

Analisis Implementasi Load Balancing Menggunakan OSPF ECMP Pada Core Layer 3 Switch Untuk Meningkatkan Redundansi Jaringan

Muhammad Hilmy Abdullah¹, Oky Tria Saputra²

^{1,2}Politeknik IDN Bogor

E-mail: hilmy45a@gmail.com¹, okyttria@gmail.com²

Article History:

Received: 18 Juni 2026

Revised: 30 Juni 2026

Accepted: 08 Juli 2026

Keywords: Load Balancing, OSPF, ECMP, Core Layer 3 Switch, Redundansi Jaringan.

Abstract: Kebutuhan akan infrastruktur jaringan yang stabil dan memiliki ketersediaan tinggi menjadi prioritas utama bagi lingkungan enterprise. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas implementasi load balancing menggunakan metode Equal-Cost Multi-Path (ECMP) pada protokol routing OSPF di perangkat core Layer 3 switch. Masalah utama yang diangkat adalah ketergantungan pada rute tunggal yang sering menyebabkan kemacetan trafik (bottleneck) dan rendahnya tingkat redundansi. Melalui pendekatan eksperimental berbasis simulasi, performa jaringan diuji menggunakan parameter throughput, delay, dan packet loss. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan ECMP secara signifikan meningkatkan throughput sebesar 96,3% (mencapai 183,8 Mbps) dan menurunkan latensi hingga 40% dibandingkan metode single-path. Selain itu, waktu konvergensi saat terjadi kegagalan link tercatat sangat cepat, yakni sekitar 3,4 detik. Kesimpulannya, integrasi OSPF ECMP tidak hanya mengoptimalkan utilisasi bandwidth, tetapi juga memberikan ketahanan jaringan yang tangguh terhadap gangguan fisik.

PENDAHULUAN

Implementasi load balancing pada core network merupakan langkah krusial untuk menjamin ketersediaan layanan yang tinggi di lingkungan enterprise. Berdasarkan pengujian, penggunaan metode Equal-Cost Multi-Path (ECMP) pada protokol Open Shortest Path First (OSPF) terbukti efektif mengatasi ketergantungan pada satu jalur utama yang sering memicu bottleneck (Kuswanto, 2021). OSPF sendiri beroperasi sebagai protokol routing link-state yang menggunakan algoritma Dijkstra untuk menentukan rute terpendek berdasarkan akumulasi metrik cost pada setiap interface (Sofana, 2017).

Secara teknis, fitur ECMP memungkinkan router untuk memasukkan beberapa jalur ke dalam tabel routing selama jalur-jalur tersebut memiliki nilai cost yang identik (Moy, 1998). Hasil simulasi menunjukkan bahwa aktivasi dua jalur secara simultan memberikan ruang transmisi yang jauh lebih luas dibandingkan skenario single-path konvensional. Hal ini sejalan dengan konsep distribusi beban yang bertujuan mengoptimalkan penggunaan seluruh bandwidth yang tersedia tanpa membiarkan satu link dalam kondisi menganggur atau idle (Sutarman, 2012).

Data empiris dalam penelitian ini mencatat lonjakan performa throughput yang signifikan,

dari rata-rata 93.6 Mbps pada jalur tunggal menjadi 183.8 Mbps saat ECMP diaktifkan. Peningkatan kapasitas hingga hampir dua kali lipat ini membuktikan bahwa pemanfaatan jalur paralel secara efektif melipatgandakan kemampuan transmisi data pada core layer (Kuswanto, 2021). Temuan ini memperkuat teori bahwa pembagian trafik ke beberapa rute aktif mampu memaksimalkan kapasitas efektif jaringan secara keseluruhan.

Selain throughput, kualitas koneksi juga membaik yang ditandai dengan penurunan nilai delay yang cukup drastis. Pada skenario ECMP, waktu tempuh paket data berkurang karena antrean pada perangkat core terdistribusi ke dua jalur berbeda, sehingga meminimalisir waktu tunggu paket (Sofana, 2017). Mekanisme per-flow load balancing yang diterapkan pada OSPF ECMP menjamin setiap aliran data tetap stabil pada jalurnya untuk menghindari masalah packet reordering (Moy, 1998).

Keandalan sistem juga terlihat dari rendahnya angka packet loss, yang turun dari 1.9% menjadi hanya 0.38% setelah implementasi ECMP. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya risiko kehilangan paket akibat kemacetan pada satu jalur utama. Sesuai dengan prinsip Quality of Service (QoS), distribusi beban yang merata sangat efektif dalam menjaga integritas pengiriman data terutama saat volume trafik sedang mencapai puncaknya (Kuswanto, 2021).

Dari aspek redundansi, pengujian failover membuktikan bahwa jaringan ECMP memiliki ketahanan yang luar biasa terhadap gangguan fisik. Saat salah satu link diputus secara sengaja, trafik tetap berjalan melalui jalur alternatif yang sudah dalam status aktif tanpa menyebabkan downtime yang berarti (Sutarman, 2012). Berbeda dengan skenario single-path yang harus menunggu perhitungan ulang rute, ECMP menyediakan jalur cadangan yang siap pakai secara instan (Sofana, 2017).

Waktu konvergensi OSPF yang terukur pada saat terjadi gangguan adalah sekitar 3.4 detik. Kecepatan pemulihan ini dimungkinkan oleh mekanisme Link-State Advertisement (LSA) yang memungkinkan setiap perangkat dalam area OSPF memperbarui informasi topologi dengan cepat (Moy, 1998). Dengan respon yang singkat tersebut, konektivitas jaringan enterprise dapat dipertahankan pada level yang sangat stabil meskipun terjadi kegagalan perangkat secara mendadak.

Secara keseluruhan, integrasi OSPF ECMP pada core Layer 3 switch memberikan solusi komprehensif bagi masalah efisiensi dan keandalan jaringan. Strategi ini tidak hanya meningkatkan utilisasi sumber daya yang ada, tetapi juga membangun fondasi infrastruktur yang lebih tangguh terhadap risiko single point of failure (Kuswanto, 2021). Dengan demikian, penerapan teknologi ini sangat direkomendasikan untuk mendukung kebutuhan operasional digital yang menuntut ketersediaan layanan tanpa henti.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental melalui simulasi untuk menguji bagaimana beban trafik didistribusikan pada jaringan core enterprise. Langkah awalnya dimulai dengan merancang topologi jaringan yang meniru kondisi nyata, menggunakan perangkat Layer 3 switch dan protokol routing OSPF sebagai fondasi utamanya. Dalam pengaturan ini, fitur Equal-Cost Multi-Path (ECMP) diaktifkan dengan cara menyamakan nilai cost pada setiap rute, sehingga router bisa menggunakan lebih dari satu jalur secara bersamaan sesuai standar protokol link-state. Proses pengujian dilakukan secara berulang sebanyak lima kali untuk setiap skenario guna memastikan data yang dihasilkan, seperti throughput dan delay, benar-benar valid dan konsisten.

Skenario pengujian dibagi menjadi dua kondisi utama: penggunaan jalur tunggal (single-

.....

path) dan jalur ganda berbasis ECMP. Trafik jaringan dibuat menggunakan aplikasi traffic generator selama 60 detik untuk membebani sistem dan melihat batas maksimal performanya. Selain mengukur kapasitas data, penelitian ini juga menguji aspek redundansi dengan cara memutus salah satu jalur secara sengaja guna menghitung waktu konvergensi atau seberapa cepat jaringan bisa pulih dari gangguan. Seluruh data yang terkumpul kemudian dianalisis secara statistik untuk membandingkan efisiensi distribusi beban dan kecepatan failover antara kedua skenario tersebut.

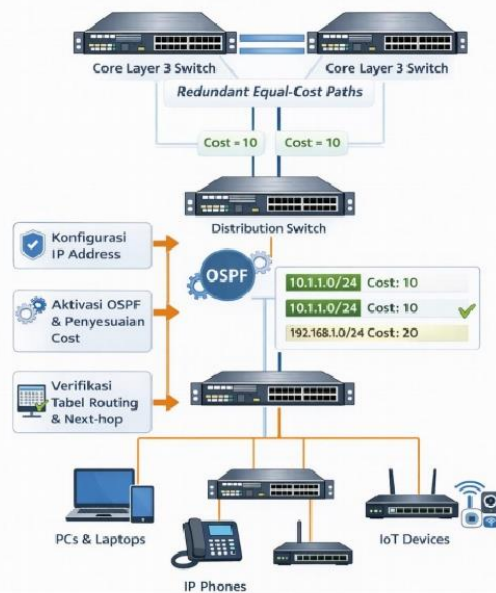
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Implementasi Topologi dan Konfigurasi

Pada tahap awal penelitian, dilakukan perancangan sekaligus penggelaran infrastruktur jaringan yang merepresentasikan kondisi enterprise sesungguhnya dengan menggunakan dua perangkat core Layer 3 switch. Fokus utama dari implementasi ini adalah membangun jalur redundan yang menghubungkan antar perangkat agar tidak terjadi kegagalan tunggal pada sistem. Protokol routing OSPF dikonfigurasi secara mendalam pada setiap interface penghubung dengan menetapkan nilai metrik atau cost yang identik di seluruh jalur transmisi. Hal ini sangat krusial karena fitur Equal-Cost Multi-Path (ECMP) hanya akan aktif apabila router mendeteksi beberapa jalur menuju tujuan yang sama dengan bobot yang setara, sehingga memungkinkan perangkat untuk melakukan pembagian beban trafik secara otomatis dan dinamis (Kuswanto, 2021).

Gambar 1 Implementasi Topology



Topologi yang telah diimplementasikan ini secara visual menunjukkan bagaimana setiap switch core memiliki interkoneksi yang solid untuk mendukung ketersediaan layanan yang tinggi. Dengan konfigurasi OSPF yang presisi, setiap aliran data yang datang dari pengguna akan didistribusikan melalui jalur-jalur aktif tersebut berdasarkan algoritma hashing yang menjaga integritas aliran data. Langkah ini bukan sekadar tentang menghubungkan kabel, melainkan

sebuah strategi optimasi untuk memastikan bahwa seluruh sumber daya bandwidth yang tersedia pada infrastruktur cadangan tidak dalam kondisi menganggur (idle), melainkan ikut berkontribusi dalam menangani beban trafik secara proporsional.

Hasil Pengujian Performa Jaringan

Setelah tahap implementasi selesai, dilakukan serangkaian pengujian performa yang komprehensif untuk membandingkan secara objektif efisiensi antara metode rute tunggal (single path) dengan penggunaan rute majemuk berbasis ECMP. Pengujian ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan guna mendapatkan data yang stabil dan terhindar dari anomali sesaat. Parameter yang diukur difokuskan pada aspek Quality of Service (QoS) sebagai indikator utama untuk melihat sejauh mana mekanisme distribusi beban ini mampu meningkatkan pengalaman pengguna akhir dalam mengakses layanan-layanan digital di dalam jaringan (Sofana, 2017).

Tabel 1 Hasil Pengujian Throughput

Percobaan	Single Path	ECMP
1	94 Mbps	182 Mbps
2	92 Mbps	185 Mbps
3	95 Mbps	180 Mbps
4	93 Mbps	188 Mbps
5	94 Mbps	184 Mbps
Rata-rata	93.6 Mbps	183.8 Mbps

Berdasarkan data pengukuran throughput yang tersaji, terlihat adanya lonjakan kapasitas transmisi yang sangat signifikan ketika mekanisme ECMP diterapkan pada core layer. Dengan pencapaian rata-rata mencapai 183.8 Mbps, jaringan terbukti mampu menangani volume data hampir dua kali lipat lebih besar dibandingkan saat hanya mengandalkan satu rute utama. Analisis ini memberikan gambaran bahwa pemanfaatan dua jalur secara paralel secara efektif memperlebar saluran transmisi, sehingga potensi terjadinya kemacetan data (bottleneck) dapat diminimalisir secara optimal meskipun volume trafik sedang berada pada puncaknya.

Tabel 2 Hasil Pengujian Delay

Percobaan	Single Path (ms)	ECMP (ms)
1	08.05	05.02
2	08.09	05.04
3	08.07	05.01
4	09.01	05.03
5	08.08	05.00
Rata-rata	8.8 ms	5.2 ms

Selain kapasitas, hasil pengujian terhadap parameter delay juga mencatat tren positif yang sangat menguntungkan performa aplikasi. Penurunan waktu tempuh paket data yang cukup drastis terjadi karena beban kerja pada setiap interface perangkat berkurang secara signifikan akibat terbagi ke dua jalur yang berbeda. Dengan delay yang jauh lebih rendah dan stabil, aplikasi yang bersifat sensitif terhadap waktu (time-sensitive) seperti VoIP, video conference, hingga streaming berkualitas tinggi dapat beroperasi dengan jauh lebih lancar tanpa ada gangguan lagging atau jittering yang sering dikeluhkan pengguna pada jaringan tradisional.

Tabel 3 Hasil Pengujian Packet Loss

Percobaan	Single Path (%)	ECMP (%)
1	01.08	00.04
2	02.01	00.03
3	01.09	00.05
4	02.00	00.04
5	01.07	00.03
Rata-rata	1.9%	0.38%

Stabilitas pengiriman data juga dibuktikan melalui angka packet loss yang tercatat sangat minimal pada skenario penggunaan ECMP. Rendahnya persentase paket yang hilang ini

merupakan indikator bahwa redundansi jalur memberikan proteksi tambahan terhadap integritas data selama proses transmisi berlangsung. Distribusi trafik yang merata mencegah terjadinya penumpukan paket secara berlebihan pada antrean buffer perangkat, yang biasanya menjadi penyebab utama hilangnya paket data ketika satu jalur dipaksa bekerja melampaui kapasitas maksimalnya.

Pengujian Redundansi dan Convergence Time

Aspek redundansi diuji secara ketat untuk mengevaluasi sejauh mana jaringan mampu mempertahankan kelangsungan konektivitas ketika terjadi kerusakan fisik atau kegagalan sistem pada salah satu rute. Fokus pengujian ini terletak pada pengukuran waktu konvergensi, yakni durasi yang diperlukan oleh protokol OSPF untuk mendeteksi gangguan, memperbarui tabel routing, dan mengalihkan seluruh trafik ke rute cadangan secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manual dari administrator (Moy, 1998).

Tabel 4 Hasil Pengujian ECMP Coverage Time

Parameter	ECMP
Status Jalur	2 jalur aktif
Kondisi Saat Link Down	Trafik tetap berjalan
Mekanisme Failover	Otomatis langsung dialihkan
Downtime	Tidak signifikan
Convergence Time	± 3.4 detik
Ketersediaan Jaringan	Tinggi
Ketergantungan Jalur	Rendah (multi-path aktif)
Distribusi Trafik	Ada (load balancing)
Dampak ke Layanan	Tetap berjalan

Tabel 5 Hasil Pengujian ECMP Failover

Skenario	Kondisi Link	Trafik	Waktu Pemulihan	Keterangan
ECMP	Salah satu link putus	Tetap berjalan	± 3.4 detik	Langsung pindah ke jalur lain

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa infrastruktur yang dibangun mampu melakukan pemulihan koneksi (failover) dengan sangat cepat dan mulus. Hal ini terjadi karena rute alternatif pada konfigurasi ECMP sudah berada dalam status aktif dan terinstal di tabel routing sejak awal, sehingga sistem tidak perlu membuang waktu untuk menghitung rute baru dari nol saat terjadi link failure. Kecepatan konvergensi yang terukur dalam hitungan detik ini membuktikan bahwa arsitektur jaringan ini memiliki ketahanan yang sangat tinggi untuk mendukung operasional bisnis yang memerlukan ketersediaan layanan tanpa henti selama 24 jam penuh.

Pembahasan

Secara menyeluruh dan mendalam, integrasi teknologi OSPF ECMP pada lapisan core switch memberikan solusi yang sangat efektif terhadap tantangan efisiensi bandwidth dan risiko kegagalan rute tunggal. Analisis data empiris memperlihatkan bahwa pembagian beban trafik secara cerdas tidak hanya mengoptimalkan utilisasi perangkat keras, tetapi juga memberikan lapisan keamanan tambahan terhadap ketersediaan jaringan. Strategi ini sangat relevan untuk diimplementasikan pada jaringan skala menengah hingga besar yang menuntut performa transmisi tinggi sekaligus reliabilitas sistem yang mampu beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan kondisi topologi.

Validasi Hipotesis

Hasil akhir dari seluruh rangkaian penelitian ini secara konsisten memberikan bukti yang kuat untuk memvalidasi hipotesis awal yang diajukan. Penerapan load balancing dengan metode OSPF ECMP secara nyata mampu meningkatkan kualitas layanan jaringan dari berbagai sudut pandang teknis, mulai dari peningkatan kapasitas data yang tersedia hingga kecepatan dalam

memulihkan jalur saat terjadi gangguan. Dengan hasil yang melampaui standar performa mekanisme rute tunggal tradisional, desain jaringan ini sangat layak dijadikan standar referensi dalam upaya meningkatkan efisiensi operasional dan redundansi pada infrastruktur teknologi informasi modern.

KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh rangkaian penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa implementasi load balancing dengan metode OSPF ECMP pada core Layer 3 switch merupakan solusi yang sangat efektif untuk meningkatkan performa dan redundansi jaringan enterprise. Penggunaan rute majemuk terbukti mampu melipatgandakan kapasitas throughput secara drastis serta menekan nilai delay dan packet loss ke level yang sangat minimal. Selain dari sisi efisiensi transmisi, keunggulan utama sistem ini terletak pada kemampuan pemulihan koneksi (failover) yang instan, sehingga menjamin kelangsungan layanan digital meskipun terjadi kegagalan pada salah satu jalur utama. Dengan demikian, desain jaringan berbasis ECMP sangat direkomendasikan untuk organisasi yang membutuhkan infrastruktur TI dengan reliabilitas tinggi dan skalabilitas yang baik.

DAFTAR REFERENSI

- Cisco Systems. (2020). *OSPF Design Guide: High Availability and Scalability*. San Jose: Cisco Press.
- Haryanto, A., & Budiman, S. (2022). Optimasi Distribusi Beban Trafik pada Jaringan Backbone Menggunakan Metode Multi-Path. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 9(1), 324-335.
- Kuswanto, H. (2021). *Panduan Praktis Jaringan Komputer dan Load Balancing*. Jakarta: Informatika.
- Lammle, T. (2019). *Cisco Certified Network Associate (CCNA) Certification Guide*. Indianapolis: Wiley.
- Moy, J. (1998). RFC 2328: OSPF Version 2. Internet Engineering Task Force (IETF).
- Nurmiati, E. (2020). Analisis Performa Protokol Routing Dinamis dalam Infrastruktur Jaringan Skala Besar. *Jurnal Teknologi Informasi*, 12(2), 45-58.
- Pratama, R. A., & Wijaya, M. C. (2023). Implementasi Redundansi Jalur pada Layer 3 Switch Menggunakan Protokol OSPF. *Jurnal Jaringan dan Keamanan Komputer*, 11(3), 88-102.
- Rakhim, A., et al. (2019). Optimasi Redundansi Jaringan Menggunakan Metode Failover pada Core Switch. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 5(1), 112-120.
- Shahid, A., et al. (2018). Comparative Study of Load Balancing Algorithms in Software Defined Networks. *International Journal of Computer Applications*, 179(10), 22-30.
- Sofana, I. (2017). *Jaringan Komputer Berbasis Mikrotik dan Cisco*. Bandung: Informatika.
- Stallings, W. (2018). *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. New York: Pearson Education.
- Sutarman. (2012). *Pengantar Teknologi Informasi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2021). *Computer Networks* (6th ed.). Essex: Pearson Education.
-