

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS QoS PADA JARINGAN MPLS-VPN BERBASIS MPLS-TE MENGGUNAKAN ROUTING PROTOKOL OSPF

Yusuf Budi Kusuma¹⁾Jusak²⁾Yosefine Triwidyastuti³⁾

Program Studi/Jurusan Sistem Komputer
Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya
Jl. Raya Kedung Baruk 98 Surabaya, 60298

Email: 1)yusuf22b@gmail.com, 2)jusak@stikom.edu, 3)yosefine@stikom.edu

Abstract: Demand for Internet services such as secure network and data transfer speed be a necessary by internet user. Connection using packet data forwarding method who has been developed, that is MPLS-TE (Traffic Engineering) as a solution to support a reliable connection of terms QoS (Quality of Services). Traffic Engineering on MPLS-TE connection has been tested, such as analysis VoIP services on network who support by MPLS-TE. MPLS-VPN does't have extra fitur Traffic Engineering. From some paper who has explaining, founded problem how to analysis MPLS-TE and MPLS-VPN using MPLS Traffic Engineering.

In this research, we will compare the performance characteristics of the MPLS-TE and MPLS-VPN. The research is divided into four steps. Step one is MPLS-VPN network configuration and MPLS-TE network configuration. Step two is downloading data from the server to the PC 1 and PC2. Step 3 is capturing data traffic using wireshark software, and Step four is testing and calculations of data to determine the QoS quality results calculated to be a reference to draw conclusions.

Based on the result of research and analysis on the simulated network of the MPLS-VPN and the MPLS-TE, is evidence that the MPLS-TE is more reliable than the MPLS-VPN. MPLS-VPN and MPLS-TE have a good performance. The analysis was tested using QoS parameters ITU.G114 such as latency (delay), jitter, throughput and packet loss.

Keywords: MPLS-TE, Quality of Service, Mikrotik

Seiring perkembangan teknologi internet dan permintaan akan kebutuhan internet yang meningkat. Permintaan layanan internet seperti koneksi internet secara pribadi yang aman dan kecepatan transfer data menjadi masalah yang sering dialami dalam jaringan yang disusun. Koneksi menggunakan metode *packet forwarding* yang telah dikembangkan yaitu MPLS-TE (Traffic Engineering) sebagai solusi untuk mendukung koneksi yang handal dari segi QoS (Quality of Service). Rekayasa trafik pada koneksi MPLS-TE telah di ujikan.

Pada paper oleh Zainuri Ahmad (2013) yang berjudul Implementasi dan Analisis Pelayanan VoIP pada Jaringan MPLS Menggunakan Traffic Engineering, menyatakan bahwa jaringan MPLS Traffic Engineering memiliki kualitas QoS yang lebih bagus dibandingkan dengan jaringan IP. Paper oleh Arie Rasyid (2011) yang berjudul

Simulasi dan analisis QoS pada jaringan MPLS-VPN dengan menggunakan *BGP Confederation* menyatakan bahwa jaringan MPLS-VPN menggunakan *routing protokol BGP Confederation*, performa dalam hal delay dan throughput lebih unggul daripada penggunaan topologi full mesh pada jaringan MPLS-VPN. MPLS-TE dan MPLS-VPN merupakan metode *packet forwarding* yang di kembangkan secara bersamaan, namun pada MPLS-VPN belum ada fitur tambahan *traffic engineering*. Pengujian menggunakan layanan FTP data, download data audio dan video belum diujikan.

Dari beberapa analisis paper tentang MPLS-TE dan MPLS-VPN yang sudah diangkat, maka penulis menemukan permasalahan bagaimana mengujikan jaringan MPLS-TE dan MPLS-TE yang di terapkan pada jaringan MPLS-VPN dengan layanan *download data*, dan mengangkat

judul Implementasi dan analisis QoS pada jaringan MPLS-VPN berbasis MPLS-TE menggunakan routing protokol OSPF. Karena MPLS-TE memiliki kemampuan pemilihan saluran data trafik untuk menyeimbangkan beban trafik pada berbagai jalur dan titik dalam network, sehingga meningkatkan kualitas QoS pada jaringan MPLS-VPN. Routing protokol OSPF digunakan karena mempunyai keunggulan di dalam menentukan *path* sebuah paket. Didalam penentuan *path*, *OSPF* menggunakan algoritma *dijkstra* sehingga pemilihan *path* berdasarkan *cost* terkecil, dan routing protokol OSPF dapat digunakan pada seluruh jenis router. Diharapkan hasil analisis QoS dari MPLS-VPN berbasis MPLS-TE mempunyai hasil yang lebih handal dengan parameter QoS yang ditetapkan oleh ITU G.114.

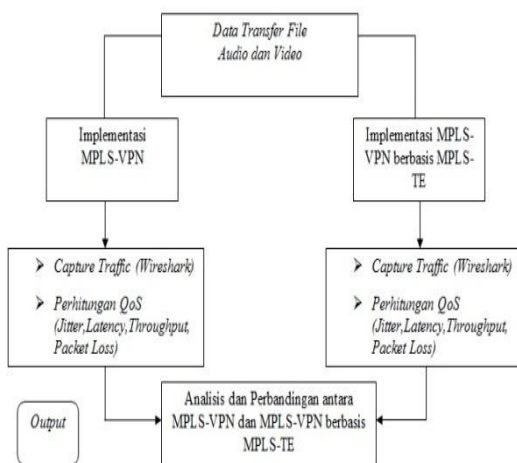
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah studi kepustakaan, percobaan dan analisis.

Percobaan

Prosedur percobaan adalah prosedur dimana melakukan percobaan system, yaitu melakukan konfigurasi alat dan melakukan percobaan pengiriman data. Dengan mencoba fitur – fitur yang ada. Setelah itu dilakukan percobaan pengujian alat dan aplikasi, untuk mengetahui apa benar dapat diterapkan pada alat tersebut atau tidak.

Model yang digunakan



Gambar2 Blok Diagram Pengiriman data

Gambar 2 merupakan blok diagram dari proses pengiriman data setelah MPLS-TE pada MPLS-VPN diimplementasikan.

1. Input

Sesuai dengan referensi jurnal penelitian sebelumnya mengenai pengujian QoS pada MPLS-VPN. Nilai dari pengiriman data audio yang mempunyai format MP3 sebesar 2.012 KB, 4.078 KB, dan 10.006 KB dan video sebesar 3.084 KB, 8.041 KB dan 14.001 KB.

2. Proses

Nilai dari data yang berhasil dikirim didapatkan melalui pengukuran pada *wireshark*.

3. Output

Berdasarkan parameter – parameter yang digunakan pada penelitian akan didapatkan nilai parameter QoS pada proses pengiriman data pada MPLS-VPN dan poses pengiriman data MPLS-VPN berbasis MPLS-TE.

Analisis ini disajikan dalam bentuk pembahasan berdasarkan studi literature dan percobaan yang telah dilakukan pada bagian proses yang nantinya dapat dipaparkan melalui tampilan grafik.

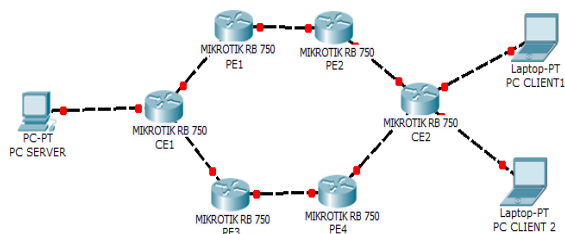
Desain dan Topologi

Implementasi dan analisis MPLS-TE pada jaringan berbasis mikrotik ini dijelaskan melalui desain topologi yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Terdapat 2 router sebagai *Label Switching Router* (LSR) namun pada MPLS-VPN digunakan sebagai CE, 4 router berikutnya untuk *Label Edge Router* (LER) pada MPLS-VPN digunakan sebagai PE, serta 1 *Personal Computer* (PC) sebagai *Server* dan 2 *Personal Computer* sebagai *Client* yang masing – masing tersambung pada LER atau CE.

Pada PC *Server software* yang diinstall adalah *FileZilla Server* yang dijadikan sebagai penerima permintaan dari *Client* dan PC *Client* akan diinstall software *FileZilla Client* yang digunakan untuk mengelola atau mentransfer data. Data dari PC *Server* yang terus-menerus dikirimkan melalui router CE yang akan diteruskan ke router PE yang berfungsi mengatur trafik saat paket memasuki jaringan MPLS serta dalam jaringan MPLS berperan menetapkan LSP dengan menggunakan teknik label swapping dengan kecepatan yang ditetapkan.

Kemudian data keluar dari jaringan MPLS melewati LSR yang berfungsi untuk mengatur trafik pada saat paket meninggalkan jaringan MPLS dan menuju ke LER. Dalam tugas akhir ini panelis menggunakan topologi seperti

Gambar 3 dikarenakan untuk mengatasi jika ada jalur atau node yang *down*, maka akan lewat jalur yang lainnya agar paket sampai ke tujuannya.



Gambar 3 Topologi MPLS

Setelah semua terhubung, selanjutnya adalah menyiapkan data audio dan data video yang akan dikirim. Pada tabel 4 dan 5 terdapat 3 (tiga) audio dan 3 (tiga) video dengan ukuran yang berbeda – beda serta bandwidth yang berbeda, dimana nantinya akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4 Data audio

Bandwidth	Σ Data	Ukuran Audio
128 Kbps	3	2.012 KB
		4.078 KB
		10.006 KB
512 Kbps	3	2.012 KB
		4.078 KB
		10.006 KB
1Mbps	3	2.012 KB
		4.078 KB
		10.006 KB

Tabel 5 Data Video

Bandwidth	Σ Data	Ukuran Video
128 Kbps	3	3.084 KB
		8.041 KB
		14.001 KB
512 Kbps	3	3.084 KB
		8.041 KB
		14.001 KB
1Mbps	3	3.084 KB
		8.041 KB
		14.001 KB

Pengolahan Data

Pada pengolahan data ini, akan menjelaskan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai dari tiap parameter yang digunakan. Parameter tersebut meliputi *Latency (delay)*, *Jitter*, *Throughput* dan *Packet Loss*. Pertama, menjalankan aplikasi *FileZilla* pada PC Server dan Client, setelah itu menyiapkan data yang akan dikirimkan, setting *bandwidth router*, setelah itu aktifkan *wireshark* untuk memonitoring jalannya suatu proses pengiriman data dari Server ke Client. Sebelumnya pada *wireshark* di *set TCP* agar yang tertangkap yaitu data TCP, data TCP meliputi FTP, FTP-DATA dan TCP. Proses selanjutnya, menganalisa hasil yang tertangkap oleh aplikasi *wireshark* dan dihitung dengan menggunakan parameter-parameter QoS agar dapat memberikan kesimpulan pada hasil yang didapat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil analisa perbandingan antara MPLS-VPN dan MPLS-VPN berbasis MPLS-TE dengan parameter QoS, seperti *latency*, *jitter*, *throughput* dan *packet loss* untuk mengetahui kinerja dari kedua sistem tersebut.

Hasil analisis dari Qos dengan bandwidth yang berbeda

Hasil rata-rata dari Qos, antara lain *Latency (delay)*, *Jitter*, *Throughput* dan *Packet*

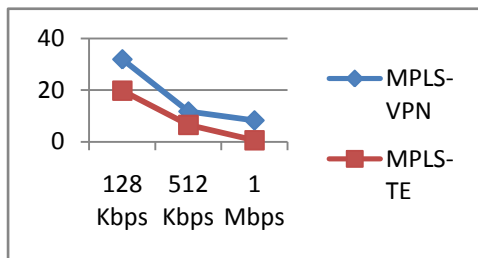
loss dengan membandingkan bandwidth yang berbeda – beda.

1. Delay

Delay pada audio dan video dengan perbandingan bandwidth yang berbeda. Nilai perhitungannya Tabel 5 di dapatkan dari hasil pengujian 3 data audio dan di rata-rata.

Tabel 5 Hasil dari keseluruhan bandwidth delay pada audio

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
128Kbps	30.09327467	21.400334
512Kbps	16.7787633	7.842495
1Mbps	2.972258	0.962598



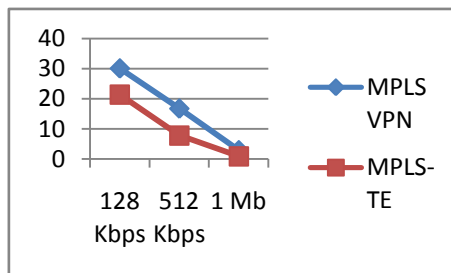
Gambar 4 Grafik Hasil Keseluruhan Delay audio

Tabel dan Grafik di atas adalah hasil rata-rata delay seluruh data audio dan dibandingkan dengan bandwidth yang berbeda.

Nilai perhitungan tabel 6 di dapatkan dari hasil pengujian 3 data audio dengan bandwidth yang berbeda dan di dapatkan rata-rata dari setiap bandwidth pada percobaan data video.

Tabel 6 Hasil dari keseluruhan bandwidth delay pada video

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
128Kbps	31.928256 s	19.736487 s
512Kbps	11.688267 s	6.557413 s
1Mbps	8.224838 s	0.629264 s



Gambar 5 Grafik Hasil Keseluruhan Delay video

Pada delay audio MPLS-VPN dan MPLS-TE, adanya penurunan delay pada setiap perubahan bandwidth. Semakin suatu jaringan diberi bandwidth yang besar semakin kecil pula delay yang dihasilkan.

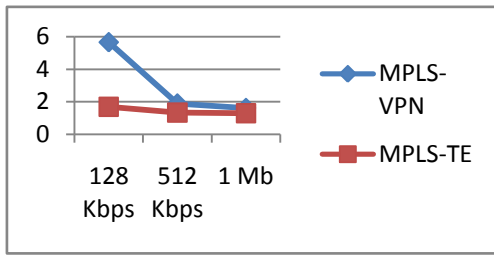
Terlihat pada MPLS-VPN pada bandwidth 128Kbps mempunyai delay sebesar 31.928256 s, namun menurun ketika bandwidth ditambah menjadi 512 Kbps, mempunyai nilai delay sebesar 11.688267 s. Perbedaan hasil yang berbeda tersebut karena pada MPLS-VPN melewati beberapa protokol yang mengatur rute routing yaitu melewati protokol OSPF, lalu melewati protokol *Border Gateway Protokol* (BGP) dan *Label Distribution Protocol* (LDP), lalu masuk ke OSPF lagi menuju ke klien. Sehingga menyebabkan terjadinya delay yang cukup signifikan pada MPLS-VPN dibandingkan MPLS-TE karena melewati beberapa proses perubahan protokol routing. Sedangkan, MPLS-TE hanya menggunakan protokol OSPF untuk mengatur rute routing dan melewati core MPLS dengan menggunakan label. Sehingga tidak terjadi delay yang cukup panjang.

2. Jitter

Jitter pada audio dan video dengan perbandingan bandwidth yang berbeda. Nilai perhitungannya tabel 7 di dapatkan dari hasil pengujian 3 data audio dengan bandwidth yang berbeda dan di dapatkan rata-rata dari jitter di setiap bandwidth.

Tabel 7 Hasil dari jitter keseluruhan bandwidth

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
128Kbps	5.660909	1.681080
512Kbps	1.893531	1.333386
1Mbps	1.616029	1.286810

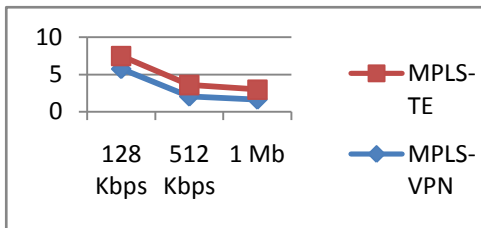


Gambar 6 Grafik hasil dari keseluruhan bandwidth jitter pada audio

Nilai perhitungan tabel 8 di dapatkan dari hasil pengujian 3 data video dengan bandwidth yang berbeda dan di dapatkan rata-rata dari jitter di setiap bandwidth.

Tabel 8 Hasil dari keseluruhan bandwidth jitter pada video

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
128Kbps	5.736300	1.713405
512Kbps	2.055136	1.524517
1Mbps	1.640363	1.335645



Gambar 7 Grafik Hasil dari keseluruhan bandwidth jitter pada video

Pada jitter audio bandwidth 128Kbps pada MPLS-VPN mempunyai nilai 5.736300 dan MPLS-TE mempunyai nilai 1.713405 kedua teknologi tersebut mempunyai perbedaan secara signifikan. Data video pada delay bandwidth 1Mbps memiliki nilai yang dihasilkan oleh MPLS-VPN yaitu sebesar 1.640363 dan MPLS-TE memiliki nilai jitter sebesar 1.335645. Nilai jitter pada bandwith 1Mbps lebih kecil dibandingkan nilai jitter pada bandwidht 128 Kbps hal ini karena bandwidht berpengaruh terhadap seberapa banyak data yang dapat dilewatkan dalam koneksi melalui sebuah network.

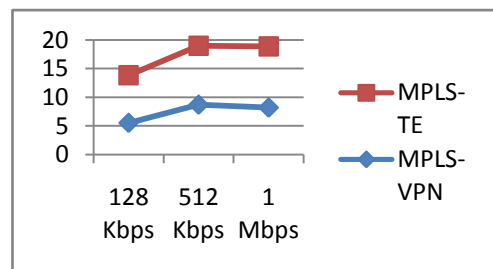
Semakin besar beban trafik atau nilai variasi delay di dalam jaringan akan menyebabkan semakin besar pula peluang terjadinya tumbukan antar paket, sehingga nilai jitter akan semakin besar dan menyebabkan nilai QoS semakin turun. Pada MPLS-VPN melewati beberapa protokol yang mengatur rute routing yaitu melewati protocol OSPF , lalu melewati protokol Border Gateway Protocol (BGP) dan Label Distribution Protocol (LDP) , lalu masuk ke OSPF lagi menuju ke klien. Sehingga menyebabkan adanya beban traffic yang mempengaruhi nilai jitter yang lebih besar pada MPLS-VPN , dibandingkan MPLS-TE. Sedangkan, MPLS-TE hanya menggunakan protocol OSPF untuk mengatur rute routing dan melewati core MPLS dengan menggunakan label. Sehingga beban *traffic* tidak cukup besar.

3.Throughput

Throughput pada audio dan video dengan perbandingan bandwidth yang berbeda.Nilai perhitungan tabel 9 di dapatkan dari hasil pengujian 3 data audio dengan bandwidth yang berbeda dan di dapatkan rata-rata dari *throughput* di setiap bandwidth.

Tabel 9 Hasil dari keseluruhan bandwidth *throughput* pada audio

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
128Kbps	5.559148	8.308197
512Kbps	8.733884	10.249072
1Mbps	8.224838	10.657869

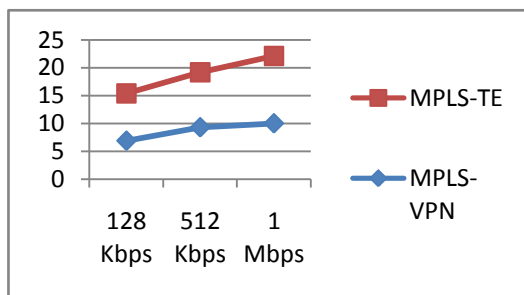


Gambar 8Grafik hasil dari keseluruhan bandwidth throughput pada audio

Nilai perhitungan tabel 10 di dapatkan dari hasil pengujian 3 data video dengan bandwidth yang berbeda dan di dapatkan rata-rata dari throughput di setiap bandwidth.

Tabel 10 Hasil dari keseluruhan bandwidth throughput pada video

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
128Kbps	6.894144	8.509132
512Kbps	9.291356	9.908501
1Mbps	10	12.099633



Gambar 9 Grafik hasil dari keseluruhan bandwidth throughput pada video

Pada throughput bandwidth 128Kbps pada MPLS-VPN mempunyai nilai 6.894144 dan MPLS-TE mempunyai nilai 8.509132. Throughput MPLS-TE lebih besar daripada throughput MPLS-VPN, disebabkan karena jumlah paket yang sama antara MPLS-VPN dan MPLS-TE, waktu kedatangan paket yang berhasil dikirimkan oleh MPLS-TE secara rata-rata lebih kecil sehingga nilai throughput pada MPLS-TE lebih besar dibandingkan MPLS-VPN.

Karena untuk mendapatkan nilai throughput menggunakan perhitungan waktu jumlah paket yang berhasil dikirim dibagi dengan waktu terbaik kedatangan paket yang berhasil dikirim. MPLS-TE waktu kedatangan paket berhasil dikirim terlihat lebih pendek daripada MPLS-VPN yang waktu kedatangan

4. Packet Loss

Packet Loss pada audio dan video dengan perbandingan bandwidth yang berbeda

Tabel 11 Hasil dari keseluruhan bandwidth packet loss pada audio

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
1Mbps	0	0
512Kbps	0	0
128Kbps	0	0

Tabel 12 Hasil dari keseluruhan bandwidth packet loss pada video

Ukuran Bandwidth	MPLS-VPN	MPLS-TE
1Mbps	0	0
512Kbps	0	0
128Kbps	0	0

Pada parameter packet loss pada data audio dan video dengan bandwidth 1 Mbps, 512 Kbps dan 128 Kbps memiliki hasil packet loss sebesar 0%. Hal ini disebabkan karena simulasi yang dibuat terisolasi atau tidak terhubung dengan jaringan internet sehingga tidak ada packet loss. Pada penelitian ini untuk melakukan pengujian menggunakan protocol TCP dan jika paket ada yang gagal maka pada saat proses tersebut data akan dikirmkan kembali.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada implementasi dan analisis MPLS-TE pada mikrotik didapatkan beberapa poin kesimpulan sebagai berikut :

1. *Nilai latency (delay)* : Bandwith yang berbeda berpengaruh terhadap nilai delay MPLS-VPN dan MPLS-TE. Semakin besar bandhwith yang tersedia, maka semakin kecil nilai delay yang dimiliki antara MPLS-VPN dan MPLS-TE. Hal ini karena bandwidht berpengaruh terhadap seberapa banyak data yang dapat dilewatkan dalam koneksi melalui sebuah network. Selisih nilai delay pada MPLS-VPN yang lebih besar daripada MPLS-TE,

- karena mekanisme routing protokol yang lebih panjang pada MPLS-VPN.
2. Nilai jitter (variasi delay) : Nilai jitter pada MPLS-VPN yang lebih besar daripada MPLS-TE karena beban trafik yang lebih besar. Hal ini disebabkan mekanisme routing protokol yang lebih panjang di dalam jaringan MPLS-VPN menyebabkan semakin besar peluang terjadinya tumbukan antar paket, sehingga nilai jitter yang dimiliki MPLS-VPN lebih besar.
 3. Nilai Throughput : MPLS-TE dan MPLS-VPN memiliki perbedaan throughput yang cukup signifikan, itu disebabkan karena meskipun jumlah paket yang sama antara MPLS-VPN dan MPLS-TE, waktu kedatangan paket yang berhasil dikirimkan oleh MPLS-TE secara rata-rata lebih kecil sehingga nilai throughput pada MPLS-TE lebih besar dibandingkan MPLS-VPN. Karena untuk mendapatkan nilai throughput menggunakan perhitungan waktu jumlah paket yang berhasil dikirim dibagi dengan waktu terbaik kedatangan paket yang berhasil dikirim.
 4. *Packet loss* : Hasil nilai packet loss yang dihasilkan MPLS-VPN dan MPLS-TE memiliki nilai 0%. Hal ini disebabkan karena simulasi yang dibuat terisolasi atau tidak terhubung dengan jaringan internet sehingga tidak ada packet loss.
 5. Berdasarkan pengujian parameter uji kinerja QoS, antara lain latency (delay), jitter, throughput dan packet loss dengan bandwidth yang bervariasi, menunjukkan hasil yang bervariasi. Semakin besar nilai bandwidth yang diberikan, hasil uji QoS pada MPLS-VPN dan MPLS-TE semakin baik. Dari semua uji coba tetap menunjukkan bahwa unjuk kerja MPLS-TE dari uji QoS lebih baik dibandingkan dengan MPLS-TE.

Saran

Berikut ini terdapat beberapa saran yang penulis berikan untuk penelitian berikutnya apabila ingin mengembangkan penelitian yang telah dibuat agar menjadi lebih baik adalah sebagai berikut :

1. Simulasi dilakukan dengan terhubung jaringan internet agar jaringan tidak terisolasi sehingga diketahui packet loss yang dibandingkan.

2. Penggunaan Router sebaiknya ditambah menjadi 8 Router agar pengujian dari MPLS-VPN lebih seimbang ketika proses redundancy.
3. Melakukan Pengujian MPLS-VPN dan MPLS-TE dengan memperhitungkan keamanan jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Zainuri (2013) *Implementasi dan Analisis Pelayanan VoIP pada Jaringan MPLS dengan Menggunakan Traffic Engineering*, Fakultas Ilmu Komputer. Udinus.Semarang
- Alwayn, V. 2000. *Advanced MPLS Design and Implementation* INDIANA POLIS: CISCO PRESS.
- Auliya, R. S. 2013. Penerapan Multiprotocol Label Switching (MPLS) untuk Mengatasi Permasalahan pada Best-effort Service. 3.
- Cahyaningtyas, A. 2013, April 22. *Pengenalan Dan Dasar Penggunaan Wireshark*. Retrieved from Ilmu Komputer: <http://ilmukomputer.org/2013/04/22/pengenalan-dan-dasar-penggunaan-wireshark/>
- Cisco Systems., 2007., Cisco VPN Solutions Center : MPLS Selection User Guide
- Ferguson, P., & Huston, G. 1998. *Quality of Service*. John Wiley & Sons Inc.
- Gheini, L. D. 2007. *MPLS Fundamental*. Cisco Press.
- ITU-T, *One-Way Transmission Time*, 2000. Rekomendasi ITU-T G.114
- Iwan Rijayana 2005. *Teknologi Multi Protocol Label Switching (MPLS) Untuk Meningkatkan Performa Jaringan*
- Lammie, T. 2005. *CCNA Cisco Certified Network Associate Study Guide*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Ozan. 2012, Oktober 18. *FTP Server dan FTP Client*. Retrieved from <https://melengo.wordpress.com/tag/ftp-server/>
- Riyadi, R.2014. *Implementasi dan Analisis MPLS-TE pada mikrotik*.Stikom Surabaya
- Rahman, M. 2013, Juli 31. *MPLS (Multiprotocol Layer Switching)*. Computer Network. Retrieved from Miftah Rahman (Go)-Blog: <https://belajarcomputernetwork.wordpress.com/tag/mpls-te/>

- Rasyid Arie, 2011, Simulasi dan Analisis QoS pada Jaringan MPLS-VPN dengan Menggunakan *BGP-Confederation*. Universitas Telkom, Bandung
- P. Revathi and R. Balasubramanian, "Efficiency Analysis on QoS Multicast routing protocols under Cross-layer Approach with Bandwidth estimated Admission Control," International Journal of Algorithms, Computing and Mathematics, vol 2, no 3, August 2009.
- Rijayana, I. 2005. Teknologi Multi Protocol Label Switching (MPLS) Untuk Meningkatkan Performa Jaringan. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2005*, 2.
- Setiawan, W. 2014, 12 25. *Pengertian Dan Penjelasan IPv4 atau Alamat IP (Internet Protocol) Versi 4*. Retrieved from Blangkonsoft.
- Sinaga, I. 2013, Juli 18. *Pengenalan Mikrotik. Netkrom*. Retrieved from Tutorial Netkrom: <http://tutorial.netkromsolution.com/?p=899>
- Stallings, W. 2000. *Komunikasi Data dan Komputer Jaringan Komputer*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Sugeng, W. 2010. *Jaringan Komputer dengan TCP/IP*. Bandung: Modula.
- Towidjojo, R. (2012). *Konsep dan Implementasi Routing dengan Router Mikrotik*. Jasakom.
- Wastuwibowo, K. 2003, November. *Jaringan MPLS*. Retrieved from Academia: http://www.academia.edu/2585297/Jaringan_MPLS