

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS PERFORMANSI JARINGAN VIRTUAL PRIVATE LAN SERVICE-TE TUNNEL DENGAN OPENIMSCORE SEBAGAI SERVER LAYANAN MULTIMEDIA

Implementation and Performance Analysis of Virtual Private LAN Service-TE Tunnel Network with OpenIMScore as Multimedia Service Server

Nabila¹, Rendy Munadi², Ratna Mayasari³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹nabila@students.telkomuniversity.ac.id, ²rendymunadi@telkomuniversity.ac.id,
³ratnamayasari07@yahoo.com

Abstrak

Pada umumnya *user* menggunakan jaringan publik atau jaringan yang telah dibuat oleh *Internet Service Provider* (ISP) untuk saling berkomunikasi. Permasalahan yang terdapat pada jaringan ISP yakni, tidak adanya jaminan keamanan dan QOS yang terjaga. Untuk mengatasi hal tersebut terdapat teknologi *tunneling* tetapi, pada teknologi ini terdapat kekurangan mengenai kompleksitas jaringan *backbone* yang digunakan serta didukung dengan alat yang memiliki harga tinggi.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut munculah teknologi untuk menutupi kekurangan teknologi *tunneling* yaitu, *Virtual Private LAN Services* (VPLS). VPLS adalah jaringan dimana beberapa *ethernet* LANs dari pelanggan yang berbeda lokasi untuk saling berkoneksi melalui jaringan penyedia layanan (*service provider*), dengan cara demikian mengemulasi segmen *Ethernet* LAN tunggal untuk pelanggan tersebut. Untuk mendukung kehandalan jaringannya ditambahkan pula fitur *Traffic Engineering Tunnel* pada jaringan VPLS yang menawarkan fungsi berdasarkan LSP yang menghasilkan *forwarding* paket menjadi lebih efisien serta untuk menyediakan *availability services* turut pula diintegrasikan server OpenIMScore guna memperkaya ketersediaan layanan multimedia untuk melengkapi teknologi NGN.

Pada tugas akhir ini, penulis mengimplementasikan VPLS-TE Tunneling pada Router Mikrotik. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada jaringan VPLS dengan adanya penambahan fitur TE Tunnel didapatkan perbaikan hasil *delay* sebesar 72.1% untuk layanan VoIP dan layanan Video Call 63.65%. Untuk parameter *Throughput* didapatkan perbaikan sebesar 1.83% untuk layanan VoIP dan 10.4% untuk layanan Video Call.

Kata kunci : VPLS, VPLS-TE, LAN, OpenIMScore, QoS

Abstract

In general user usually uses a public network or a network that was created by the Internet Service Provider (ISP) to communicate with each other. Problems found in the ISP's network, the lack of security and QOS are awake. To overcome this there's a tunneling technology but, on this technology there's a shortage on the complexity of the backbone network that is used and supported by tools that have a high price.

To satisfy this need comes the technology to cover the tunneling technology is Virtual Private LAN Services (VPLS). VPLS is a network where multiple ethernet LANs from different customers for each location connect via a network service provider (service provider), thereby emulates a single Ethernet LAN segment for these customers. To support the reliability of its network added also features Traffic Engineering Tunnel on the VPLS network that offers functionality that generates the LSP based packet forwarding become more efficient and to provide availability services also contribute to integrated server OpenIMScore to enrich the multimedia service availability to completed the NGN technology.

In this final project, the author implements VPLS-TE tunneling on Mikrotik Router. The test result of adding TE Tunnel feature on VPLS network show improved 72.1% in delay for VoIP service and 63.65% for video call. For throughput parameter showed a improved 1.83% for VoIP service and 10.4% for video call.

Keywords : VPLS, VPLS-TE TUNNEL, LAN, OpenIMScore, QoS.

1. Pendahuluan

Pada masa kini, teknologi komunikasi *packet based* mengalami perkembangan pesat guna memfasilitasi kebutuhan *user* yang semakin beragam. Untuk memenuhi kebutuhan komunikasi tersebut, umumnya sebuah instansi besar membuat jaringan pribadi dengan infrastruktur yang canggih. Namun, bagi sebagian besar *user* membuat jaringan pribadi dirasa terlalu mahal, sehingga dalam implementasinya *user* menggunakan jaringan publik. Permasalahan yang terdapat jaringan publik tidak adanya jaminan keamanan dan QoS yang terjaga. Untuk mengatasi hal tersebut terdapat teknologi VPLS. VPLS merupakan bentuk implementasi dari jaringan MPLS VPN di layer 2. Karena menggunakan teknologi MPLS untuk jaringan *backbone*-nya, kecepatan transfer data yang diberikan pun tinggi. Hal ini disebabkan pada MPLS, metode *forwarding* datanya menggunakan informasi dari *label* yang disisipkan pada paket IP, sehingga dapat mengurangi *delay* pembacaan *routing table*. [1]. VPLS mengambil keuntungan penuh dari ketahanan, fleksibilitas, skalabilitas, dan kehandalan arsitektur layanan IP / MPLS VPN [2]. Meskipun telah di dukung teknologi MPLS untuk mengurangi *delay* namun, teknologi ini memiliki kekurangan yakni tidak adanya manajemen *Tunnel* yang akan dilewatkan *traffic* sehingga terjadi kemungkinan adanya kongesti di jaringan tersebut. Untuk perlu adanya mekanisme tertentu dalam menanggapi masalah tersebut.

Dengan tambahan teknologi *Traffic Engineering* sebelum paket dikirimkan terdapat mekanisme untuk melihat kondisi jaringan terlebih dahulu, bagaimanakah kondisi Bandwidth-nya, apakah kondisi link tersebut penuh atau tidak, setelah itu barulah dilakukan mekanisme pemilihan rute terbaik berdasarkan kondisi jaringan tersebut dengan utilitas *link* yang rendah.

Untuk mendukung variasi layanan multimedia pada jaringan VPLS yang dibangun, turut pula diintegrasikan server OpenIMScore yang mengadopsi konsep IP Multimedia Subsystem (IMS).

Tujuan diimplementasikannya jaringan VPLS-TE Tunnel selain untuk memiliki jaringan yang handal dengan berbagai mekanisme yang dimiliki, juga untuk mengurangi kompleksitas jaringan serta QoS layanan dapat terjaga. Dalam tugas akhir ini, akan dibandingkan performansi jaringan diimplementasikan VPLS yang di dukung fitur TE Tunnel dengan tidak ditambahkan TE Tunnel guna menjadi representasi terciptanya sebuah jaringan yang handal serta utilitas yang tinggi untuk diimplementasikan dalam komunikasi multimedia yang lebih luas.

2. Landasan Teori

2.1. Multi Protocol Label Switching [3]

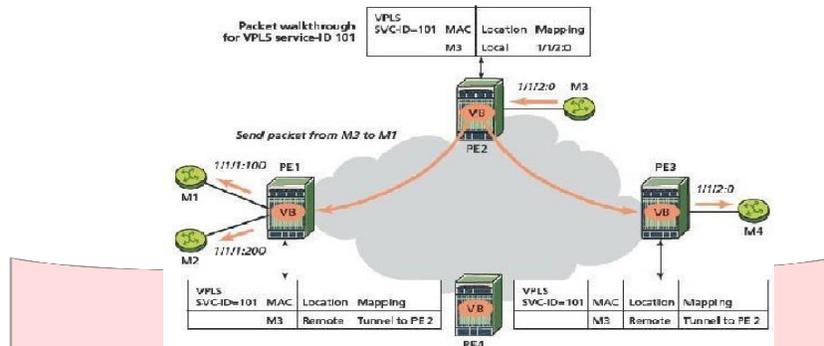
Multi Protocol Label Switching (MPLS) adalah suatu metode *forwarding* (meneruskan data melalui suatu jaringan dengan menggunakan informasi dalam label yang dilekatkan pada paket IP), sehingga memungkinkan *router* untuk meneruskan paket dengan hanya melihat label dari paket itu, tidak perlu melihat alamat IP tujuannya.

2.2. Virtual Private LAN Service

VPLS, yang dikenal juga sebagai *Transparent LAN Service* (TLS) atau *E-LAN service*, adalah *multipoint* VPN layer 2 yang mengijinkan banyak daerah untuk dihubungkan dalam satu *single/bridge domain* yang sama melalui jaringan IP/MPLS. Semua daerah *client* dalam VPLS *instance* dapat seolah-olah berada pada satu jaringan LAN yang sama walaupun sebenarnya terpisah secara geografis. VPLS menggunakan *interface Ethernet* ke *client*-nya [4]. Layanan VPLS disediakan untuk operator, penyedia layanan, dan perusahaan besar yang membutuhkan ketersediaan layanan Ethernet dengan kinerja tinggi dan jaminan Quality of Service (QoS) [2].

2.3. Cara Kerja VPLS [5]

Pada saat VPLS ingin dibangun maka jaringan IP/MPLS harus dibangun terlebih dahulu. Setelah jaringan IP/MPLS tersebut dibangun, setiap *router* dikonfigurasi dengan jaringan VPLS. Selanjutnya setiap *router* yang dikonfigurasi akan membentuk *Service Destination Point* atau jalur *tunnel* yang menghubungkan satu *router* PE dengan semua *router* PE yang lain. Selanjutnya setiap *router* yang telah dikonfigurasi jaringan VPLS akan memberikan Sinyal LDP/MP-BGP secara otomatis melakukan *broadcast* sinyal ke seluruh *router* melalui *tunnel* SDP dan mencari *router* tujuan yang memiliki syarat nomor VC-label dan tipe sinyal yang sama. VC-label adalah nomor yang menandakan hubungan pada koneksi virtual pada jalur *tunnel*. Setelah mendapatkan *router* tujuan, sinyal secara otomatis akan kembali pada *router* awal dengan mengubah format label sinyal sebagai tanda nomor dari *router* tujuan.



Gambar 1. 1 Mekanisme Pengiriman Data VPLS [7]

Pada gambar 2.6 menunjukkan mekanisme pengiriman data di jaringan VPLS. Seperti pada gambar, data dari router M3 akan dikirimkan pada router M1. Data tersebut diterima SAP pada PE2 kemudian difilter oleh SAP. Setelah itu FDB melihat MAC address sumber data tersebut dan memasukan ke dalam tabel MAC address. PE2 belum mengetahui MAC address tujuan M1 selanjutnya pseudowire melakukan enkapsulasi data tersebut dan melakukan broadcast data tersebut ke PE1 dan PE3.

Setelah data sampai di PE1, FDB router PE1 melihat MAC address paket data tersebut dan memasukannya ke dalam tabel MAC address, begitu juga dengan FDB di PE3. Kemudian router PE1 mengirimkan data tersebut secara broadcast ke M1 dan M2 dan PE3 mengirimkan ke router M4. Pada saat dikirimkan data tersebut sudah didekapsulasi sehingga formatnya sama saat dikirimkan router M3 ke PE2. Paket data yang dikirim ke M1, M2, dan M4 akan mengecek MAC address M1, M2, dan M4 untuk mengetahui MAC address tujuannya. MAC address M2 dan M4 tidak sesuai dengan tujuan paket data tersebut maka secara otomatis paket akan didrop. Router M1 memiliki MAC address yang sesuai dengan MAC address tujuan paket tersebut maka paket data diterima M1.

Selanjutnya M1 mengirimkan konfirmasi bahwa paket telah diterima. M1 mengirimkan paket ke PE1 dan diterima SAP di PE1. SAP kemudian melakukan filter dan mengklasifikasikan paket tersebut. Selanjutnya FDB melihat MAC address sumber data dan dimasukan ke dalam tabel MAC kemudian FDB mencari MAC address tujuan pada tabel MAC dan ternyata ada. Paket tersebut dienkapsulasi dan diteruskan ke PE2 tanpa melakukan broadcast ke PE3 oleh pseudowire. Setelah sampai di PE2, FDB pada PE2 melihat MAC address tujuan pada tabel MAC, MAC address menunjukan M3 kemudian paket diteruskan ke M3 setelah sebelumnya didekapsulasi.

2.4. Traffic Engineering [6]

Traffic engineering adalah proses pemilihan saluran data traffic untuk menyeimbangkan beban trafik pada berbagai jalur dan titik dalam network. Tujuan akhirnya adalah memungkinkan operasional network yang andal dan efisien, sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumberdaya dan performansi trafik. Panduan TE untuk MPLS (disebut MPLS-TE) adalah RFC-2702 [Awduche 1999a]. RFC-2702 menyebutkan tiga masalah dasar berkaitan dengan MPLS-TE, yaitu:

- Pemetaan paket ke dalam FEC
- Pemetaan FEC ke dalam trunk trafik
- Pemetaan trunk trafik ke topologi network fisik melalui LSP

Namun RFC hanya membahas soal ketiga. Soal lain dikaji sebagai soal-soal QoS. Awduche [1999] menyusun sebuah model MPLS-TE, yang terdiri atas komponen-komponen: manajemen path, penempatan trafik, penyebaran keadaan network, dan manajemen network

2.5. OpenIMScore

OpenIMScore merupakan proyek open source milik Fraunhofer Institute FOKUS yang dikembangkan khusus untuk testbed IMS. [7]

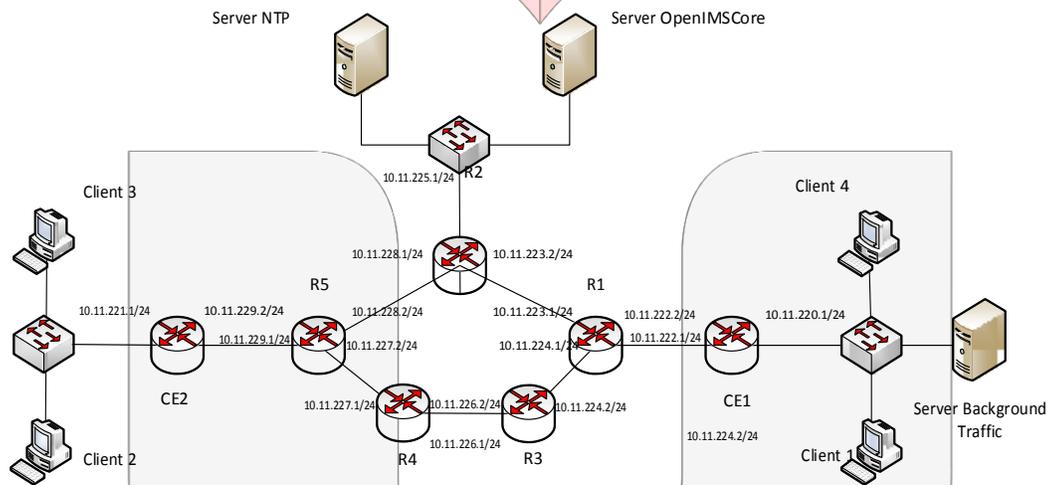
Proyek OpenIMScore ini bertujuan untuk melayani jaringan IMS yang sudah ada pada lingkungan open source yang mengedepankan fleksibilitas dan kemudahan untuk mengembangkannya. OpenIMScore ini digunakan sebagai media untuk melakukan tes terhadap jaringan IMS sehingga dapat ditemukan solusi atau skenario terbaik untuk pengembangan jaringan IMS.

2.6. Quality of Service (QoS)

Quality of Service merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik pada trafik data tertentu pada berbagai jenis platform teknologi. QoS diperoleh dari pengimplementasian suatu layanan langsung pada jaringan. Pada penelitian saat ini menganalisis 3 parameter QoS sebagai berikut:

- **One way delay**
Delay merupakan permasalahan umum yang terdapat pada jaringan telekomunikasi. Secara teknis, *delay* merupakan waktu yang diperlukan sebuah paket untuk melakukan perjalanan dari pengirim ke penerima.
- **Jitter**
Jitter didefinisikan sebagai variasi *delay* yang diakibatkan oleh panjang antrian dalam suatu pengolahan data dan *reassemble* paket-paket data di akhir pengiriman akibat kegagalan sebelumnya. *Jitter* merupakan masalah yang khas pada *connectionless* atau *packet switch network*.
- **Throughput**
Throughput dalam jaringan telekomunikasi merupakan rata-rata pengiriman sukses dalam suatu pengiriman (satuan bps).

3. Perancangan dan Implementasi



Gambar 3. 1 Topology Sistem

Gambar 3.1 merupakan gambar konfigurasi jaringan yang akan dibangun untuk menguji performansi jaringan VPLS-TE Tunnel dengan OpenIMSCore sebagai server layanan multimedia. Topologi diatas dapat terbagi menjadi tiga sub bagian, yaitu :

1. Server layanan multimedia, server yang digunakan adalah OpenIMSCore.
2. Server NTP untuk sinkronisasi client
3. Server *Background Traffic* untuk membanjiri trafik dalam jaringan.
4. *Backbone Network*, pada bagian ini jaringan *backbone* terdiri dari 5 buah *router* mikrotik dengan VPLS dan TE Tunnel yang telah di konfigurasi.
5. 2 buah *router* mikrotik sebagai *customer edge*.
6. *Client*, terdiri dari empat PC yang akan digunakan sebagai *client* untuk tiap jenis layanan yang disediakan

4. Pengujian dan Analisis Implementasi Sistem

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis dari hasil pengujian sistem yang telah diimplementasikan. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui performansi layanan multimedia (VoIP dan Video Call) yang dilewatkan pada jaringan yang menggunakan *backbone* Virtual Private Lan Service dengan tambahan fitur TE Tunnel. Parameter QoS yang diambil adalah *One way delay*, *Jitter*, *Throughput* dan penambahan perhitungan MOS untuk menentukan kualitas layanannya.

Pengujian dilakukan dengan melewati semua layanan pada jaringan yang telah di bangun untuk kemudian dilakukan pengujian parameter QoS dan MOS pada setiap layanan. Pengujian dilakukan dengan dua skenario yaitu :

- a. Pengujian jaringan VPLS Tanpa *TE Tunnel*
- b. Pengujian jaringan VPLS dengan *TE Tunnel*

Pada setiap skenario, akan dilakukan skenario pembanjiran *traffic* sebesar 0 Mbps, 20 Mbps, 40 Mbps, 60 Mbps, dan 80 Mbps. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk setiap skenario yang dilakukan.

4.1. Performansi QoS

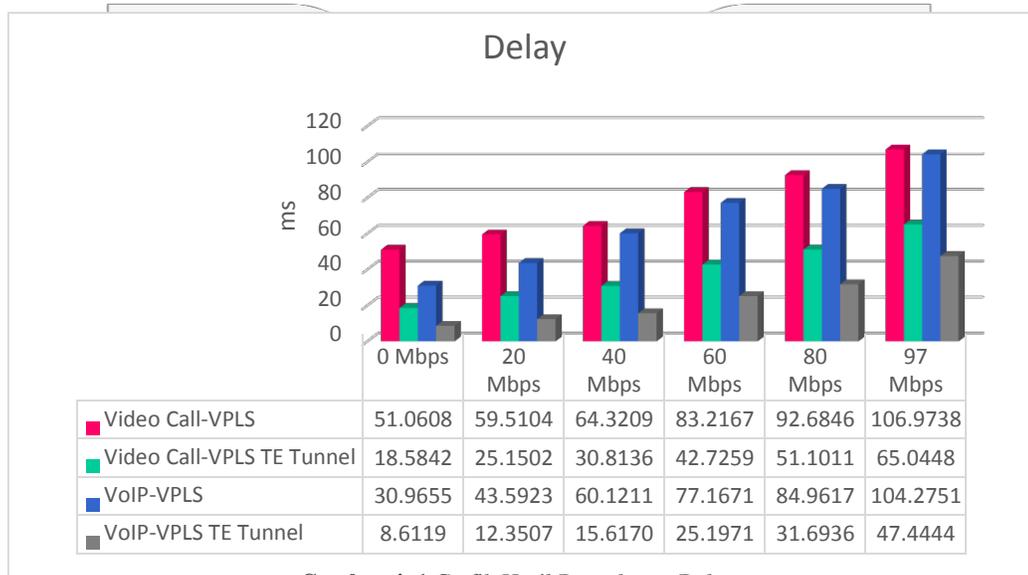
Pada bagian ini ditunjukkan hasil pengukuran dan analisis system yang telah dilakukan diantaranya adalah parameter *delay*, *jitter*, dan *throughput* untuk layanan VoIP dan video call pada jaringan *backbone* VPLS. Parameter yang diuji meliputi *one way delay*, *jitter*, dan *throughput*.

a. Tujuan Pengukuran

Pengukuran ini bertujuan mengetahui nilai *one way delay*, *jitter*, dan *throughput* dari layanan VoIP dan video call yang dilewatkan pada jaringan VPLS TE Tunnel. Sistematika pengukuran dari layanan yang menggunakan variasi *background traffic* diantaranya 0 Mbps, 20 Mbps, 40 Mbps, 60 Mbps, dan 80 Mbps. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas layanan ketika terjadi penyempitan pada *bandwidth* saluran transmisi dari jaringan yang diimplementasikan.

b. Hasil Pengukuran

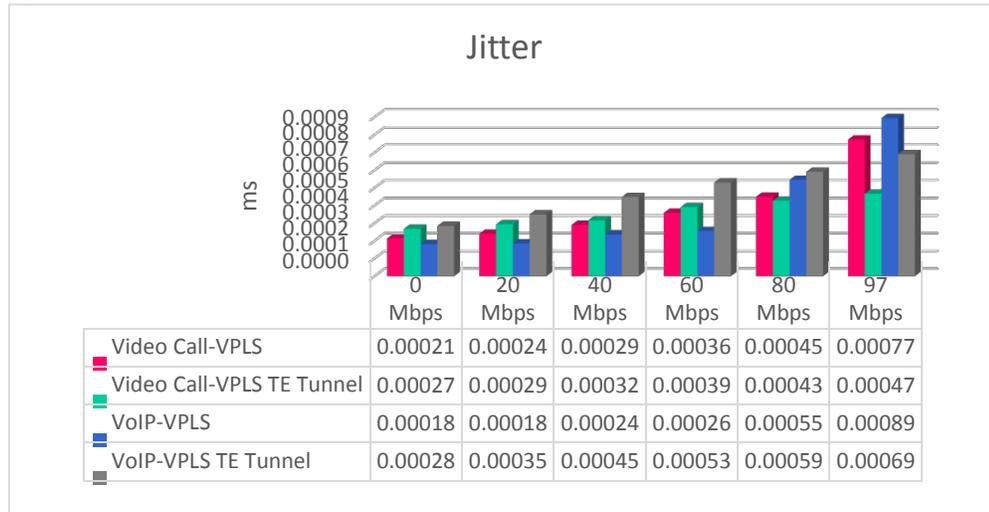
- *Delay*



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengukuran Delay

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa hasil pengukuran *delay* pada layanan yang dilewatkan pada jaringan dengan VPLS-TE Tunnel menunjukan nilai yang lebih kecil dibandingkan nilai *delay* pada layanan yang dilewatkan pada jaringan VPLS tanpa TE Tunnel dengan perbaikan nilai *delay* sebesar 63.65% untuk layanan video call pada *background traffic* 0 Mbps sedangkan untuk layanan VoIP pada *background traffic* 0 Mbps mengalami perbaikan nilai *delay* sebesar 72.1%. Hal ini sebabkan karena fitur TE Tunnel yang ditambahkan pada *backbone* jaringan terdapat mekanisme pemilihan jalur dengan utilitas jaringan yang paling rendah sehingga menghasilkan waktu tempuh paket dari pengirim ke penerima relatif cepat sehingga menghasilkan *delay* yang kecil.

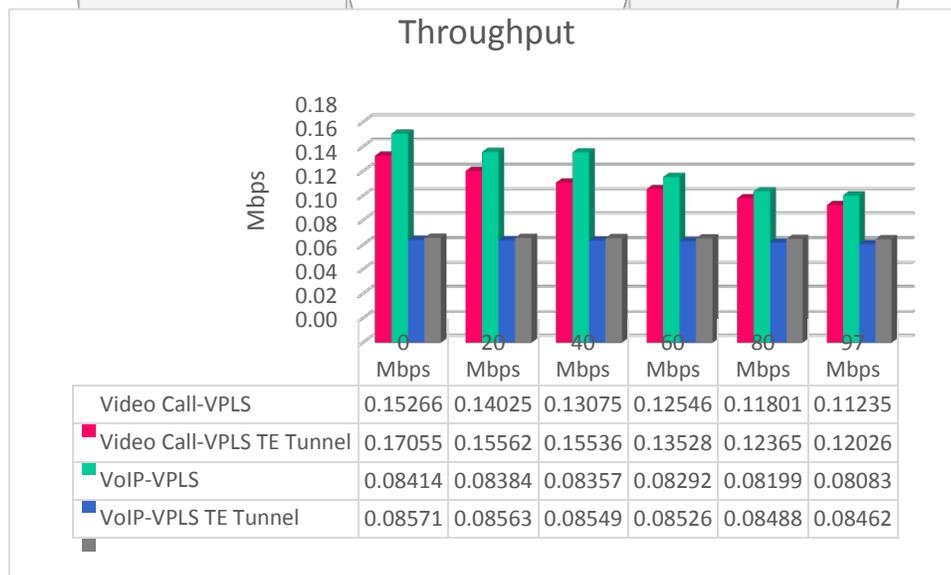
- **Jitter**



Gambar 4. 2 Grafik hasil pengukuran Jitter

Gambar 4.2 merupakan hasil pengukuran *Jitter* untuk layanan VoIP dan *Video Call*. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *jitter* naik seiring dengan semakin besar *background traffic* di tambahkan pada jaringan *backbone* yang digunakan. Terlihat pada semua skenario yang dijalankan, nilai *jitter* pada jaringan VPLS memiliki nilai *jitter* yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai *jitter* pada jaringan VPLS-TE Tunnel ini dikarenakan pada fitur TE Tunnel terdapat penambahan fungsi *tunneling* sehingga terdapat waktu tambahan untuk meng *set up* tunnel yang mengakibatkan variasi delay dalam jaringan relatif besar. Jadi pengiriman data pada jaringan VPLS-TE Tunnel dari sisi *delay* memiliki nilai yang kecil namun, dari sisi nilai *jitter* relatif besar dibandingkan tanpa adanya tambahan TE Tunnel. Terlihat pada grafik untuk nilai *jitter* pada *background traffic* 80 Mbps pada jaringan VPLS untuk kedua layanan meningkat sangat besar dikarenakan kondisi jaringan sudah tidak ideal, serta dalam jaringan VPLS tidak terdapat manajemen path yang mengakibatkan tidak konstannya nilai *jitter* pada jaringan yang sudah tidak ideal dibandingkan dengan jaringan VPLS TE Tunnel yang memiliki nilai *jitter* yang relatif konstant untuk berbagai skenario penambahan *background traffic*.

- **Throughput**



Gambar 4. 3 Grafik perhitungan *Throughput*

Berdasarkan hasil pengukuran, dapat dilihat bahwa *throughput* yang terukur pada *wireshark* menunjukan nilai yang sesuai dengan perhitungan *bandwidth* maksimal untuk layanan VoIP. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa besar nilai *throughput* berbanding terbalik dengan besarnya *background traffic* yang digunakan. Hal ini terjadi karena penyempitan *bandwidth* akibat *background traffic* yang menyebabkan *traffic* semakin padat. Kenaikan *background traffic* menyebabkan kecepatan pengiriman paket dari pengirim ke penerima pun menurun. Karena *throughput* merupakan jumlah paket yang sukses diterima dalam satuan detik, maka ketika jaringan dilewatkan paket semakin banyak maka jumlah paket yang sampai dalam satuan waktu juga akan berkurang sehingga nilai *throughput* menurun.

• **Mean Opinion Score (MOS)**

Untuk menentukan kualitas layanan dalam jaringan IP (internet protocol) dapat digunakan beberapaparameter subjektif, salah satunya adalah dengan metode Mean Opinion Score (MOS). MOS merupakan parameter subjektif untuk mengukur kualitas layanan. Pendekatan matematis yang digunakan untuk menentukan kualitas layanan berdasarkan penyebab menurunnya kualitas layanan dalam jaringan dimodelkan dengan E-Model ITU-T G.107 dan ITU-T P.800. Berikut adalah tabel perbandingan nilai MOS pada layanan VoIP dan video call.

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan MOS Video Call VPLS

Perhitungan MOS berdasarkan R Faktor (Video Call-VPLS)			
Skenario	Delay	R faktor	MOS
0 Mbps	51.0608	85.9745	4.2284
20 Mbps	59.5104	85.7717	4.2222
40 Mbps	64.3209	85.6563	4.2186
60 Mbps	83.2167	85.2028	4.2045
80 Mbps	92.6846	84.9756	4.1974
97 Mbps	106.9738	84.6326	4.1864

Tabel 4. 3 Tabel Perhitungan VoIP-VPLS

Perhitungan MOS berdasarkan R Faktor (VoIP-VPLS)			
Skenario	Delay	R faktor	MOS
0 Mbps	30.9655	86.4568	4.2428
20 Mbps	43.5923	86.1538	4.2338
40 Mbps	60.1211	85.7571	4.2217
60 Mbps	77.1671	85.3480	4.2091
80 Mbps	84.9617	85.1609	4.2032
97 Mbps	104.2751	84.6974	4.1885

Tabel 4. 2 Tabel Perhitungan MOS Video Call VPLS-TE Tunnel

Perhitungan MOS berdasarkan R Faktor (Video Call-VPLS TE Tunnel)			
Skenario	Delay	R faktor	MOS
0 Mbps	18.5842	86.7540	4.2516
20 Mbps	25.1502	86.5964	4.2470
40 Mbps	30.8136	86.4605	4.2429
60 Mbps	42.7259	86.1746	4.2344
80 Mbps	51.1011	85.9736	4.2283
97 Mbps	65.0448	85.6389	4.2181

Tabel 4. 4 Tabel Perhitungan VoIP-VPLS TE Tunnel

Perhitungan MOS berdasarkan R Faktor (VoIP-VPLS TE Tunnel)			
Skenario	Delay	R faktor	MOS
0 Mbps	8.6119	86.9933	4.2586
20 Mbps	12.3507	86.9036	4.2560
40 Mbps	15.6170	86.8252	4.2537
60 Mbps	25.1971	86.5953	4.2469
80 Mbps	31.6936	86.4394	4.2423
97 Mbps	47.4444	86.0613	4.2310

Berdasarkan semua tabel diatas perhitungan nilai MOS yang dilakukan menunjukkan kualitas semua layanan baik VoIP maupun Video Call menunjukkan kualitas “Good” pada *background traffic* 0 - 80 Mbps karena masih berada diatas nilai 4. Itu berarti bahwa untuk kualitas suara dan gambar jika diberi *background traffic* dari rentang 0 Mbps -80 Mbps masih bagus untuk melakukan komunikasi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian dan analisis maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Fitur TE Tunnel dapat diimplementasikan pada jaringan VPLS dengan menggunakan router mikrotik RB-750.
2. Penambahan fitur TE Tunnel pada jaringan VPLS terbukti meningkatkan performansi layanan dari segi QoS dan MOS menjadi lebih baik dengan berbagai skenario penambahan *background traffic* 0 Mbps-80 Mbps. untuk parameter nilai *delay* dengan adanya penambahan fitur TE Tunnel pada skenario 0 Mbps memberikan perbaikan sebesar 32.4766 ms atau 63.65% untuk layanan *video call* dan sedangkan untuk layanan VoIP pada *background traffic* 0 Mbps mengalami perbaikan nilai *delay* sebesar 22.35356 ms atau 72.1%.

3. Dari segi parameter *throughput* penambahan fitur TE Tunnel pada jaringan VPLS terbukti memperbaiki nilai *throughput* sebesar 0.017892 Mbps atau 10.49% untuk layanan *video call* sedangkan untuk layanan VoIP mengalami perbaikan sebesar 0.0001 Mbps atau 1.83 %..
4. Pada pengukuran kualitas sistem layanan *video call* dan VoIP yang ditambahkan fitur TE Tunnel menggunakan perhitungan metode Mean Opinion Score (MOS) dengan E-Model untuk *background traffic* 0 Mbps sampai 80 Mbps menunjukan hasil yang lebih baik dibandingkan jaringan VPLS tanpa ditambahkan TE Tunnel dengan nilai diatas 4 yang menunjukkan kualitas “Good/Baik” berdasarkan rekomendasi ITU-T P.800 dan ITU-T G.107.
5. Dari hasil keseluruhan pengukuran dan analisis, dengan adanya penambahan fitur TE Tunnel dapat menawarkan nilai QoS (*Delay, Jitter* dan *Throughput*) dan MOS yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Fitriani, IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTICAST VPLS (Virtual Private LAN Service) NETWORK FOR VIDEO STREAMING SERVICE, vol. I, Bandung: Telkom University, 2014, p. 2.
- [2] A. G. A, Virtual Private LAN Service (Architecture), George Mason University, 2014.
- [3] A. W. Perdana, PERFORMANCE ANALYSIS QoS (Quality of Service) MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS), vol. I, Bandung: Telkom University, 2014, p. 3.
- [4] Alcatel-Lucent, VPLS Technical Tutorial, diunduh dari alamat www.fplfibernet.com/, 2009.
- [5] L. Hapsari, IMPLEMENTATION AND ANALYSIS OF PERFORMANCE VIRTUAL REDUNDANCY ROUTER PROTOCOL (VRRP) IN VPLS NETWORK, Bandung, 2013.
- [6] Z. Xu, Designing and Implementing IP/MPLS-Based Ethernet Layer 2 VPN Services: An Advanced Guide for VPLS and VLL.
- [7] M. Poikselka, IMS IP Multimedia Concepts and Services Second Edition, England: JOHN WILEY & SONS, 2006.
- [8] D. Febianto, Implementasi dan analisis perbandingan Quality of Service antara jaringan BGP-VPLS dan LDP-VPLS, Institut Teknologi Telkom.