

Optimalisasi Jaringan MPLS Pada Router Nokia Menggunakan Segment Routing Dengan Service VPLS Dan VPRN

Dhiya Akmal Firdaus¹, Galang Persada Nurani Hakim²

¹Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

²Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

Abstrak—Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya kebutuhan kecepatan internet yang menjadi tantangan seiring berkembangnya teknologi dan jumlah perangkat terkoneksi, terutama dengan pesatnya pertumbuhan IoT. Teknologi Segment Routing berbasis MPLS dirancang untuk meningkatkan efisiensi *routing* dengan kontrol jalur trafik yang lebih fleksibel. Penelitian ini bertujuan untuk optimalisasi sistem jaringan MPLS *Segment Routing* dengan layanan VPLS dan VPRN sehingga menghasilkan efisiensi dalam *traffic forwarding* sehingga menghasilkan nilai QoS yang baik. Metode penelitian meliputi perancangan topologi yang menggunakan 7 buah virtual router, 2 buah server ubuntu, 2 buah switch, dan 2 buah virtual windows yang disimulasikan pada simulator GNS3. Terdapat tiga skenario pengujian: (1) VPRN dengan link normal, (2) VPLS dengan link normal, dan (3) VPRN dan VPLS dengan link failure. Dari hasil pengujian dengan tiga skenario tersebut dilakukan analisa pola label paket data, performa QoS dengan parameter Throughput dan Delay berdasarkan standar TIPHON, dan waktu *link recovery* saat *link failure*. Hasilnya, throughput VPRN lebih tinggi (download 307 KBps, upload 311.2 KBps) dibandingkan VPLS (download 280.2 KBps, upload 303.8 KBps). VPRN juga memiliki delay lebih rendah (download 2.748 ms, upload 2.824 ms) dibandingkan VPLS (download 3.120 ms, upload 2.894 ms). Dalam *link recovery*, VPRN lebih cepat (1.248 ms) dibandingkan VPLS (1.253 ms). Dari semua hasil pengujian tersebut masuk dalam kategori 4, yaitu sangat baik dalam standar TIPHON. Kesimpulannya, service VPRN pada jaringan MPLS *Segment Routing* lebih unggul dalam parameter QoS *throughput*, *delay*, dan *recovery link failure* dibandingkan VPLS, sehingga lebih efektif untuk mendukung kebutuhan trafik data berkecepatan tinggi dan stabilitas koneksi di masa depan.

Kata Kunci—MPLS, Segment Routing, VPLS, VPRN, throughput, delay.

DOI: 10.22441/jte.2025.v16i3.003

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan kecepatan internet menjadi tantangan besar seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan jumlah perangkat yang terkoneksi. *Internet of Things* (IoT) diproyeksikan akan terus berkembang pesat, dengan miliaran perangkat yang membutuhkan koneksi stabil dan transfer data berkecepatan tinggi. Selain itu, munculnya aplikasi seperti *streaming video* resolusi 4K/8K, *virtual reality* (VR), *augmented reality* (AR), dan *telemedicine* semakin meningkatkan kebutuhan akan jaringan dengan *bandwidth* besar dan latensi rendah. Masalah ini diperparah oleh lalu lintas data

global yang terus meningkat, sehingga infrastruktur jaringan saat ini sering kali menghadapi keterbatasan untuk memenuhi kebutuhan tersebut [1].

Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai teknologi inovatif telah diterapkan, salah satunya adalah Segment Routing berbasis MPLS pada jaringan *Metro Ethernet*. Teknologi ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dalam proses *routing* data dengan memanfaatkan kontrol jalur trafik yang lebih fleksibel dan dinamis. *Segment Routing* memungkinkan pengelolaan sumber daya jaringan yang lebih baik, dengan memberikan kontrol lebih terhadap pengaturan jalur data untuk mengurangi latensi dan meningkatkan efisiensi bandwidth. Implementasi layanan seperti L2VPN dan L3VPN menjadi langkah strategis untuk memberikan konektivitas yang anda dan hemat biaya, sekaligus memenuhi kebutuhan pelanggan terhadap layanan jaringan berkinerja tinggi [2].

Hasil dari implementasi teknologi ini diharapkan mampu memberikan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi jaringan, *throughput*, serta penurunan latensi. Studi yang dilakukan pada penerapan *Segment Routing* di perangkat Nokia *Service Router 7750* menunjukkan bahwa solusi ini dapat memenuhi kebutuhan aplikasi *real-time* sekaligus mendukung pertumbuhan lalu lintas data secara berkelanjutan. Selain itu, teknologi ini juga membantu operator jaringan mengoptimalkan biaya operasional dan mempersiapkan infrastruktur mereka untuk menghadapi tuntutan jaringan masa depan, termasuk integrasi 5G dan 6G [3].

Adapun Tugas Akhir ini berkontribusi pada optimalisasi jaringan MPLS *Segment Routing* yang dapat diandalkan untuk efisiensi dalam *traffic forwarding* dan mengoptimalkan jaringan sehingga memperbaiki QoS guna memenuhi kebutuhan *throughput* dan *delay* atau *latency* di masa yang akan datang.

II. PENELITIAN TERKAIT

A. Analisis Perbandingan Performa *Traffic Engineering* Dengan *Resource Reservation Protocol* (RSVP) dan *Segment Routing*

Penelitian ini akan membandingkan performa *traffic engineering* dengan RSVP dan *Segment Routing* pada MPLS. Penelitian menerapkan mekanisme reroute untuk mengalihkan jalur utama ke jalur cadangan ketika jalur utama putus. Metode yang digunakan yaitu NDLC. Penelitian dilakukan secara

simulasi di emulator EVE-NG karena keterbatasan akses peneliti ke jaringan *backbone* dan menghindari terganggunya proses bisnis perusahaan jika langsung diimplementasikan pada jaringan yang sudah ada. Hasil penelitian adalah Segment Routing di MPLS menyederhanakan kinerja dari *router* dalam hal pelabelan dan dalam memelihara *Label Switch Path* (LSP), tidak membutuhkan protokol signaling. Hasil pengujian latency pada jalur utama, dengan Segment Routing maupun dengan RSVP mempunyai nilai sama. Sedangkan pada jalur cadangan, nilai *latency* dari Segment Routing lebih kecil, sehingga Segment Routing dapat mengirim data dengan lebih cepat daripada dengan RSVP [4].

B. Segment Routing: a Comprehensive Survey of Research Activities, Standardization Efforts and Implementation Results

Penelitian ini memberikan pemahaman komprehensif tentang Segment Routing (SR) dengan fokus pada aktivitas penelitian, standarisasi, dan hasil implementasi. Melibatkan analisis tantangan evolusi jaringan IP yang dihadapi oleh operator telekomunikasi, penyedia layanan cloud, dan jaringan perusahaan, penelitian ini mempertimbangkan kontribusi SR dalam mengatasi kebutuhan bandwidth yang meningkat dan integrasi perangkat yang kompleks. Dengan menggunakan metode pengumpulan data yang sudah ada, seperti standarisasi, paten, dan hasil riset SR, tujuannya adalah memberikan wawasan praktis bagi pemangku kepentingan tentang kemampuan dan potensi resiko SR. Metode penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data yang sudah ada, seperti standarisasi dan paten, hasil riset, serta hasil implementasi SR. Data ini kemudian dianalisis untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang Segment Routing yang sedang diteliti. Segment Routing mendukung layanan seperti *Traffic Engineering*, *Virtual Private Networks*, *Fast Restoration* di *IP backbone* dan pusat data, dan telah terbukti fleksibel dalam mendukung kasus penggunaan baru. Selain itu, arsitektur SR mengurangi jumlah yang perlu dikonfigurasi di node inti [5].

C. Fast Reroute Algorithms for Satellite Network with Segment Routing

Tujuan penelitian adalah mengembangkan skema fast reroute (FRR) untuk jaringan satelit yang dapat meningkatkan kinerja jaringan dengan memanfaatkan sumber daya komputasi dan penerusan yang ada. Metode penelitian yang digunakan yaitu NDLC. Metode yang diusulkan adalah skema FRR hibrida yang menggabungkan komputasi terpusat dengan segment routing (SR) terdistribusi. Skema ini memungkinkan satelit dengan sumber daya komputasi yang lebih besar untuk menghitung jalur reroute dan mendistribusikan aturan routing ke satelit lainnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema FRR yang diusulkan meningkatkan penggunaan sumber daya penyimpanan dan waktu pembaruan dibandingkan dengan metode tradisional. Algoritma LFR mencapai peningkatan 30,9% dalam penggunaan sumber daya penyimpanan, sedangkan algoritma LFA+ mencapai peningkatan 74,3% dalam waktu pembaruan dibandingkan dengan algoritma tradisional [6].

D. Evaluating Segment Routing Technology for MPLS-based Network

Meneliti efektivitas teknik SR untuk jaringan berbasis MPLS dengan *Traffic Engineering* (TE) melalui pekerjaan eksperimental di mana implementasi skenario SR dasar diemulasi dan diuji untuk beberapa kriteria perbandingan. Kriteria ini didasarkan pada analisis paket untuk kedua ICMP sederhana dan aliran dalam kondisi stabil dan untuk konvergensi jaringan dalam kasus kegagalan. Menggunakan metode NDLC. Eksperimen dilakukan eksperimen dengan mengimplementasikan skenario SR dasar yang diemulasi dan diuji untuk beberapa kriteria perbandingan, dengan fokus pada analisis paket untuk ICMP sederhana dan aliran dalam kondisi stabil, serta konvergensi jaringan dalam kasus failure. Hasil simulasi mengkonfirmasi efektivitas SR dalam jaringan berbasis MPLS-TE dalam hal konvergensi dan pengurangan lalu lintas pengendalian overhead [7].

E. Implementation Based Approach to analyze MPLS and Segment Routing Traffic by Using ODL SDN Controller

Tujuan penelitian ini yaitu membuat mekanisme manajemen lalu lintas yang efektif dengan menggabungkan *Segment Routing* dan *Multipath Transmission Control Protocol* (TCP) dalam lingkungan pengontrol yang terpusat secara logis. Segment Routing dan Multipath TCP digunakan untuk mendefinisikan lingkungan terpusat secara logis dan terdistribusi secara fisik untuk Jaringan *Software Defined Network* (SDN). Metode penelitian dilakukan dengan metode NDLC. Perbandingan komprehensif antara Teknik Pengaturan Lalu Lintas MPLS dan Segment Routing, di mana kedua teknologi tersebut diimplementasikan dalam lingkungan jaringan SDN. Pengujian dilakukan menggunakan emulator jaringan GNS3 sebagai Layer jaringan data, *Open-Daylight* sebagai Pengontrol SDN, dan skrip Python untuk mengirimkan ID *Segment* sebagai bagian dari Orchestrator jaringan di Layer Aplikasi. Teknologi Segment Routing (SR) digunakan untuk menyederhanakan jaringan *Multi-Protocol Label Switching* (MPLS) dan *Software Defined Network* (SDN). Segment Routing memudahkan penugasan lalu lintas dinamis sesuai dengan kebutuhan pelanggan melalui aplikasi tingkat tinggi. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang efektivitas Segment Routing dalam jaringan MPLS-TE dibandingkan dengan teknologi tradisional MPLS dalam lingkungan SDN [8].

F. A Computation-Efficient Approach for Segment Routing Traffic Engineering

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan pendekatan rekayasa lalu lintas yang efisien secara komputasi untuk *segment routing traffic engineering* (SRTE), dengan fokus pada menemukan keseimbangan antara penggunaan tautan dan waktu komputasi. Metode penelitian yang digunakan yaitu *Agile Networking*. Untuk mengatasi kesulitan dalam menyelesaikan masalah, penelitian ini memecahnya menjadi dua sub-masalah berurutan: pertama, meminimalkan waktu komputasi melalui pemilihan node; kedua, meminimalkan penggunaan tautan maksimum melalui penugasan aliran. Metode ini menggunakan sampel acak dan pembatasan *stretch*

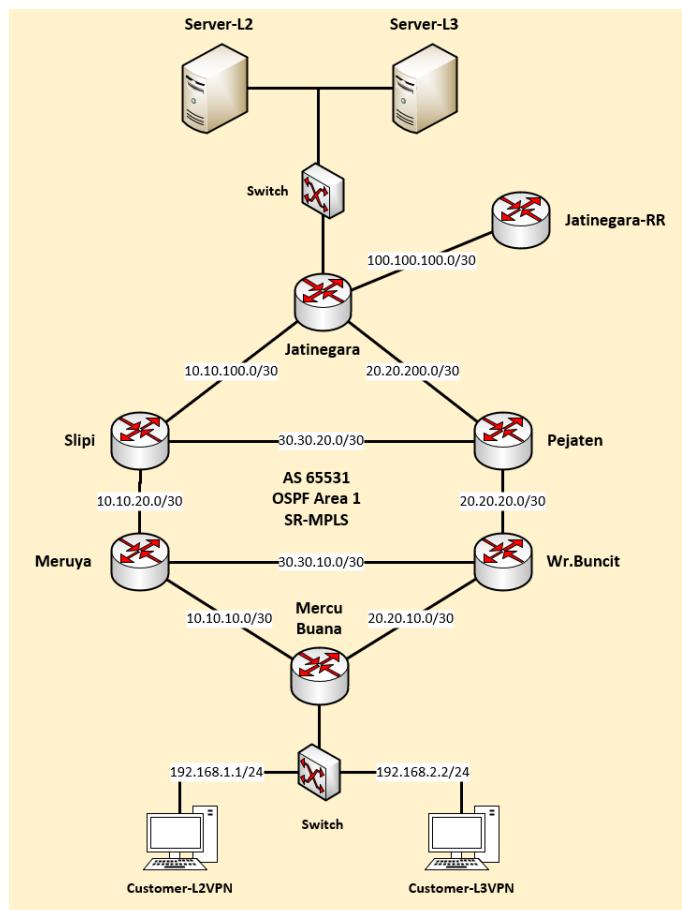
untuk mengurangi ruang solusi, serta memecahkan sub-masalah dengan program linear (LP) menggunakan perangkat lunak yang ada. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan dapat mengurangi waktu komputasi dengan mempertahankan penggunaan tautan maksimum yang serupa dengan beberapa pendekatan perbandingan. Ini menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan efisiensi rekayasa lalu lintas dalam jaringan berskala besar [9].

G. Analisis Kinerja Jaringan L3VPN MPLS Menggunakan SDN Controller ONOS

Penelitian ini mengeksplorasi bagaimana penggunaan *Software Defined Network* (SDN) pada jaringan *Layer 3 Virtual Private Network* (L3VPN) dapat mengatasi masalah manajemen jaringan yang kompleks dan meningkatkan performa jaringan. Metode yang digunakan yaitu NDLC. Penelitian dilakukan secara simulasi di *emulator EVE-NG* karena keterbatasan akses peneliti ke jaringan *backbone* dan menghindari terganggunya proses bisnis perusahaan jika langsung diimplementasikan pada jaringan yang sudah ada. Hasil dari penelitian ini telah menunjukkan bahwa penggunaan SDN pada layanan L3VPN MPLS dapat meningkatkan kecepatan pembuatan layanan, mempermudah pengelolaan layanan, dan membuka peluang pada jaringan konvensional untuk lebih *programmable* [10].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian meliputi perancangan topologi yang menggunakan 7 buah *virtual router*, 2 buah *server ubuntu*, 2 buah *switch*, dan 2 buah *virtual windows* yang disimulasikan pada *simulator GNS3*. Terdapat tiga skenario pengujian: (1) VPRN dengan link normal, (2) VPLS dengan link normal, dan (3) VPRN dan VPLS dengan *link failure*. Dari hasil pengujian dengan tiga skenario tersebut dilakukan analisa pola label paket data, performa QoS dengan parameter *Throughput* dan *Delay* berdasarkan standar TIPHON, dan waktu *link recovery* saat *link failure*.



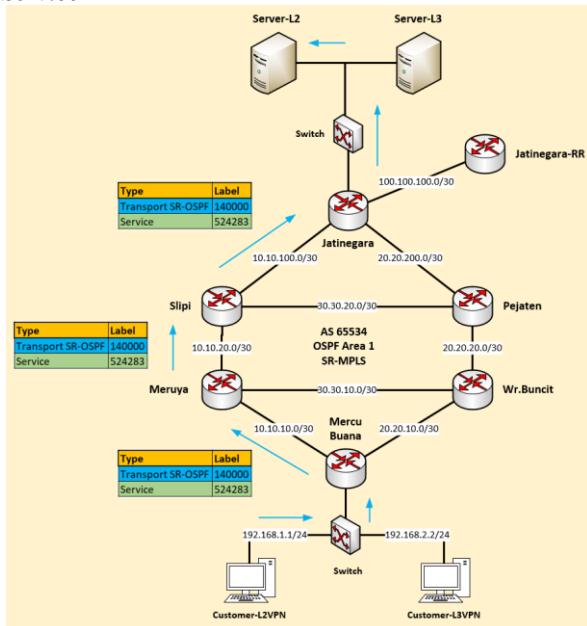
Gambar 1. Rancangan Topologi Jaringan

Pada gambar 1 merupakan Rancangan Topologi Jaringan yang digunakan pada pengujian. Jaringan dibangun dalam domain BGP *Autonomous System* 65531 untuk service VPRN, menggunakan OSPF sebagai *routing protocol* untuk service VPLS, dan *Segment Routing* sebagai *Tunneling Service* dan *Traffic Forwarding*. *Virtual Router* yang digunakan adalah Nokia tipe 7750 *Service Router* menggunakan *Operating System Timos 23.3.R1.2*, *Virtual Server* yang digunakan adalah Ubuntu *Server* versi 22.04 sebagai penyedia layanan. Menggunakan 2 *Virtual Windows 7* sebagai *Customer* yang menggunakan layanan. *Switch* digunakan untuk menghubungkan *Server* ke *Router* dan *Client* ke *Router* dan juga sebagai pemisah layanan *Customer VPLS* dan *VPRN*.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Pengujian dan Analisa Pola Label Paket Data

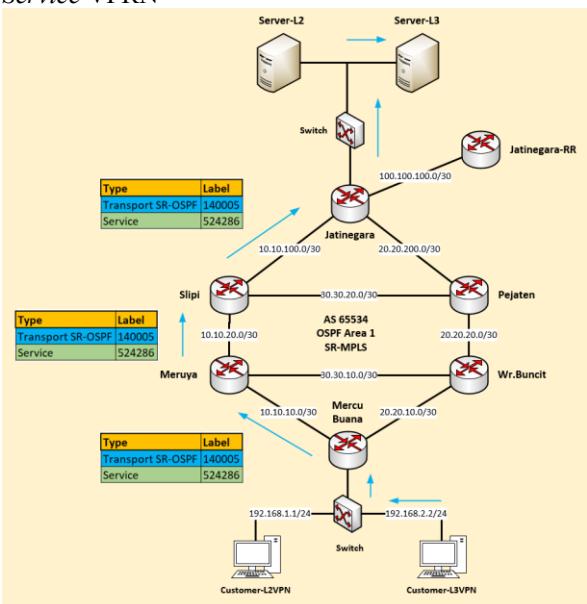
- *Service VPLS*



Gambar 2. Hasil Pola Label Service VPLS

Setelah melakukan capture trafik pada semua jalur menggunakan wireshark, hasil jalur trafik dan pola label paket data didapat seperti pada gambar 4.30. Paket data diteruskan dari Router MercuBuana ke Meruya. Router MercuBuana menambahkan 2 buah label (push) kepada paket data. Label transport SR-OSPF yaitu 140000 merupakan label untuk melakukan *forwarding* paket di dalam AS yang sama (SR-OSPF) lalu label 524283 yang merupakan *label service* (VPN label).

- *Service VPRN*

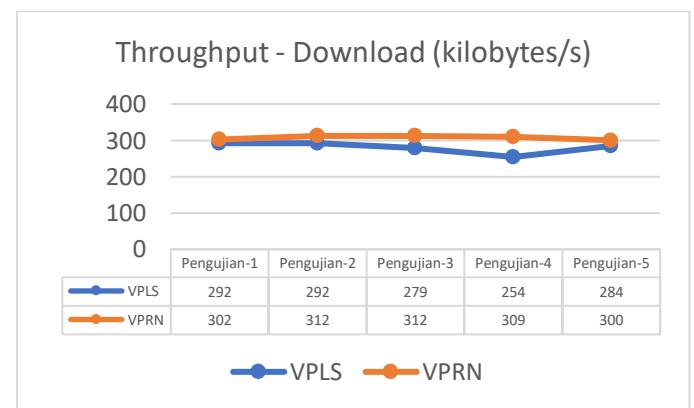


Gambar 3. Hasil Pola Label Service VPRN

Setelah melakukan capture trafik pada semua jalur menggunakan wireshark, hasil jalur trafik dan pola label paket data didapat seperti pada gambar 4.33. Paket data diteruskan dari Router MercuBuana ke Meruya. Router MercuBuana menambahkan 2 buah label (push) kepada paket data. Label transport SR-OSPF yaitu 140005 merupakan label untuk melakukan *forwarding* paket di dalam AS yang sama (SR-OSPF) lalu label 524286 yang merupakan *label service* (VPN label). Kedua *Service* baik VPLS maupun VPRN, memiliki sistem pelabelan yang sama dalam proses *traffic forwarding*. Pengamatan menunjukkan bahwa jaringan menggunakan *Segment Routing* memiliki keunggulan dalam proses pelabelan paket data. Mekanisme pelabelan lebih fleksibel karena diatur dalam daftar segmen yang label datanya disebarluaskan oleh *source node* kepada *router* yang berada dalam segmen/AS yang sama untuk BGP dan untuk OSPF pada *router-router neighbor*-nya. Sebagai hasilnya, setiap *router* dalam jaringan tidak perlu menyimpan informasi label dalam *Label Forwarding Information Base* (LFIB), meningkatkan kinerja *router* karena tidak perlu menangani beban label tersebut. Di sisi lain, *service* VPLS mempunyai mekanisme yang *learning by Mac Address* atau *layer 2 (Data Link Layer)* menggunakan *routing OSPF* dan menggunakan *Segment Routing* sebagai *Tunneling Service* dan *Traffic Forwarding*. Sedangkan *service* VPRN mempunyai mekanisme *learning by IP* atau *layer 3 (Network Link Layer)* menggunakan *routing BGP* dan *Segment Routing* sebagai *Tunneling Service* dan *Traffic Forwarding*.

B. Hasil Pengujian dan Analisa *Quality of Service*

- *Throughput Download*



Gambar 4. Hasil Pengujian *Throughput Download*

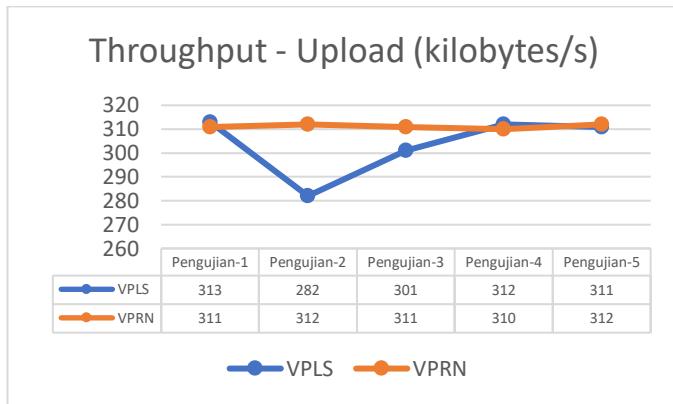
Pada gambar 4 menunjukkan hasil percobaan *Download* data sebesar 50MB sebanyak 5 kali. Perbandingan nilai rata-rata *throughput* pada masing-masing *service* ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Rata-rata Pengujian *Throughput Download*

Perbandingan QoS Throughput Download (kilobytes/s)

Tipe Service	Nilai Rata-Rata Download	Standar TIPHON
VPLS	280,2 KBps	4
VPRN	307 KBps	4

- *Throughput Upload*

Gambar 5. Hasil Pengujian *Throughput Upload*

Pada gambar 5 menunjukkan hasil percobaan *Upload* data sebesar 50MB sebanyak 5 kali. Perbandingan nilai rata-rata *throughput* pada masing-masing *service* ditunjukkan pada tabel 2.

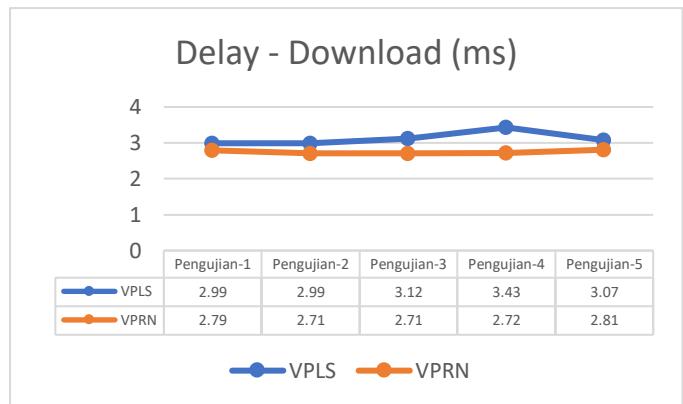
Tabel 2. Hasil Rata-rata Pengujian *Throughput Upload*

Perbandingan QoS Throughput Upload (kilobytes/s)		
Tipe Service	Nilai Rata-Rata Upload	Standar TIPHON
VPLS	303,8 KBps	4
VPRN	311,2 KBps	4

Pada pengujian parameter QoS *throughput* dilakukan dengan melakukan 5 kali percobaan download dan upload menggunakan trafik sebesar 50MB. Hasil nilai rata-rata *throughput download* dan *upload* dari semua percobaan dapat dilihat pada tabel 1 dan 2. Dalam hal *throughput download*, VPRN memiliki *throughput* yang lebih tinggi yaitu 307 KBps dibandingkan dengan VPLS 280,2 KBps. Demikian juga dalam hal *throughput upload* VPRN lebih tinggi mencapai 311,2 KBps, sedangkan VPLS mencapai 303,8 KBps. Mengacu pada standar TIPHON untuk kedua jenis *service* adalah 4, baik untuk *upload* maupun *download*.

Ini menunjukkan bahwa kedua jenis *service* dengan jaringan MPLS *Segment Routing* memenuhi standar kualitas layanan (QoS) yang ditetapkan oleh TIPHON. Dengan demikian, berdasarkan pengukuran *throughput* ini, dapat disimpulkan bahwa jaringan *Segment Routing* dengan *service* VPRN memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan *service* VPLS, baik dalam hal *upload* maupun *download*. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *throughput* ini cukup beragam, mulai dari bagaimana cara *router* meneruskan paket ke hop selanjutnya, pada kasus ini jaringan yang menggunakan *segment routing* dengan *routing protocol* BGP lebih cepat dalam penerusan paket karena *service* VPRN menggunakan IP untuk melakukan pengalaman dan *routing* paket lebih efisien. Selain itu terdapat faktor lain seperti kondisi fisik sebuah saluran transmisi yang dilewati, jika terdapat masalah maka nilai *throughput* akan terpengaruh. Masalah *hardware* juga akan memengaruhi nilai *throughput* yang didapat.

- *Delay Download*

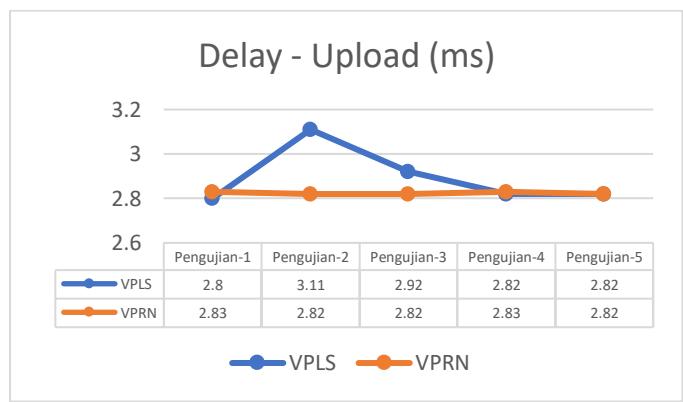
Gambar 6. Hasil Pengujian *Delay Download*

Pada gambar 6 menunjukkan hasil percobaan *Download* data sebesar 50MB sebanyak 5 kali. Perbandingan nilai rata-rata *delay* pada masing-masing *service* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Rata-rata Pengujian *Delay Download*

Perbandingan QoS Delay Download (ms)		
Tipe Service	Nilai Rata-Rata Download	Standar TIPHON
VPLS	3,120 ms	4
VPRN	2,748 ms	4

- *Delay Upload*

Gambar 7. Hasil Pengujian *Delay Upload*

Pada gambar 7 menunjukkan hasil percobaan *Upload* data sebesar 50MB sebanyak 5 kali. Perbandingan nilai rata-rata *delay* pada masing-masing *service* ditunjukkan pada table 4.

Pada pengujian parameter QoS *delay* dilakukan dengan melakukan 5 kali percobaan *download* dan *upload* menggunakan trafik sebesar 50MB. Hasil nilai rata-rata *delay download* dan *upload* dari semua percobaan dapat dilihat pada tabel 3 dan 4. Dalam hal *delay download*, VPRN memiliki *delay* yang lebih rendah yaitu 2,748 ms dibandingkan dengan VPLS 3,120 ms. Demikian juga dalam hal *delay upload* VPRN sedikit

lebih rendah mencapai 2,824 ms, sedangkan VPLS mencapai 2,894 ms. Mengacu pada standar TIPHON untuk kedua jenis service adalah 4, baik untuk *download* maupun *upload*.

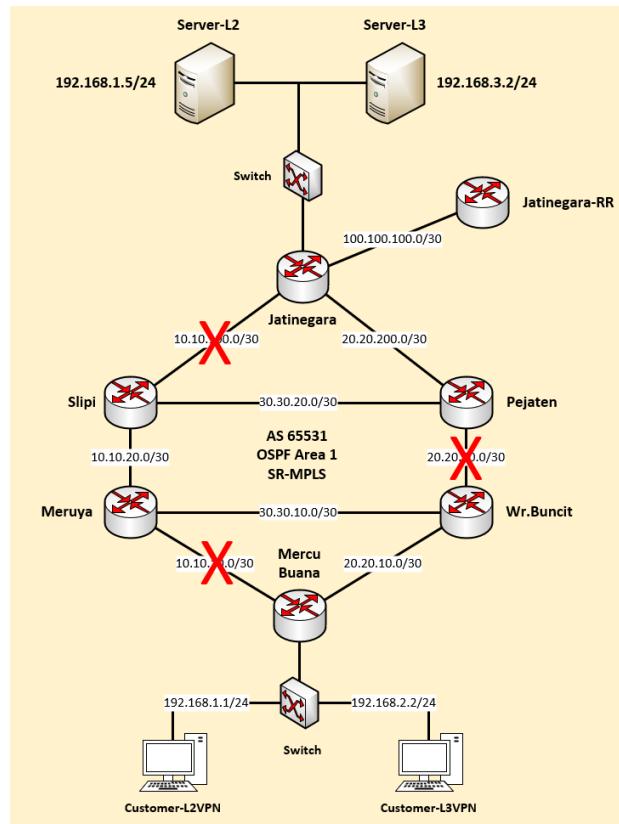
Nilai delay juga dipengaruhi beberapa faktor seperti jarak yang ditempuh paket, semakin jauh jaraknya maka akan semakin besar pula delay-nya. Ketika jaringan sedang sibuk, maka akan memungkinkan terjadinya *congestion* yang dapat menyebabkan delay terhadap pengiriman paket data akan meningkat. Dengan demikian, berdasarkan pengukuran delay ini, dapat disimpulkan bahwa jaringan MPLS Segment Routing dengan service VPRN memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan service VPLS baik dalam hal *download* maupun *upload*.

Tabel 4. Hasil Rata-rata Pengujian *Delay Upload*

Perbandingan QoS Delay Upload (ms)		
Tipe Service	Nilai Rata-Rata Upload	Standar TIPHON
VPLS	2,894 ms	4
VPRN	2,824 ms	4

C. Recovery Link Failure

Pengujian dilakukan seperti pada gambar , melakukan Ping sebanyak 200 kali dari masing-masing *Customer* ke masing-masing *Server*, lalu memutus *link router* MeruBuana >> Meruya, WarungBuncit << Pejaten, dan Slipi Jatinegara secara berurutan. Selanjutnya mengukur waktu recovery dari kedua service yaitu VPLS dan VPRN.



Gambar 8. Skenario Pengujian *Link Failure*

Berikut hasil *Recovery Link Failure* ditunjukkan pada tabel 5 dengan skenario pengujian yang seperti pada gambar 8.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Link Failure*

Perbandingan Waktu Recovery Link Failure	
Tipe Service	Waktu Recovery Link (ms)
VPLS	1,253 ms
VPRN	1,248 ms

Pada pengujian *link failure*, dilakukan pemutusan pada 3 buah *link* yang berbeda dan dilakukan secara berurutan. Metode yang digunakan adalah melakukan *ping* ICMP dari masing-masing *Server* ke arah masing-masing *Customer* sebanyak 200 kali. Hasil rata-rata waktu pemulihan jaringan dapat dilihat pada tabel 5. Dari tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa rata-rata waktu pemulihan untuk *service* VPRN adalah 1,248 ms, sedangkan untuk *service* VPLS adalah 1,253 ms. Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu pemulihan meliputi variasi latensi, gangguan pada saluran transmisi, dan kondisi *congestion*.

Dengan demikian, berdasarkan pengukuran *recovery link failure* ini, dapat disimpulkan bahwa jaringan MPLS Segment Routing dengan *service* VPRN memiliki performa yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan *service* VPLS.

V. KESIMPULAN

- Membangun jaringan MPLS Segment Routing dengan layanan VPLS dan VPRN pada *Metro Ethernet* menggunakan Nokia 7750 Service Router, langkah-langkahnya mencakup konfigurasi infrastruktur dasar seperti perancangan topologi, pengalaman IP System, IP Interface, aktivasi IGP dengan Segment Routing dan MPLS pada *interface*, diikuti dengan konfigurasi *service* VPLS untuk konektivitas *layer 2* serta VPRN untuk IP VPN *layer 3*. Setelah itu, validasi dilakukan dengan memonitor tabel MPLS, SID, status *service* VPLS dan VPRN.
- Optimalisasi QoS jaringan MPLS Segment Routing OSPF pada Nokia 7750 Service Router dilakukan dengan memanfaatkan *Node-SID* dan *Adjacency-SID* yang didistribusikan otomatis oleh IGP, sehingga tidak memerlukan pergantian label *transport* di setiap Router, memungkinkan pengaturan jalur *traffic* yang efisien tanpa memerlukan konfigurasi manual.
- Penerapan jaringan MPLS Segment Routing pada Nokia 7750 Service Router meningkatkan QoS di jaringan Metro Ethernet dengan memanfaatkan distribusi *Node-SID* oleh OSPF untuk mengarahkan *traffic* melalui jalur optimal, sehingga mengurangi *delay* atau *latency*, dan meningkatkan *throughput* secara efisien dan optimal sesuai kondisi jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Q. V. Pham et al., “A Survey of Multi-Access Edge Computing in 5G and Beyond: Fundamentals, Technology Integration, and State-of-the-Art,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 116974–117017, 2020, doi:

- 10.1109/ACCESS.2020.3001277.
- [2] M. Banafaa *et al.*, “6G Mobile Communication Technology: Requirements, Targets, Applications, Challenges, Advantages, and Opportunities,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 64, pp. 245–274, 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.08.017.
- [3] Y. Zhang, W. Cheng, and W. Zhang, “Multiple Access Integrated Adaptive Finite Blocklength for Ultra-Low Delay in 6G Wireless Networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 23, no. 3, pp. 1670–1683, 2024, doi: 10.1109/TWC.2023.3290936.
- [4] D. Ariyanti and U. Y. Oktiawati, “Analisis Perbandingan Performa Traffic Engineering Dengan Resource Reservation Protocol (RSVP) dan Segment Routing,” *Teknika*, vol. 8, no. 2, pp. 86–91, 2019, doi: 10.34148/teknika.v8i2.176.
- [5] P. L. Ventre *et al.*, “Segment Routing: A Comprehensive Survey of Research Activities, Standardization Efforts, and Implementation Results,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 182–221, 2021, doi: 10.1109/COMST.2020.3036826.
- [6] X. Chen, Z. Chen, X. Chang, T. Ji, Z. Wu, and C. Li, “Fast Reroute Algorithms for Satellite Network With Segment Routing,” *IEEE Access*, vol. 11, no. October, pp. 133509–133520, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3335988.
- [7] S. Yang, R. Chen, L. Cui, and X. Chang, “Intelligent Segment Routing: Toward Load Balancing with Limited Control Overheads,” *Big Data Min. Anal.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–17, 2023, doi: 10.26599/BDMA.2022.9020018.
- [8] W. Saeed, D. Adami, S. R. Babar, and A. Ali, “Implementation Based Approach to analyze MPLS and Segment Routing Traffic by Using ODL SDN Controller,” *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 2324–2336, 2021, doi: 10.30534/ijatcse/2021/1171032021.
- [9] T. Settawatcharanit, Y. H. Chiang, V. Suppakitpaisarn, and Y. Ji, “A Computation-Efficient Approach for Segment Routing Traffic Engineering,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 160408–160417, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2951163.
- [10] I. Ramadhan, A. Ahmad, and A. Tarihoran, “Analisis Kinerja Jaringan L3Vpn Mpls Menggunakan Sdn Controller Onos,” Skripsi, Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, Indonesia, 2021.