

Analisis QoS pada Implementasi MPLS Traffic Engineering-Diffserv untuk Layanan Video Streaming

Rosania Satya Pratiwi¹, Unan Yusmaniar Oktiawati^{1,*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada;
satyapратиwi1@gmail.com

*Korespondensi: unan_yusmaniar@ugm.ac.id;

Abstract – *The development of Internet use in Indonesia is currently experiencing a rapid increase. Judging from the increase in the number of Internet users then indirectly the features and services provided also develop. One such feature is the video and audio service. Video and audio services are included in the streaming multimedia service. The rapid and diverse exchange of information is the reason that video file types are more enjoyed because it already contains mobile and audio image information. But there are some problems that affect the performance of streaming videos, such as slow transmission rates, so it is necessary to have good QoS (Quality of Service) on the streaming side of the server. Thus developed a network of MPLS Traffic Engineering that combines the Differentiated Service method to answer the problem. In this research, implemented MPLS TE Network and MPLS TE Diffserv Test Network is conducted on video streaming service. The results of the study were obtained that the delay value, jitter, throughput and packet loss were improved after adding the Differentiated Service method. For delay values ranging in the range of 150 MS, the throughput range ranges from the range of 55000 bits/s to 56000 bits/s, the standard value of jitter deviation in the range of 300 ms and for 0% packet loss.*

Keywords: MPLS Traffic Engineering, Video Streaming, Differentiated Service, QoS

Intisari – Perkembangan penggunaan internet di Indonesia saat ini mengalami peningkatan yang sangat pesat. Dilihat dari peningkatan jumlah pengguna internet tersebut, maka secara tidak langsung fitur dan layanan yang disediakan turut berkembang. Salah satu fitur tersebut adalah layanan video dan audio. Layanan video dan audio termasuk dalam layanan multimedia *streaming*. Pertukaran informasi yang begitu cepat dan beragam menjadi alasan bahwa jenis file video lebih banyak dinikmati karena sudah mengandung informasi gambar bergerak dan audio. Namun, terdapat beberapa permasalahan yang mempengaruhi performansi dari video *streaming*, seperti laju transmisi yang lambat, sehingga diperlukan QoS (*Quality of Service*) yang baik pada sisi *streaming server*. Maka dari itu, dikembangkan sebuah jaringan MPLS Traffic Engineering yang menggabungkan metode *Differentiated Service* untuk menjawab permasalahan tersebut. Pada penelitian ini diimplementasikan jaringan MPLS TE dan jaringan MPLS TE Diffserv pengujian dilakukan pada layanan video *streaming*. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa nilai *delay*, *jitter*, *throughput* dan *packet loss* mengalami perbaikan setelah ditambahkan metode *Differentiated Service*. Untuk nilai *delay* berkisar pada rentang 150 ms, nilai *throughput* berkisar pada rentang 55000 bits/s hingga 56000 bits/s, nilai standar deviasi *jitter* pada rentang 300 ms dan untuk *packet loss* 0%.

Kata kunci : MPLS Traffic Engineering, Video Streaming, Differentiated Service, QoS

I. PENDAHULUAN

Perkembangan penggunaan internet di Indonesia saat ini mengalami peningkatan yang sangat pesat. Menurut survei yang dilakukan oleh *Internet Live Stats*, pada Tahun 2014 pengguna internet berjumlah 43.613.549, selanjutnya pada Tahun 2015 mengalami penambahan yang cukup pesat menjadi 50.004.175 dan masih mengalami peningkatan di Tahun 2016 menjadi 53.236.719. Dilihat dari peningkatan jumlah pengguna internet tersebut, maka secara tidak langsung fitur dan layanan yang disediakan turut berkembang. Salah satu fitur tersebut adalah layanan video dan audio.

Layanan video dan audio termasuk dalam *multimedia streaming*. *Multimedia streaming* menggunakan media video, sebagai cara penyampaian konten informasi yang lebih unggul dibandingkan dengan media teks atau suara. Keunggulan dari media video bila dibandingkan dengan media teks atau suara yaitu informasi yang disampaikan lebih mudah dimengerti oleh *user*, karena informasi disajikan dalam bentuk *audio visual* [1]. Salah satu jenis *multimedia streaming* yang mulai populer di kalangan masyarakat adalah *video streaming*. Pertukaran informasi yang begitu cepat dan

beragam menjadi alasan bahwa jenis file video lebih banyak dinikmati karena sudah mengandung informasi gambar bergerak dan audio. Namun, terdapat beberapa permasalahan yang mempengaruhi performansi dari *video streaming*, seperti laju transmisi yang lambat, sehingga diperlukan QoS (*Quality of Service*) yang baik pada sisi *streaming server*.

Untuk mengatasi masalah tersebut dibangunlah sebuah jaringan berbasis MPLS (*Multi Protocol Label Switching*). MPLS digunakan untuk meningkatkan performansi jaringan dengan menyederhanakan *routing* paket dan mengoptimalkan pemilihan jalur (*path*) yang melalui *core network*. Namun, jaringan ini memiliki kendala yaitu tidak dapat memperhatikan kondisi jaringan apabila terjadi kongesti atau kegagalan *link*. Sehingga, apabila hal itu terjadi, maka tidak ada sebuah mekanisme untuk pengalihan jalur. Untuk menambah kehandalannya, diterapkan rekayasa trafik pada MPLS yang disebut MPLS-TE (*Multi Protocol Label Switching-Traffic Engineering*). Rekayasa trafik ini mampu menentukan secara manual jalur yang akan digunakan trafik, sehingga mampu mengatasi kongesti.

Untuk menjaga stabilitas jaringan akan ditambahkan metode QoS yaitu *Differentiated Service* yang dapat

digunakan untuk membedakan perlakuan terhadap paket sesuai dengan jenis layanannya.

Maka dari itu, akan dilakukan implementasi dan analisis MPLS *Traffic Engineering* dan *Differentiated Service* pada layanan *video streaming* untuk menguji kualitas jaringan berdasarkan nilai QoS khususnya *delay*, *throughput*, *jitter* dan *packet loss*.

II. DASAR TEORI

Penelitian terkait nilai QoS pada layanan multimedia dari jaringan yang dibangun oleh MPLS-TE dengan metode *Fast Reroute* dan *DiffServ* berbasis *server* OpenIMSCore. Latar belakang dari penelitian ini adalah karena perkembangan teknologi telekomunikasi yang meningkat berdampak pada kebutuhan multimedia yang juga meningkat. Terdapat teknologi *ip multimedia sub-system* yaitu *platform* penyedia layanan multimedia pada jaringan berbasis internet protokol. Masalah atau kendala utama dari teknologi ini adalah performansi dan kualitas jaringan. Beberapa metode untuk mengatasi kendala performa dan kualitas jaringan yaitu menggunakan MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) yang hadir untuk meningkatkan performansi jaringan dengan menyederhanakan *routing* paket dan mengoptimalkan pemilihan jalur (*path*) yang melalui *core network* [2].

Komunikasi mengalami kemajuan dengan mengarahkan semua teknologi agar berbasis IP (*Internet Protokol*). Teknologi ini akan membuat pengguna mampu berhubungan jarak jauh dengan kualitas standar, namun memiliki harga murah. Namun, teknologi IP ini mempunyai kelemahan yaitu rentan terhadap *delay* dan *packet loss*, sementara komunikasi yang melaluinya seperti komunikasi suara dan video memerlukan reliabilitas tinggi dan dilakukan secara *real-time*. Pada penelitian ini akan diuji kelayakan layanan suara dan video yang menggunakan jaringan berbasis IP. Jaringan berbasis IP ini dirancang dengan menggunakan teknologi MPLS-TE (*Multi-Protocol Label Switching-Traffic Engineering*) [3][4][5].

Aplikasi berbasis jaringan internet secara *real-time* seperti VoIP dan *Video Conferencing* sangat sensitif terhadap gangguan berupa ketersediaan *bandwidth*, masalah *delay*, *packet loss* dan *jitter*. VoIP dan *Video Conferencing* yang memiliki variasi data trafik sehingga diperlukan perlakuan khusus. Selain itu berdasarkan *Internet Telecommunication Union* (ITU) bahwa penggunaan VoIP dan

Video Conferencing mengalami peningkatan pengguna. Masalah utama yang turut mengikuti hal tersebut adalah fakta bahwa aplikasi tersebut sangat rentan terhadap *packet loss* dan *delay* sehingga dibutuhkan adanya jaringan yang mendukung QoS untuk menjamin minimnya kendala *packet loss* dan *delay*. Salah satu jaringan yang dapat diterapkan adalah jaringan yang menggunakan metode *DiffServ* dan MPLS, dengan *DiffServ* maka aplikasi dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis layanannya untuk menentukan prioritas dari paket-paket tersebut [6][7]. Penelitian sebelumnya sudah menyampaikan tentang pengaruh jaringan MPLS pada

Quality of Service (QoS) dalam skenario manajemen *bandwidth* [8].

Dalam penelitian lain, jika jalur transmisi tidak memiliki *bandwidth* yang memadai, maka pendekatan *DiffServ* tidak memenuhi persyaratan QoS yang ditargetkan [9]. Label pada paket dapat mengurangi *traffic engineering*, karena proses *routing* lebih efisien [10]. *DiffServ* memungkinkan untuk layanan berbasis internet [11][12]. *DiffServ* memberikan klasifikasi dan prioritas pada setiap trafik, tergantung pada jenis prioritas [13]. Simulasi integrasi MPLS dan *DiffServ* dengan GNS3 sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [14][15]. Selanjutnya, implementasi integrasi MPLS dan *DiffServ* dilakukan dan dilakukan analisis QoS-nya.

III. METODOLOGI

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam proyek akhir ini diawali dengan perancangan topologi jaringan MPLS *Traffic Engineering* lalu dilanjutkan dengan instalasi VLC Media Player pada sisi *Server* dan *Client*. Selanjutnya, akan dikonfigurasi jaringan MPLS TE sebagai *core network*. Lalu, masuk pada skenario apabila jaringan menggunakan MPLS TE saja, maka akan diambil data ketika trafik normal dan ketika trafik dialiri tambahan. Apabila jaringan menggunakan tambahan metode *DiffServ*, maka akan dikonfigurasi *differentiated service*, lalu pengambilan data pada trafik normal dan trafik dialiri tambahan. Dari hasil data dibandingkan satu sama lain.

Dalam melaksanakan penelitian ini, terdapat beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan guna menunjang penelitian yang dilakukan. Adapun beberapa perangkat tersebut diantaranya sebagai berikut. Perangkat Keras yang digunakan meliputi dua (2) PC/Laptop, tiga (3) Mikrotik RB750, satu (1) Mikrotik RB751, delapan (8) Kabel LAN, dan empat (4) Adaptor. Sementara, perangkat lunak yang dilibatkan antara lain adalah Sistem Operasi Windows 10, Winbox, VLC Media Player, Iperf dan Wireshark

Konfigurasi MPLS TE dan *DiffServ* dilakukan sebagai berikut. Konfigurasi dimulai dengan memberikan alamat ip pada *interface router* yang akan digunakan. Selanjutnya, diimplementasikan *routing* dinamis menggunakan protokol *Open Source Path First* (OSPF). OSPF akan menyampaikan informasi *routing* antar *router*. Konfigurasi OSPF dilengkapi dengan *loopback* dan *reachability* pada setiap *router*. Setelah konfigurasi OSPF berjalan, dilanjutkan dengan mengkonfigurasi MPLS. MPLS akan dikonfigurasi pada 4 *router* utama yaitu R1, R2, R3 dan R4. Untuk mengimplementasikan MPLS maka harus dikonfigurasi *Label Distribution Protocol* (LDP), LDP adalah protokol yang ada pada MPLS yang memungkinkan untuk memberikan *labeling* pada setiap *router* secara dinamis. Pada konfigurasi LDP, ada konfigurasi *label switching router* (*lsp-id*) dan juga ada *transport address*. *LSR-ID* yang memungkinkan sebuah *router* memiliki identitas untuk *label* dalam MPLS sendiri. *Transport address*, yang berguna sebagai identitas sebuah *router* ketika *router* tersebut ingin mengirimkan data kepada *LDP Neighbor*.

Ketika sebuah *router* mengirimkan sebuah paket kepada *LDP neighbors*, maka *LDP neighbors* akan melihat paket tersebut dan membaca dari mana paket tersebut berasal. Untuk penggunaan *LSR-ID* dan juga *transport address*, biasanya keduanya menggunakan *loopback* yang ada pada *router*. Konfigurasi *LDP* dapat dilihat pada Gambar 1.

```
[admin@R1] > /mpls ldp
[admin@R1] /mpls ldp> set enabled=yes lsr-id=10.255.0.1 transport-address=10.255.0.1
[admin@R1] /mpls ldp> /mpls ldp interface
[admin@R1] /mpls ldp interface> add interface=ether1
[admin@R1] /mpls ldp interface> add interface=ether2
```

Gambar 1. Konfigurasi MPLS LDP

Setelah dikonfigurasi *LDP* pada setiap *router* MPLS, maka dikonfigurasi *Traffic Engineering (TE)*. *Traffic Engineering* merupakan protokol yang ada pada MPLS dimana sebuah *router* dapat melakukan *limitasi* dalam jaringan MPLS dengan memadukan mekanisme *label swapping* di layer 2 dan layer 3.

Dengan penggunaan ini, akan memungkinkan sebuah jaringan memiliki kemampuan untuk menyeimbangkan *traffic* yang ada dalam beberapa jalur di sebuah jaringan. Untuk konfigurasinya sendiri, sebuah *router* dapat menentukan *bandwidth* dalam sebuah jaringan menggunakan *interface* yang telah didaftarkan ke dalam jaringan MPLS. Pada penelitian ini akan dibuat 2 jalur TE tunnel yaitu R1-R2-R3 dan R3-R2-R1 dan diberikan *bandwidth* untuk mengetahui jalur mana yang memiliki *bandwidth* yang lebih besar dan mana yang memiliki *bandwidth* lebih kecil.

Lalu akan digunakan *Traffic Engineering* untuk pembuatan *tunneling*. Penggunaan *tunneling* pada jaringan akan membuat seolah olah sebuah *network* dengan *network* lainnya seperti terhubung langsung. Jadi, tidak banyak *hop* yang akan dilewatkan dan dalam penggunaan *tunneling*, akan memungkinkan pengiriman paket yang terenkripsi, sehingga dunia luar tidak dapat mengetahui paket yang dikirimkan oleh kedua jaringan tersebut. Konfigurasi *tunneling* akan dilakukan pada *router* R1 dan R3.

Penggunaan *CSPF (Constrained Shortest Path First)* merupakan sebuah protokol yang memungkinkan *tunnel path* akan memilih jalur sendiri berdasarkan jalur terpendek. Oleh karena itu, pada *tunnel path dynamic*, harus mengaktifkan *cspf* agar *tunnel path* ditentukan sendiri oleh MPLS. Namun, di sini untuk *tunnel path* pada kedua *router* yaitu R1 dan R3 akan diberikan jalur utama secara statis dengan opsi *Strict*. Opsi ini akan membuat *tunnel path* memilih jalur secara spesifik yang akan dilewati. Setelah *tunnel path* terbentuk, maka perlu dikonfigurasi *interface* untuk *tunnel traffic-engineering*. Pada konfigurasi ini akan diberikan *limit bandwidth* terhadap *interface tunnel* sebesar 2 Mbps, *persentase bandwidth limit*, konfigurasi *from-address* dan *to-address*. Untuk konfigurasi *from-address* dan *to-address* didefinisikan *address public* dari *router* yang dimiliki dan *address publik* dari *router* lawan. Lalu untuk *primary path*, akan menggunakan jalur utama yaitu jalur yang dikonfigurasi hopnya secara statis, dan untuk konfigurasi jalur cadangan, digunakan jalur dinamis. Setelah jaringan MPLS *Traffic-Engineering* terbentuk, akan dihubungkan kedua jaringan pada sisi *server* dan *client* sesuai topologi melalui jaringan

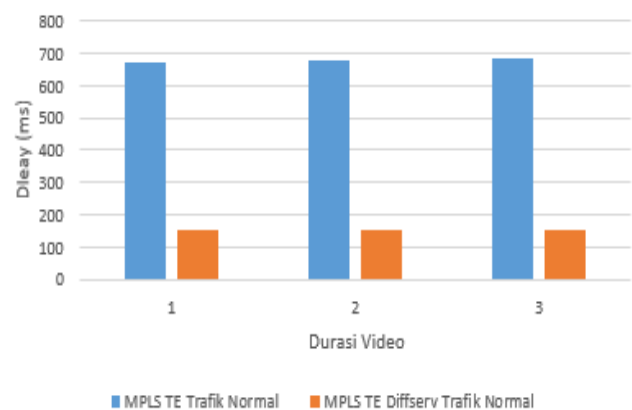
MPLS *Traffic-Engineering*. Konfigurasi VPLS akan dilakukan pada *router* R1 dan R3 sebagai ujung jaringan ke jaringan non-MPLS.

Hal yang akan dikonfigurasi yaitu penambahan *interface bridge* pada kedua *router*. Lalu pada *interface vpls* akan dikonfigurasi *remote-peer* berisi *loopback* dari *router* lawan dan diberikan *vpls-id* yang sama pada masing-masing *router*. Lalu, pada *interface bridge* yang sudah ditambahkan sebelumnya ditambahkan *interface ether 3* dan *vpls1* sebagai *interface* yang terhubung sebagai *vpls*. Untuk mengaktifkan konfigurasi *vpls* maka akan dilakukan *enabling vpls*.

Konfigurasi akan dilakukan pada *router* R1 sebagai *router* dari *Server* ke *Client*. Konfigurasi ini memanfaatkan fitur Mikrotik yaitu *IP Firewall Mangle*. Fitur ini akan melakukan perlakuan khusus pada setiap paket data sesuai dengan parameter yang sudah ditetapkan. Parameter yang disediakan yaitu alamat *ip source*, alamat *ip destination*, *port* atau *protokol*. Pada penelitian ini menitikberatkan pada pengiriman paket *video streaming*, sehingga akan digunakan parameter *ip trafik* dan kode DSCP sesuai dengan layanan. DSCP yang akan digunakan yaitu 32, sesuai dengan layanan *video streaming*. Kode ini digunakan sebagai representasi dari nilai ToS yang akan diberikan pada setiap paket di trafik tertentu.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 2 menunjukkan grafik bahwa terdapat perbandingan nilai *delay* pada saat penggunaan jaringan MPLS TE dan MPLS TE *Diffserv*.

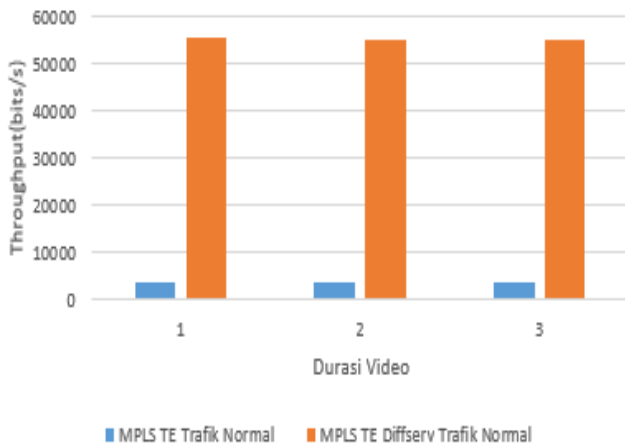


Gambar 2. Grafik perbandingan *delay* trafik normal

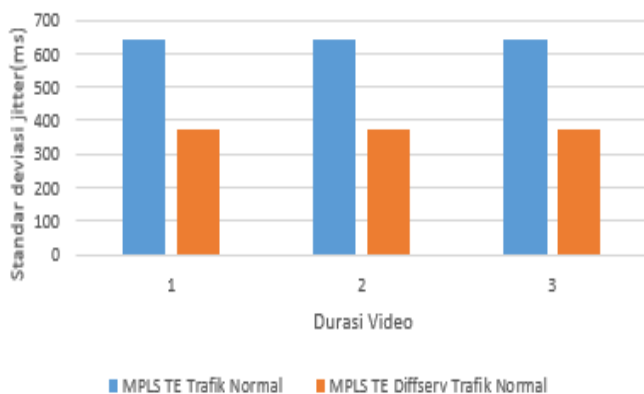
Pada grafik terlihat adanya perbaikan *delay* yang cukup signifikan ketika menggunakan jaringan MPLS TE *Diffserv*. Dikarenakan setelah merekayasa trafik dengan *Traffic Engineering*, jaringan akan dikonfigurasi prioritas aliran trafiknya menggunakan kode DSCP *video streaming*.

Perbaikan nilai *delay* juga diikuti dengan perbaikan nilai *jitter* karena nilai *delay* sangat berkaitan dengan nilai *jitter* di mana *jitter* adalah standar deviasi dari varians *delay*. Pada gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan nilai standar deviasi *jitter* ketika trafik normal pada penggunaan jaringan MPLS TE dan MPLS TE *Diffserv*.

Selanjutnya, untuk nilai *throughput* memiliki korelasi negatif dengan nilai *delay* dan *jitter* yaitu apabila nilai *throughput* mengalami kenaikan, maka nilai *delay* akan semakin turun. Ini dipengaruhi oleh banyaknya data aktual yang terkirim ke penerima. Gambar 4 menunjukkan perbandingan *throughput*.



Gambar 3. Grafik perbandingan standar deviasi *jitter* trafik normal

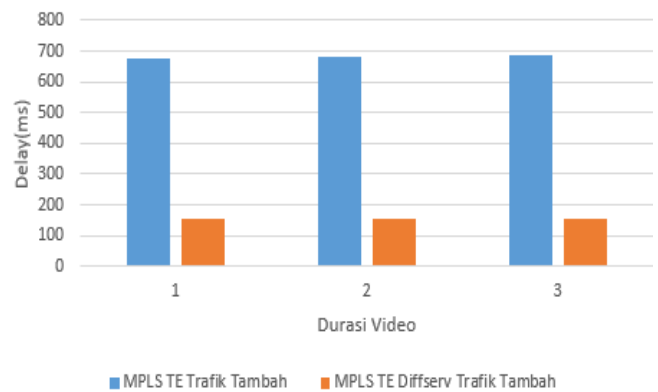


Gambar 4. Grafik perbandingan *throughput* trafik normal

Sementara untuk nilai *packet loss* karena menggunakan protokol *transport* TCP yang menuntut setiap paket harus terkirim secara utuh membuat nilainya 0% atau bisa dikatakan tidak ada *packet loss*. Nilai ini sangat berkaitan juga dengan hasil *delay* yang tinggi. Karena harus mengirimkan ulang paket data maka nilai *delay* semakin tinggi namun minim *packet loss*.

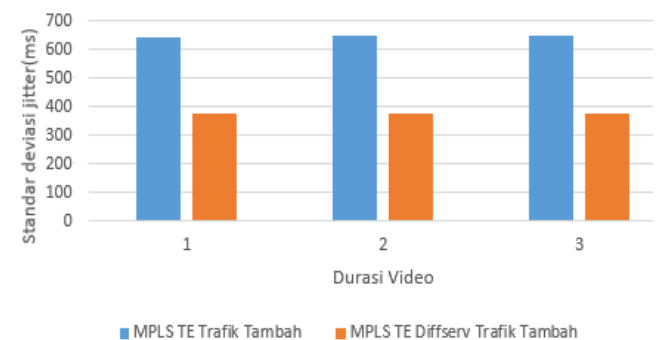
Pada kondisi trafik tambah ada aliran lain selain trafik *video streaming* menggunakan *iperf*. Pada hasil ini didapatkan perbaikan nilai *delay* dan *jitter* menggunakan jaringan MPLS TE *Diffserv*. Apabila dibandingkan dengan trafik normal, maka terjadi penambahan nilai saat trafiknya ditambah.

Pada gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan *delay* pada saat trafik dialiri trafik lain.



Gambar 5. Grafik perbandingan *delay* trafik tambah

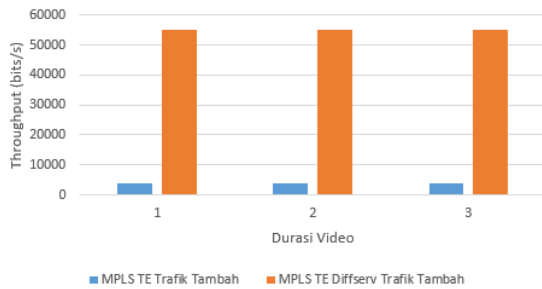
Sama seperti pembahasan terkait korelasi nilai *delay* dan *jitter*, maka di sini nilai *delay* juga berkorelasi dengan nilai *jitter*. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 6 untuk gambar grafik Perbandingan nilai *jitter* saat trafik ditambah dengan trafik lain.



Gambar 6. Grafik perbandingan *jitter* trafik tambah

Dapat dilihat pada grafik terjadi perubahan yang signifikan terhadap nilai *jitter* tersebut. Karena pengaruh dari nilai *delay* yang semakin baik. Nilai *throughput* mengalami kenaikan ketika menggunakan MPLS TE *Diffserv* karena paket data mendapatkan prioritas sehingga didahulukan. Nilai *throughput* berkorelasi negatif dengan nilai *delay* sehingga apabila *throughput* mengalami kenaikan maka nilai *delay* semakin turun. Dapat dilihat dari gambar 7 yang menunjukkan grafik perbandingan nilai *throughput* pada saat trafik tambah.

Sementara untuk nilai *packet loss* karena menggunakan protokol *transport* TCP yang menuntut setiap paket harus terkirim secara utuh membuat nilainya 0% atau bisa dikatakan tidak ada *packet loss*. Nilai ini sangat berkaitan juga dengan hasil *delay* yang tinggi. Karena harus mengirimkan ulang paket data maka nilai *delay* semakin tinggi namun minim *packet loss*.



Gambar 7. Grafik perbandingan throughput traffic tambah

V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa implementasi jaringan MPLS *Traffic Engineering* dan metode *Differentiated Service* pada layanan *video streaming* didapatkan kesimpulan yaitu:

- Implementasi jaringan MPLS TE dan metode *Differentiated Service* memberikan perbaikan nilai *delay* dan *jitter* dibandingkan dengan jaringan yang hanya mengimplementasikan MPLS TE saja.
- Pada keempat parameter QoS yaitu *delay*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss* di jaringan MPLS TE berdasarkan standarisasi TIPHON termasuk dalam kategori buruk. Dikarenakan nilai *delay* di atas 450 ms. Namun nilai *packet loss* 0% dikategorikan sangat baik. Hal ini dipengaruhi penggunaan protokol *transport* yaitu TCP yang berdasarkan sifatnya memiliki *flow control*. Sifat ini membuat paket data dapat meminta ulang paket data yang hilang, sehingga terjadi antrian yang cukup besar dan membuat adanya *delay* cukup tinggi.
- Pada implementasi MPLS TE dan *Differentiated Service* nilai QoS berdasarkan TIPHON termasuk kategori baik. Nilai *delay* yang berkisar 150-300ms. Untuk nilai *jitter* termasuk dalam kategori buruk, namun apabila dibandingkan dengan nilai *jitter* pada jaringan MPLS TE maka nilai *jitter* mengalami perbaikan saat diimplementasikan metode *differentiated service*. Untuk nilai *packet loss* termasuk dalam kategori sangat baik dikarenakan protokol *transport* menggunakan TCP yang menjamin paket terkirim secara utuh.

REFERENSI

- [1] S. E. L. ., D. L. R. J. D. Smaldino, *Instructional Technology and Media for Learning (Ninth Edition)*, 2008.
- [2] R. M. M. Fitri Wulansari, "Analisis Jaringan MPLS-TE Fast Reroute Menggunakan Metode QoS Diffserv Berbasis Server OpenIMScore.Bandung," *Universitas Telkom Bandung*.
- [3] R. Erdiyanti, "Implementasi dan Analisis Performansi QoS pada Video Conference Menggunakan Server OpenIMScore dengan Backbone MPLS-TE.Bandung," *Universitas Telkom Bandung*, 2014.
- [4] Fitri; Yamin, Muh.; Aksara, LM Bahtiar. "Perbandingan Metode Differentiated Service dengan Metode Integrated Service Untuk Analisa Quality of Service (QoS Video Streaming) pada Jaringan Multi Protocol Label Switching (MPLS)". 2017, *semanTIK*, Vol. 3, hal. 135-142.
- [5] Mirah, Christian Yordan; Sulistyio, Wiwin; Bayu, Teguh Indra. Analisis Perbandingan Quality of Service (QoS) Antara Metode Differentiated Service (DiffServ) dan Metode Multiprotocol Label Switching (MPLS). Salatiga : Universitas Kristen Wacana Satya, 2016.
- [6] R. Darmawan, "Implementasi Teknologi MPLS/Diffserv dengan Kondisi High Traffic pada Jaringan IPv4 dan IPv6.," *Universitas Indonesia*, 2014.
- [7] Kusuma, Yusuf Budi; Jusak; Triwidyastuti, Yosefine. "Implementasi dan Analisis QoS pada Jaringan MPLS-VPN Berbasis MPLS-TE Menggunakan Routing Protokol OSPF. Control and Network Systems, 2016, JCONES, Vol. 5, hal. 61-68.
- [8] N. Fadhilah, S. Soim dan Lindawati, "Design Qos-Diffserv Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan MPLS", *JURNAL REKAYASA MESIN* Vol. 18 No. 2 Juli 2018.
- [9] Investigation and Comparison of MPLS QoS Solution and Differentiated Services Qos Solutions. Gennaoui, Steve; Yin, Jianhua; Swinton, Samuel; Hnatyshin, Vasil. 2013, *semanticscholar*.
- [10] Ahmed, Duaa Ahmed Mohamed;. Performance Evaluation of QoS for Real Time Applications Using Multiprotocol Label Switching. Sudan : Sudan University of Science and Technology, 2017.
- [11] Mushtaq, Asma; Patterh, Dr. Manjeet Singh., "DiffServ Based QoS Performance Study of Video Conferencing Application Using Traditional IP and MPLS-TE Networks Over IPV4 and IPV6". 2017, *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol. 8, hal. 611-615.
- [12] Mahmoud, Nura AbdAlrhmman Alhaj. QoS Performance Analysis in deployment Differentiated Service with Multiprotocol Label Switching for Voice over IP. Sudan : Sudan University of Science and Technology, 2017.
- [13] Integration of FHAMIPv6/DiffServ/MPLS/Load Balancing Algorithm. Ortiz, Jesus Hamilton; Ahmed, Brazil Taha; Pantoja, Juan P. 2014, *IJCSI*, Vol. 11, hal. 70-75.
- [14] Performance Analysis of Frame Relay Network Using OSPF (Open Shortest Path First) and MPLS (Multi-Protocol Label Switching) based on GNS3. Harits, Andi; Rizal, Moch. Fahru; Periyadi;. *Information Technology*, 2017, *IJAIT*, Vol. 01.
- [15] Abdelaal, Ayman E.A; El-Samie, Fathi E.; Dwssouky, Moawad I. "A Diffserv-Aware Multi-Protocol Label Switching Traffic Engineering Applied on Virtual Private Networks". *Networking and Communication Engineering*, 2014, *CiiT International Journal*, Vol. 6, hal. 279-285.