] N. Staelens, P. Demeester, F. De Turck, P. L. Á, and S. Latre, "Mobile TV services through IP Datacast over DVB-H: Dependability of the quality of experience on the IP-based distribution network quality of service," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 34, pp. 1474–1488, 2011.
 [8] J. V. C. I. R, M. Li, Z. Chen, P. Hui, S. Sun, and Y. Tan, "QoE-aware video streaming for SVC over multiuser MIMO – OFDM systems," *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 26, pp. 24–36, 2015.
 [9] M. Oche, R. Noor, and J. Ihyeh, "Network centric QoS performance evaluation of IPTV transmission quality over VANETs," *Comput. Commun.*, 2014.
 [10] N. Bouten, R. D. O. Schmidt, J. Famaey, S. Latré, A. Pras, and F. De Turck, "QoE-driven in-network optimization for Adaptive Video Streaming based on packet sampling measurements," *Comput. Networks*, vol. 81, no. 2015, pp. 96–115, 2020.
 [11] A. Detti, B. Ricci, and N. Blefari-melazzi, "Mobile peer-to-peer video streaming over information-centric networks," *Comput. NETWORKS*, no. March, 2015.
 [12] ITU-T, *ITU-T G.1070 Opinion model for video-telephony applications*. 2012.
 [13] ITU-T, "ITU-T P.800 Methods for objective and subjective assessment of quality," 1996.
 [14] E. Cerqueira, M. Curado, M. Yannuzzi, and E. Monteiro, "An Overview of Quality of Experience Measurement Challenges for Video Applications in IP Networks," *Adv. Netw. Archit. University Catalunya*, 2009.
 [15] F. Kuipers, R. Kooij, and D. De Vleeschauwer, "Techniques for Measuring Quality of Experience," in *The 8th international conference on Wired/Wireless Internet Communications*, 2010.
 [16] B. Erman and E. P. Matthews, "Analysis and Realization of IPTV Service Quality," *Bell Labs Tech. J.*, vol. 12, no. 4, pp. 195–212, 2008.