

Analisis Penggunaan Metode *XConnect Main and Backup Link* Berbasis VPN MPLS Layer 2 pada Jaringan *Metro-Ethernet*

Mochammed Erryandra Saputra ¹, Yuma Akbar ^{2*}

^{1,2*} Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Cipta Karya Informatika, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia.

Email: erryandra2002@gmail.com ¹, yuma.pjj@gmail.com ^{2*}

Histori Artikel:

Dikirim 27 Juli 2024; Diterima dalam bentuk revisi 10 Agustus 2024; Diterima 20 Agustus 2024; Diterbitkan 20 September 2024. Semua hak dilindungi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) STMIK Indonesia Banda Aceh.

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat memerlukan skalabilitas yang sangat baik, yang mana hal ini sangat penting bagi ketersediaan kinerja jaringan. MPLS adalah teknologi yang dapat digunakan untuk komunikasi pada jaringan backbone berkecepatan tinggi berbasis virtual private network (VPN). MPLS memberikan solusi dari berbagai permasalahan jaringan komputer saat ini seperti kecepatan, skalabilitas, quality of service (QoS) dan manajemen lalu lintas jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan skalabilitas lalu lintas jaringan berbasis MPLS Layer 2 VPN dengan menerapkan metode xconnect main and backup yang diterapkan pada jaringan metro Ethernet. Implementasi simulasi jaringan dibuat menggunakan aplikasi Emulated Virtual Environment – Next Generation (EVE-NG) untuk memperoleh data hasil pengukuran waktu QoS sesuai standar TIPHON serta penggunaan MPLS dan Route Reflector untuk meningkatkan kinerja backbone MPLS. Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kedua jalur MPLS L2VPN main dan backup memiliki nilai indeks yang baik dalam pengiriman paket sesuai standar TIPHON, dengan rata-rata penilaian 3,0. Dengan demikian penelitian ini dapat membantu untuk mengoptimalkan skalabilitas jalur sehingga dapat meningkatkan kualitas lalu lintas jaringan MPLS L2VPN.

Kata Kunci: MPLS; VPN; Xconnect; Metro Ethernet; TIPHON.

Abstract

The rapid development of information and communication technology requires excellent scalability, which is crucial for network performance availability. MPLS is a technology that can be used for communication in high-speed backbone networks based on virtual private networks (VPN). MPLS provides solutions to various current computer network problems such as speed, scalability, quality of service (QoS), and network traffic management. This research aims to optimize the scalability of MPLS Layer 2 VPN-based network traffic by applying the xconnect main and backup method implemented in metro Ethernet networks. The network simulation implementation was created using the Emulated Virtual Environment – Next Generation (EVE-NG) application to obtain data on convergence time and QoS parameters according to TIPHON standards, as well as the use of MPLS and Route Reflector to enhance MPLS backbone performance. This research shows that both main and backup MPLS L2VPN paths have good index values in packet delivery according to TIPHON standards, with an average rating of 3.0. Thus, this research can help optimize path scalability to improve the quality of MPLS L2VPN network traffic.

Keyword: MPLS; VPN; Xconnect; Metro Ethernet; TIPHON.

1. Pendahuluan

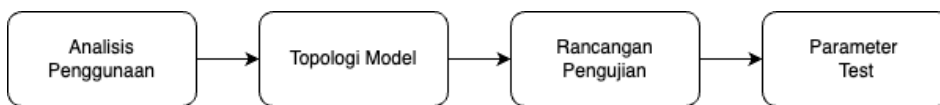
Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong peningkatan signifikan dalam layanan komunikasi dan jaringan. Perkembangan ini berimplikasi pada kebutuhan penyedia jasa internet untuk mengoptimalkan layanan mereka guna mengatasi tantangan seperti kerusakan sistem, kehilangan data, dan kesalahan pemrosesan. Teknologi utama yang digunakan dalam upaya ini adalah *Virtual Private Network (VPN)* dan *Multi Protocol Label Switching (MPLS)*, yang telah terbukti efektif dalam menangani berbagai masalah jaringan tersebut (Akbar & Suprianto, 2022). *Virtual Private Network (VPN)* adalah sebuah teknologi yang menghubungkan dua atau lebih jaringan lokal secara aman melalui mekanisme enkripsi data (Dewi & Sulistiyah, 2022). VPN merupakan jaringan komunikasi privat yang memanfaatkan jaringan publik untuk membentuk *Wide Area Network (WAN)*. Prinsip dasar VPN melibatkan penggunaan teknologi tunneling, di mana data yang dikirimkan dikapsulasi melalui protokol tunnel dalam jaringan publik seperti internet, sehingga data dapat terlindungi dari potensi gangguan keamanan (Dewi & Sulistiyah, 2022).

Di sisi lain, *Multi Protocol Label Switching (MPLS)* menawarkan solusi yang lebih luas untuk berbagai permasalahan dalam jaringan komputer, termasuk kecepatan, skalabilitas, kualitas layanan (*Quality of Service* atau *QoS*), dan manajemen lalu lintas (Dewi & Sulistiyah, 2022). MPLS memungkinkan pembentukan jalur komunikasi berkecepatan tinggi pada jaringan backbone, dengan menggabungkan kemampuan switching dan routing yang lebih efisien. Implementasi VPN berbasis MPLS dapat dikombinasikan dengan layanan *Layer 2* yang dikenal sebagai *L2VPN*. *L2VPN* menggunakan *Layer 2* untuk membangun topologi jaringan *point-to-point* yang terhubung melalui VPN, sehingga mendukung kebutuhan komunikasi yang lebih spesifik dan fleksibel (Ramadwiputra, Munadi, & Laksono, 2019). Salah satu komponen utama dari *L2VPN* adalah *xconnect*, yang memungkinkan perangkat dalam jaringan MPLS untuk berkomunikasi dan membedakan jalur paket berdasarkan *virtual circuit ID* (Hakim *et al.*, 2023). Dengan adanya *xconnect*, jaringan dapat diatur untuk memiliki jalur utama dan cadangan, yang secara signifikan meningkatkan keandalan dan ketersediaan jaringan. Selain itu, *Metro Ethernet*, sebagai layanan jaringan berbasis *Ethernet* dengan kapasitas tinggi, memberikan keuntungan berupa fleksibilitas, kesederhanaan, dan kualitas layanan yang tinggi, dengan kecepatan hingga 10 Gbps dan cakupan yang mencapai ratusan kilometer (Hakim *et al.*, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan mengeksplorasi penggunaan *xconnect* dengan konfigurasi *Main and Backup Link* berbasis VPN MPLS *Layer 2* pada jaringan *metro Ethernet*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana penerapan metode ini dapat mengoptimalkan kinerja jaringan dengan mempertimbangkan parameter-parameter kunci seperti konvergensi waktu dan *Quality of Service* sesuai dengan standar TIPHON, serta penggunaan MPLS dan *Route Reflector* untuk meningkatkan kinerja backbone MPLS.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data kualitatif melalui proses observasi, yang dibagi menjadi dua jenis data: data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari penerapan metode desain simulasi, dengan menggunakan aplikasi *Emulated Virtual Environment – Next Generation (EVE-NG)* dan beberapa parameter QoS yang sesuai dengan standarisasi TIPHON. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari data log aktivitas simulasi jaringan yang relevan dengan penelitian ini, khususnya hasil pengujian *point-to-point* yang belum diolah berdasarkan parameter QoS (TIPHON). Penelitian ini menerapkan metode desain simulasi dengan memanfaatkan fitur *Xconnect* pada perangkat *Router Cisco*, yang digunakan dalam aplikasi simulasi jaringan *Emulated Virtual Environment – Next Generation (EVE-NG)*. Proses ini melibatkan empat tahapan yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

2.1 Analisis Penggunaan

Perangkat yang digunakan dalam merancang topologi jaringan *backbone L2VPN* berbasis teknologi *MPLS* dengan konsep topologi *Ring* memiliki beberapa spesifikasi yang terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras dan Lunak

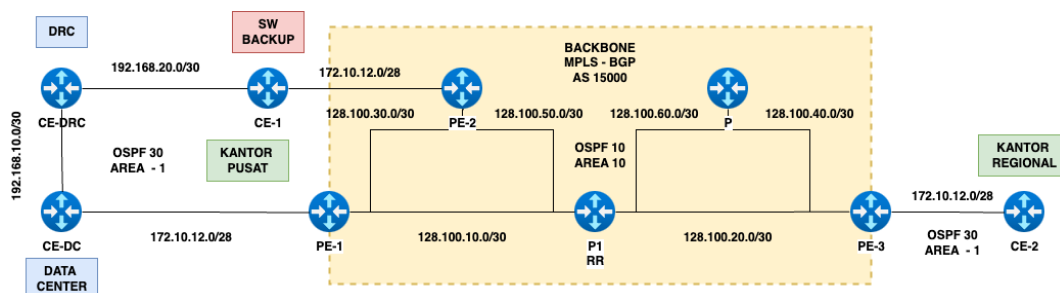
Kategori	Spesifikasi	Deskripsi
Hardware	<i>System Manufacturer</i>	Apple .Inc
	<i>System Model</i>	Macbook Pro 2022
	<i>BIOS</i>	Mac OS Sonoma 14.1
	<i>Processor</i>	Apple M2
	<i>Operating System</i>	Mac OS
	<i>Memory</i>	8 GB
	<i>Hardisk</i>	256 GB
Software	<i>Network Simulator</i>	EVE-NG
	<i>Virtual Machine</i>	UTM
	<i>Networks Tools</i>	Iterm & WireShark

2.2 Topologi Model

Desain topologi model dalam penelitian ini menggunakan konsep topologi ring, yang dirancang khusus untuk penyedia layanan dalam membangun jaringan *backbone L2VPN* berbasis *MPLS*. Topologi ring ini diintegrasikan ke dalam pusat data perusahaan. Desain topologi mencakup empat lokasi perusahaan: pusat data, DRC, kantor pusat, dan cabang, serta melibatkan penggunaan perangkat akses switch untuk menghubungkan komputer-komputer pengguna. Spesifikasi perangkat yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Perangkat Simulasi

Lokasi	Tipe Perangkat	OS Version	Keterangan
ISP (Backbone)	Cisco IOL Version 15.7	i86bi_LinuxL3-AdvEnterpriseK9-M2_157_3_May_2018.bin	P
Pusat Data	Cisco IOL Version 15.7	i86bi_LinuxL3-AdvEnterpriseK9-M2_157_3_May_2018.bin	CE
DRC	Cisco IOL Version 15.7	i86bi_LinuxL3-AdvEnterpriseK9-M2_157_3_May_2018.bin	CE
Kantor Pusat	Cisco IOL Version 15.7	i86bi_LinuxL3-AdvEnterpriseK9-M2_157_3_May_2018.bin	PE -1 & PE-2
Kantor Regional	Cisco IOL Version 15.7	i86bi_LinuxL3-AdvEnterpriseK9-M2_157_3_May_2018.bin	PE – 3



Gambar 2. Topologi Model

2.3 Rancangan Pengujian

Tahapan pengukuran kinerja simulasi jaringan secara paralel didasarkan pada beberapa parameter, yaitu delay, jitter, packet loss, dan throughput. Selain itu, dalam konteks pengujian, penting untuk melakukan pengujian koneksi antar perangkat secara end-to-end di setiap lokasi, serta pengujian rute yang dilewati paket. Parameter simulasi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter Simulasi

Parameter	Value
Aplikasi Simulasi	EVE – NG
Waktu Simulasi	5 s/d 10 Menit
Jenis Topologi	RING (WAN & LAN)
Routing Protocol (PE)	BGP & OSPF
Routing Protocol (CE)	OSPF
Konfigurasi WAN	MPLS dan Route Reflector
Konfigurasi LAN	IP Address
Pengetesan Jaringan	QOS
Tipe Paket	ICMP (Ping) dan Traceroute
Perangkat	9 Perangkat

2.4 Parameter Test

Proses simulasi pengujian menggunakan parameter QoS untuk menetapkan kriteria hasil berdasarkan waktu pengujian.

2.4.1 Quality Of Service

Quality of Service (QoS) merupakan upaya kolektif untuk mengukur kinerja layanan yang menentukan tingkat kepuasan pengguna. Dalam bidang pengujian kinerja lalu lintas jaringan paket data, QoS mengukur karakteristik secara real-time di berbagai segmen jaringan melalui empat parameter dasar, yaitu delay, jitter, packet loss, dan throughput. Setiap parameter memberikan informasi berbeda tentang berbagai aspek pengujian kinerja jaringan.

1) Delay

Delay mengacu pada waktu standar yang diperlukan dalam pengirimandata dari satu titik ke titik lainnya. Pada tahap simulasi, peneliti melakukan proses pengujian secara end-to-end. Perhitungan delay dapat dilihat pada gambar 3 dan tabel 4.

$$\text{Delay} = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total Packet Received}}$$

Gambar 3. Perhitungan Delay

Tabel 4. Standarisasi Delay TIPHON

Kategori Delay	Delay
Very Good	< 150 ms
Good	150 s/d 300 ms
Medium	300 s/d 450 ms
Bad	> 450 ms

2) Jitter

Jitter mengacu pada perubahan latensi pada Data Paket antara dua titik akhir dengan periode waktu tertentu. Perhitungan nilai rata- rata jitter dapat dilihat pada gambar 4.

$$\text{Jitter} = \frac{\text{Total Delay Variation}}{\text{Total Packet Received} - 1}$$

Gambar 4. Perhitungan Nilai Rata – Rata Jitter

Tabel 5. Standarisasi Jitter TIPHON

Kategori Jitter	Jitter
Very Good	0 ms
Good	0 s/d 75 ms
Medium	76 s/d 125 ms
Bad	125 s/d 125 ms

3) Packet loss

Packet loss merupakan nilai persentase paket data yang hilang selama transmisi data yang terjadi akibat tabrakan paket dan lalu lintas jaringan yang penuh. Standar packet loss yang dapat ditoleransi mengacu berdasarkan TIPHON dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Standarisasi Packet Loss TIPHON

Kategori Jitter	Jitter	Index
Very Good	0 %	4
Good	3 %	3
Medium	15%	2
Bad	25%	1

Perhitungan nilai rata- rata packet loss dengan keterangan total tx berupa paket data pengiriman dan total rx berupa paket data yang diterima, dapat dilihat pada gambar 5.

$$\text{Packet Loss} = \frac{(\text{Total Tx} - \text{Total Rx})}{\text{Total Tx}} \times 100 \%$$

Gambar 5. Perhitungan Packet Loss

4) Throughput

Throughput adalah nilai maksimum jumlah bit per detik yang ditransmisikan antara dua titik dalam suatu segmen paket data dua arah. Perhitungan nilai throughput dapat dilihat pada gambar 6.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Total Packet Received}}{\text{Duration of Observation}}$$

Gambar 6. Perhitungan Throughput

Tabel 7. Standarisasi Throughput TIPHON

Kategori <i>Jitter</i>	<i>Jitter</i>	<i>Index</i>
Very Good	75 - 100 %	4
Good	50 - 75 %	3
Medium	25 - 50 %	2
Bad	>25 %	1

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Pada bagian ini, peneliti akan melakukan proses evaluasi dan analisis terhadap hasil dari pengujian yang telah diperoleh berdasarkan simulasi desain topologi pada gambar dan dikalkulasikan menggunakan parameter pengujian.

3.1.1 Connection Test

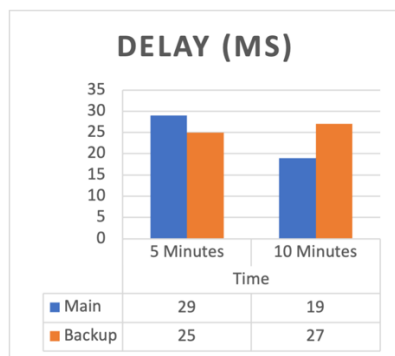
Hasil pengujian pada tahap ini dilakukan dengan cara melakukan uji tes dengan skenario ping dan traceroute yang dapat dilihat pada tabel 8. Pada skenario ini diperoleh hasil yang baik dari penggunaan jalur main dan backup MPLS L2VPN, serta pengujian pada jalur backup yang otomatis dengan cepat melakukan pergantian ketika jalur main terdapat sebuah masalah.

Tabel 8. Hasil *Connection Test*

<i>End Device</i>	<i>Connection test (Ping & Traceroute)</i>			
	CE - 2	CE - 1	CE - DRC	CE - DC
CE - 2	-	PASS	PASS	PASS
CE - 1	PASS	-	PASS	PASS
CE - DRC	PASS	PASS	-	PASS
CE - DC	PASS	PASS	PASS	-

3.1.2 Quality Of Service Test Results

Tahapan ini dilakukan scenario menggunakan aspek parameter Qos meliputi *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput* dengan data hasil pengujian ping antara PE -2 menuju CE-DC menggunakan jalur main dan PE -2 menuju CE-DRC menggunakan jalur backup. Dengan skema pengujian *traceroute* dan ping repeat 50, size 1000 dengan durasi 5 menit dan 10 menit. Hasil pengujian *delay* yang diperoleh tercantum pada gambar 7 berbasis parameter TIPHON pada tabel 4 dengan nilai rata rata antara 19 ms and 27 ms. Nilai *delay* terbaik terdapat pada uji pengetesan melalui jalur main dengan waktu 10 menit (19 ms) dan jalur *backup* dengan waktu 5 menit (25 ms). Dalam pengujian delay ini diperoleh hasil yang sangat baik karena berada dibawah <150 ms sesuai berdasarkan parameter TIPHON pada tabel 4.



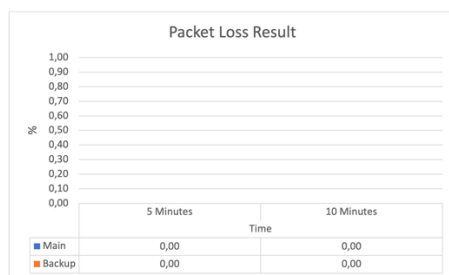
Gambar 7. Hasil Pengujian Delay (Time Test)

Pada gambar 8 menunjukkan hasil pengujian jitter yang diperoleh memiliki nilai indeks bagus. Data tersebut mengacu pada standar TIPHON pada tabel 5, nilai rata rata yang diperoleh dalam 4 kali percobaan melalui jalur main dan backup pengujian selama 5 menit (21,2011ms) dan pengujian selama 10 menit (-0,1878 ms). Nilai jitter negatif dihasilkan karena gangguan paket antara dua paket sehingga jarak antara dua paket tidak sama jika waktu pengiriman paket pertama lebih besar dari pada paket kedua.



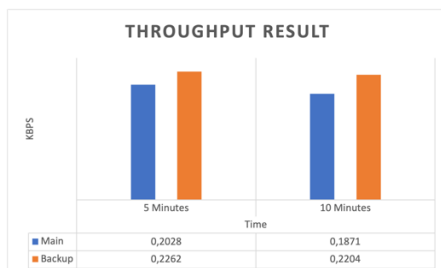
Gambar 8. Hasil Pengujian Jitter (Time Test)

Pengujian packet loss menggunakan skenario traceroute dengan beban waktu (timeout) 300 mendapati hasil yang sangat baik berdasarkan pada parameter TIPHON pada tabel 6. Hasil pengamatan terhadap pengujian packet loss pada jalur main durasi 5 menit dan 10 menit memiliki packet loss sebesar 0,0 % serta pengujian packet loss pada jalur backup durasi 5 menit dan 10 menit memiliki packet loss sebesar 0,0% yang dapat dilihat pada gambar 9. Hasil pengukuran dari kedua jalur relatif sama dengan adanya protokol routing IGP (OSPF) pada jaringan backbone MPLS membuat LSP antara routing CE dan PE, jadi apabila ada perubahan dalam protokol routing tidak dapat mempengaruhi QOS.



Gambar 9. Hasil Pengujian Packet Loss (Time Test)

Hasil pengujian menunjukkan pengukuran throughput dengan nilai yang buruk berdasarkan parameter TIPHON pada tabel 7 dari pengujian durasi 5 menit dan 10 menit jalur berbeda main (0,2028%) / (0,1871%) dan backup (0,2262%) / (0,2204%). Hasil ini disebabkan besaran paket data yang dikirim setiap detik sangat kecil (ICMP), sehingga tidak sebanding dengan kapasitas bandwidth besar yang tersedia. Hasil pengujian dapat dilimat pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil Pengujian *Throughput (Time Test)*

Berdasarkan pada hasil pengujian quality of service diatas ditampilkan rekaptulasi yang terdapat pada tabel 9 dan tabel 10.

Tabel 9. Rekaptulasi Parameter *Qos Main Link*

No	Parameter	Time Test (5m)	Index	Time Tes (10m)	Index
1	Delay	29 ms	4	19 ms	4
2	Jitter	21,20 ms	4	-0,18 ms	4
3	Packet Loss	0,0 %	4	0,0 %	4
4	Throughput	0,2028%	1	0,1871%	1
Average Test			3.0	3.0	
Index Information			Good	Good	

Tabel 10. Rekaptulasi Parameter *Qos Backup Link*

No	Parameter	Time Test (5m)	Index	Time Tes (10m)	Index
1	Delay	25 ms	4	17 ms	4
2	Jitter	-0,28 ms	4	-0,45 ms	4
3	Packet Loss	0,0 %	4	0,0 %	4
4	Throughput	0,2262%	1	0,2204%	1
Average Test			3.0	3.0	
Index Information			Good	Good	

3.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja jaringan *Metro Ethernet* yang menggunakan metode *xconnect* berbasis VPN MPLS *Layer 2* dengan konfigurasi jalur utama (*main link*) dan cadangan (*backup link*). Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *Emulated Virtual Environment – Next Generation (EVE-NG)*, didapati bahwa metode ini dapat secara signifikan meningkatkan keandalan dan ketersediaan jaringan, khususnya dalam situasi di mana jalur utama mengalami gangguan. Pertama, hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan jalur utama dan cadangan (*main* dan *backup link*) dengan *xconnect* mampu memenuhi standar kualitas layanan (*Quality of Service* atau QoS) yang ditetapkan oleh TIPHON. Pengukuran parameter QoS seperti *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput* menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari kedua jalur MPLS L2VPN, baik jalur utama maupun cadangan, sesuai dengan standar TIPHON, dengan rata-rata penilaian mencapai 3.0. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua jalur memiliki performa yang baik dalam hal pengiriman paket data, memastikan minimalisasi kehilangan paket dan waktu penundaan (Hakim *et al.*, 2023).

Kedua, dalam manajemen lalu lintas jaringan, hasil simulasi mengindikasikan bahwa konfigurasi jalur utama dan cadangan dapat secara efektif mengurangi risiko kegagalan jaringan dan meningkatkan redundansi. Ketika jalur utama mengalami gangguan atau gagal, lalu lintas data secara otomatis dialihkan ke jalur cadangan tanpa mengganggu konektivitas pengguna akhir. Implementasi ini sangat relevan dalam lingkungan jaringan yang memerlukan ketersediaan tinggi, seperti penyedia layanan internet dan perusahaan dengan infrastruktur komunikasi yang kritis (Ramadwiputra, Munadi, & Laksono, 2019). Selanjutnya, dari segi kinerja jaringan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *Route Reflector* dalam jaringan backbone MPLS dapat memperbaiki efisiensi routing. *Route Reflector* berfungsi untuk mengurangi jumlah informasi routing yang diperlukan antar perangkat dalam jaringan, sehingga mengurangi overhead pada proses routing dan mempercepat waktu konvergensi jaringan. Dengan menggunakan metode *xconnect* bersama *Route Reflector*, penelitian ini memperlihatkan bahwa waktu konvergensi jaringan dapat dioptimalkan, yang pada gilirannya meningkatkan keseluruhan kualitas jaringan (Dewi & Sulistiyah, 2022).

Namun, hasil pengujian juga mengungkapkan beberapa keterbatasan pada aspek throughput, terutama dalam skenario di mana ukuran paket data yang dikirim relatif kecil dibandingkan dengan kapasitas bandwidth yang tersedia. Hal ini disebabkan oleh penggunaan protokol ICMP dengan ukuran paket 32 byte, yang menyebabkan buffer pada sistem operasi virtual tidak cukup untuk memberikan pengukuran throughput yang akurat. Untuk mengatasi keterbatasan ini, penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan implementasi MPLS pada antarmuka VLAN (*sub-interface*) menggunakan *service instance*. Langkah ini memungkinkan penambahan layanan lain yang dapat menghasilkan pengukuran throughput yang lebih akurat dan mencerminkan performa jaringan yang sesungguhnya (Akbar & Suprianto, 2022).

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian berdasarkan simulasi desain topologi yang diimplementasikan pada *EVE-NG* dengan parameter standar TIPHON untuk pengukuran *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Proses ini melibatkan skenario pengujian berupa tes *ping* dan *traceroute* dengan komposisi *repeat* 50, *size* 1000, serta total durasi 5 menit dan 10 menit. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua jalur MPLS L2VPN main dan backup memiliki nilai indeks yang baik dalam pengiriman paket sesuai standar TIPHON, dengan rata-rata penilaian 3,0. Namun, pengujian QoS pada aspek *throughput* menunjukkan hasil yang tidak optimal, disebabkan oleh ukuran paket yang dikirim oleh protokol ICMP sebesar 32 byte, yang menyebabkan terjadinya *buffer* pada sistem operasi virtual, sehingga tidak cukup untuk memberikan pengukuran beban dan *throughput* yang akurat pada jaringan. Dalam penelitian selanjutnya, diharapkan untuk menambahkan implementasi MPLS utama dan cadangan pada antarmuka *VLAN* (*sub-interface*) menggunakan *service instance*, karena pada sub-antarmuka ini bisa ditambahkan layanan lain yang bertujuan untuk memperoleh hasil *throughput* yang lebih akurat.

5. Ucapan Terima Kasih

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing saya, Bapak Yuma Akbar, M.Kom, atas bimbingan dan arahnya; kepada teman-teman kuliah atas dukungan dan kerja samanya; serta kepada orang tua saya atas doa, dukungan moral, dan kasih sayangnya yang tiada henti. Tanpa bantuan dan dukungan dari Anda semua, penelitian ini tidak akan terwujud dengan baik. Terima kasih.

6. Daftar Pustaka

- Aziza, R. N., Adilman, J., Djunaidi, K., Sudirman, M. Y. D., & Yusra, M. D. (2023). Comparative Study Of Cloud Computing Network Services Based On Qos Analysis Using Tiphon Standard. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 4(5), 1201-1209. DOI: <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2023.4.5.1411>.
- bhan Zaki, F. N., & Lukman, L. (2021). Analisis Perbandingan Quality Of Service (Qos) Pada Video Streaming Dengan Metode PCQ Dan HTB Menggunakan Router Mikrotik. *Respati*, 16(3), 25-34.
- Biabani, M., Yazdani, N., & Fotouhi, H. (2023). Developing a Novel Hierarchical VPLS Architecture Using Q-in-Q Tunneling in Router and Switch Design. *Computers*, 12(9), 180.
- Dewi, S., & Sulistiyah, S. (2022). Analisa Virtual Private Network (VPN) IP Multi Protocol Label Switching (MPLS) Untuk Jaringan Wide Area Network (WAN). *JISAMAR (Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research)*, 6(1), 16-25. DOI: <https://doi.org/10.52362/jisamar.v6i1.662>.
- Hakim, N. T., Gina, H. T., Diva, A. C., Gemilang, G., & Aribowo, D. (2023). SIMULASI JARINGAN METRO ETHERNET DENGAN APLIKASI CIS-CO PACKET TRACER VERSI 6.2. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(1), 22-31. DOI: <https://doi.org/10.58169/saintek.v2i1.130>.
- Harchay, A., Berguiga, A., & Massaoudi, A. (2022). An Enhanced Traffic Split Routing Heuristic for Layer 2 and Layer 1 Services. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(1).
- Kristianto, P. E., & Putra, A. T. (2021). Comparative Analysis of IPv4 and IPv6 OpenVPN Protocol Performance Based on QoS Parameters. *Journal of Advances in Information Systems and Technology*, 3(1), 53-60. DOI: <https://doi.org/10.15294/jaist.v3i1.49095>.
- Nisa, I. S. N., Saputro, R. M., Nugroho, T. F., & Lahitani, A. R. (2024). Analisis Quality of Service (QoS) Menggunakan Standar Parameter Tiphon pada Jaringan Internet Berbasis Wi-Fi Kampus 1 Unjaya. *Teknomatika J. Inform. dan Komput*, 17(1), 1-9.
- Olvia, D., & Zulhendra, Z. (2021). Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Virtual Private Network (VPN) dengan menggunakan protokol IPsec (Studi Kasus: SMK Negeri 3 Pariaman). *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika)*, 9(1), 92-102. DOI: <https://doi.org/10.24036/voteteknika.v9i1.111056>.
- Ramadwiputra, A., Munadi, R., & Laksono, F. A. (2019). Analisis Load Balance Fat Label Lag Pada Jaringan Metro Ethernet Dengan Service L2vpn (studi Kasus Interoperability Test Fat-label Rfc6391 Metro Alcatel-nokia Dan Tera Router Cisco Di Dds Pt. telkom Divisi Broadband Core Network). *eProceedings of Engineering*, 6(1).
- Subektiningsih, S., Renaldi, R., & Ferdiansyah, P. (2022). Analisis Perbandingan Parameter QoS Standar TIPHON Pada Jaringan Nirkabel Dalam Penerapan Metode PCQ. *Explore*, 12(1), 57-63.

Suprianto, A., & Akbar, R. (2022). Simulasi Perancangan Simulasi Perancangan dan Implementasi Redundant Link Multi Protocol Label Switching (MPLS) Virtual Private Network (VPN) Menggunakan Mikrotik Router OS. *JURNAL REKAYASA INFORMASI*, 11(2), 153-159.

Yanto, R., Irfan, D., & Huda, A. (2022). Analisis Quality of Service Jaringan Wireless untuk Teknologi Streaming. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 6(2), 167-175.