

# Analisis Perbandingan Kinerja *Load Balancing* Menggunakan Metode *Ecmp* Dengan *Pcc*

Nadzura Kumaira<sup>1</sup>, Aswandi<sup>2\*</sup>, Fachri Yanuar Rudi F<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

<sup>1</sup>nadzura672@gmail.com

<sup>2</sup>aswandi@pnl.ac.id

<sup>3</sup>fachri@pnl.ac.id

**Abstrak** – Lambatnya koneksi jaringan disebabkan oleh ketidakseimbangan beban pada *gateway* yang mengakibatkan penurunan kualitas layanan, sehingga diperlukan analisis *load balancing* menggunakan metode *ECMP* (*Equal-Cost Multipath*) dan *PCC* (*Per Connection Classifier*) untuk meningkatkan efisiensi dan pengalaman pengguna. Masalah utama yang dihadapi saat ini adalah gangguan pada koneksi internet yang dapat mengurangi produktivitas dengan seringnya keluhan tentang lambatnya jaringan akibat kelebihan beban pada jalur *gateway*. Teknik *load balancing* menggunakan metode *ECMP* dan *PCC* dapat mendistribusikan lalu lintas antar *gateway* untuk mencegah kemacetan. Penelitian ini menganalisis perbandingan kualitas layanan (*QoS*) *load balancing* menggunakan metode *ECMP* dengan *PCC* pada jaringan *LAN* dan *WLAN*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *ECMP* pada *Mikrotik Hap-Lite* mencapai keseimbangan trafik pada dua *ISP* dengan bandwidth tak terbatas, dengan *throughput* tertinggi sebesar 27.576 kbps dibandingkan *PCC* yang mencapai 10.942 kbps. Kedua metode menunjukkan *packet loss* 0%. *ECMP* unggul dalam *delay* dan *jitter* dengan rata-rata 3,9 ms dan 5,1 ms, bandingkan *PCC* dengan rata-rata 7 ms dan 8,1 ms. *Downtime ECMP* juga lebih sedikit dibandingkan *PCC*. Metode *ECMP* memberikan kinerja terbaik dalam metrik *QoS*, di mana perbandingan antara metode *ECMP* dan tanpa metode dapat meningkatkan *throughput* sebesar 89,1%, mengurangi *delay* sebesar 95,8%, dan menurunkan *jitter* sebesar 94,7%. Metode *PCC* juga menunjukkan perbaikan signifikan dibandingkan tanpa metode, tetapi tidak sebaik metode *ECMP*. Penelitian ini merekomendasikan penggabungan metode *load balancing* dan penggunaan fitur manajemen *bandwidth* tambahan dari *Mikrotik* untuk hasil yang optimal.

**Kata kunci** : *load balancing, ECMP, PCC, Quality of Service, dua jalur ISP*

**Abstract** – The slow network connection is caused by an imbalance in the load on the gateway which results in a decline in service quality, necessitating a load balancing analysis using *ECMP* (*Equal-Cost Multipath*) and *PCC* (*Per Connection Classifier*) methods to improve efficiency and user experience. The main issue currently faced is internet connection disruptions that can reduce productivity, with frequent complaints about slow network speeds due to overload on the gateway paths. The load balancing technique using *ECMP* and *PCC* methods can distribute traffic across gateways to prevent congestion. This study analyzes the comparison of *Quality of Service (QoS)* in load balancing using *ECMP* and *PCC* methods on *LAN* and *WLAN* networks. The results show that the *ECMP* method on *Mikrotik Hap-Lite* achieves traffic balance on two *ISPs* with unlimited bandwidth, with the highest *throughput* of 27,576 kbps compared to *PCC*, which reaches 10,942 kbps. Both methods show 0% *packet loss*. *ECMP* excels in *delay* and *jitter* with averages of 3.9 ms and 5.1 ms, compared to *PCC* with averages of 7 ms and 8.1 ms. *ECMP* also has less *downtime* compared to *PCC*. The *ECMP* method provides the best performance in *QoS* metrics, where the comparison between the *ECMP* method and without the method can increase *throughput* by 89.1%, reduce *delay* by 95.8%, and decrease *jitter* by 94.7%. The *PCC* method also shows significant improvement compared to without the method, but it is not as effective as the *ECMP* method. This study recommends combining load balancing methods and using additional *bandwidth* management features from *Mikrotik* for optimal results.

**Keyword**: *load balancing, ECMP, PCC, Quality of Service, two line ISP*

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pengelolaan dan optimasi lalu lintas jaringan menjadi penting untuk menjaga kinerja dan keandalan, terutama ketika terjadi lonjakan permintaan dari pengguna. *Gateway*, sebagai pengatur aliran data antar jaringan, sering kali menjadi titik permasalahan saat tidak dioptimalkan dengan baik, yang dapat mengakibatkan lambatnya koneksi. Di Laboratorium Internet of Things Politeknik Negeri Lhokseumawe TIK, pengguna sering mengeluhkan lambatnya jaringan akibat kelebihan beban pada *gateway*, yang berdampak pada penurunan produktivitas.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan implementasi teknik *load balancing* yang efektif. Penelitian ini bertujuan membandingkan metode *Equal-Cost Multi-Path* (*ECMP*) dan *Per-Connection Consistent* (*PCC*) dalam distribusi lalu lintas pada jaringan *LAN* dan *WLAN*. Analisis diharapkan memberikan solusi yang lebih efektif dalam mengelola sumber daya jaringan serta meningkatkan kualitas layanan dan pengalaman pengguna di laboratorium.

### B. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, maka rumusan masalah yang diusulkan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis perbandingan berdasarkan efektif *QoS* metode *ECMP* dengan *PCC*.
2. Bagaimana perbandingan performa metode *ECMP* dengan *PCC* dalam mengoptimalkan kualitas layanan (*QoS*) jaringan *LAN* dan *WLAN*?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, maka tujuan penelitian yang diusulkan pada tugas akhir ini adalah:

1. Mengukur kinerja *load balancing* yang diimplementasikan dengan metode *ECMP* dengan *PCC* dengan memperhatikan beberapa parameter kinerja, seperti *Throughput*, *Delay*, dan *Jitter*, untuk memastikan pencapaian keseimbangan trafik yang optimal.
2. Melakukan analisis perbandingan efektivitas *Quality of Service (QoS)* antara metode *ECMP* dengan *PCC* dalam hal memenuhi kebutuhan *QoS* yang telah ditentukan. Menilai kemampuan masing-masing metode dalam mendukung *QoS*, seperti prioritas *trafik*, pengelolaan *bandwidth*, dan keandalan koneksi.

*Load balancing* adalah praktik strategis untuk menyeimbangkan distribusi beban kerja dan lalu lintas di berbagai sumber daya atau server dalam suatu jaringan. Metode ini menggunakan teknik seperti algoritma hashing dan penyeimbangan beban waktu respons server, bertujuan mencegah overload pada sumber daya tertentu dan memastikan distribusi beban yang optimal untuk memaksimalkan throughput serta mengurangi waktu tanggap. Selain itu, *load balancing* juga mendukung failover, yaitu pengalihan lalu lintas secara otomatis ke jalur koneksi lain saat terjadi kegagalan, memastikan kontinuitas pelayanan [1]. Dengan menerapkan *load balancing*, kinerja, ketersediaan, dan ketahanan sistem dalam lingkungan terdistribusi dapat ditingkatkan. Ini dicapai dengan meratakan beban kerja dan menciptakan redundansi, sehingga dapat memanfaatkan sumber daya secara efisien dan mengurangi risiko kegagalan [2].

Meskipun *load balancing* memiliki banyak keunggulan seperti peningkatan kinerja dan skalabilitas, implementasinya dapat menjadi kompleks dan memerlukan pemeliharaan administratif yang intensif. Ada juga risiko peningkatan latensi serta tantangan dengan aplikasi yang tidak kompatibel, dan ketergantungan pada keandalan *load balancer* itu sendiri, yang bisa menjadi single point of failure [3]. Cara kerja *load balancing* melibatkan beberapa langkah, yaitu pemantauan kinerja server, pengukuran beban kerja, pengambilan keputusan distribusi beban, pengalihan lalu lintas, serta pemeriksaan kesehatan server secara berkala untuk mencegah kegagalan [4].

Metode *Load balancing ECMP (Equal-Cost Multipath)* adalah pendekatan untuk mendistribusikan lalu lintas secara merata di antara beberapa jalur dengan biaya yang sama, menggunakan algoritma hashing untuk menentukan jalur yang akan digunakan oleh suatu koneksi. *ECMP* mendukung redundansi dan toleransi kesalahan, memungkinkan pengalihan lalu lintas secara otomatis jika salah satu jalur

gagal. Biasanya diterapkan pada router atau switch dengan protokol routing seperti *OSPF* atau *BGP*, *ECMP* meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan ketersediaan sistem. Namun, implementasinya memerlukan perangkat jaringan yang mendukungnya dan konfigurasi yang tepat. Meskipun metode ini meningkatkan konsistensi dan *load distribution*, tantangan dapat muncul dalam bentuk kompleksitas konfigurasi serta keterbatasan aplikasi atau protokol yang mendukung *ECMP* [5].

Metode *Load balancing PCC (Per Connection Classifier)* mendistribusikan beban trafik berdasarkan karakteristik koneksi individu, seperti alamat IP sumber, tujuan, dan port. Setiap koneksi diklasifikasikan dan diarahkan ke jalur tertentu menggunakan algoritma, seperti hashing, untuk memastikan distribusi yang efisien dan konsisten. *PCC* mendukung multiple paths dan memungkinkan failover otomatis jika terjadi kegagalan pada salah satu jalur [6]. Metode ini sering digunakan dalam jaringan yang kompleks untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, namun memerlukan konfigurasi yang tepat dan mendalam. Meskipun menawarkan fleksibilitas tinggi, *PCC* dapat menghadapi tantangan dalam hal kompleksitas konfigurasi, overhead pemrosesan, dan distribusi beban yang tidak merata, tergantung pada karakteristik koneksi yang bervariasi [7].

*Quality of Service (QoS)* adalah konsep dalam jaringan komputer yang mengelola faktor-faktor seperti *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* untuk memastikan aplikasi dan layanan jaringan beroperasi dengan efisien. *QoS* mengalokasikan sumber daya secara bijaksana, memprioritaskan layanan penting, serta meminimalkan *delay* dan *jitter*, khususnya untuk aplikasi *real-time* seperti suara dan video [8]. Penelitian ini bertujuan menyeimbangkan alokasi *bandwidth* berdasarkan kebutuhan pengguna, dengan mengevaluasi dampak alokasi *bandwidth* menggunakan *QoS* sesuai standar *TIPHON* yang mengatur pengelolaan *bandwidth*, prioritas data, serta pengurangan latency dan *jitter*, khususnya untuk transmisi data suara dan video [9].

*Throughput* adalah jumlah data yang dapat dikirim jaringan dari sumber ke tujuan dalam satuan waktu. *Throughput* terkadang disebut *bandwidth* karena *Throughput* adalah nilai *bandwidth* dalam situasi dunia nyata [10]. Untuk menghitung *Throughput* dapat digunakan rumus seperti pada persamaan (1) berikut ini:

$$Throughput = \frac{Jumlah\ data\ yang\ dikirim}{Waktu\ pengiriman\ data} \tag{1}$$

Kategori *Throughput* dapat dilihat pada Tabel I.

Kategori <i>Throughput</i>	<i>Throughput</i>	Indeks
Sangat Bagus	>2.1 Mbps	4
Baik	1200 kbps – 2 Mbps	3

Cukup Baik	700 – 1200 Mbps	2
Kurang Baik	338 – 700 kbps	1
Buruk	0 – 338 kbps	0

*Packet Loss* adalah selisih antara jumlah paket yang dikirim dengan jumlah paket yang diterima, atau *Packet Loss* adalah jumlah paket yang gagal mencapai tujuannya karena kesalahan transmisi [10]. *Packet Loss* dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (2) berikut:

$$Packet\ loss = \frac{packet\ dikirim - packet\ diterima}{packet\ dikirim} \times 100\% \tag{2}$$

Kategori *Packet Loss* dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II  
KATEGORI *PACKET LOSS*

Kategori	<i>Packet Loss</i>	Indeks
Sangat Bagus	0 %	4
Bagus	3 %	3
Sedang	15 %	2
Tidak Bagus	25 %	1

*Delay* adalah penundaan sebelum seluruh paket berhasil dikirimkan dari sumbernya ke tujuannya. Waktu tunda ini berdampak pada kualitas layanan (*QoS*) dan dapat menyebabkan paket membutuhkan waktu lama untuk sampai ke tujuannya [10]. *Delay* dapat dihitung menggunakan persamaan (3) berikut ini:

$$Delay = \frac{waktu\ antar\ paket}{jumlah\ paket} \tag{3}$$

Kategori *Delay* dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III.  
KATEGORI *DELAY*

Kategori Delay	Besar Delay	Indeks
Sangat Bagus	<150 ms	4
Bagus	150 ms – 300 ms	3
Sedang	300 ms – 450 ms	2
Tidak Bagus	>450 ms	1

*Jitter* adalah perubahan *delay* yang terjadi dalam suatu jaringan. Pada nilai *jitter* dipengaruhi oleh variasi beban trafik dan tingkat kemacetan dalam jaringan. Terjadinya kongesti disebabkan oleh padatnya trafik pada jaringan sehingga meningkatkan nilai *jitter* pada anak-anaknya. Meningkatkan nilai *Jitter* dapat menurunkan kinerja jaringan [10]. *Jitter* dapat dihitung menggunakan persamaan (4) berikut ini:

$$jitter = \frac{Total\ variasi\ Delay}{Paket\ yang\ diterima} \tag{4}$$

Kategori *Jitter* dapat dilihat pada Tabel IV.

TABEL IV  
KATEGORI *JITTER*

Kategori <i>Jitter</i>	<i>Jitter</i>	Indeks
Sangat Bagus	0 ms	4
Bagus	0 ms – 75 ms	3
Sedang	75 ms – 125 ms	2
Tidak Bagus	125 ms – 225 ms	1

*Downtime* adalah lamanya waktu suatu sistem tidak dapat menjalankan fungsinya seperti yang diharapkan. Waktu henti mempunyai dampak signifikan terhadap nilai ketersediaan perangkat. Waktu henti jaringan yang berkepanjangan dapat berdampak signifikan terhadap kinerja dan mengakibatkan hilangnya biaya [10].

Evaluasi efektivitas jaringan *load balancing* dengan metode *ECMP dengan PCC* melibatkan penilaian distribusi beban, kinerja jaringan, *QoS*, manajemen trafik, keamanan, dan skalabilitas. Pemantauan penggunaan sumber daya dan tanggapan *langsung* dari pengguna juga diperlukan. Hasil evaluasi ini memberikan gambaran sejauh mana *ECMP dengan PCC* dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja jaringan *load balancing*, mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik untuk optimalisasi dan pengelolaan jaringan secara keseluruhan .

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Metode Penelitian

Metodologi penelitian ini berfokus pada penerapan *load balancing* menggunakan metode *ECMP* dan *PCC* dengan dua jalur ISP melalui modem Orbit di jaringan LAN dan WLAN Laboratorium Internet of Things Politeknik Negeri Lhokseumawe. Pengujian dilakukan dengan pengaturan *bandwidth* tanpa batas untuk mengoptimalkan performa, menggunakan variabel *throughput*, *packet loss*, *delay*, *jitter*, dan *downtime*. Setelah implementasi dan konfigurasi, pengujian mencakup aktivitas seperti *download*, *upload*, *video conference*, serta simulasi pemutusan salah satu ISP. Analisis terhadap parameter *Quality of Service (QoS)* bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode dalam menyeimbangkan trafik dan menjaga kualitas jaringan. Implementasi *Load Balancing* dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Implementasi Load Balancing

B. Data dan Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder yang akan dipergunakan peneliti untuk menerapkan *load balancing* dengan metode ECMP dan PCC. Berikut adalah data yang akan dikumpulkan:

1) Data Primer

Data *primer* didapatkan melalui pengukuran secara langsung, data yang diukur secara langsung adalah *QoS* (nilai rata-rata *Throughput*, *packet loss*, *delay*, *jitter*, dan nilai *downtime* dari perbandingan metode ECMP dengan PCC).

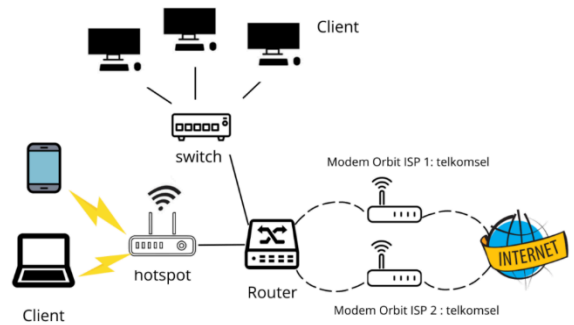
2) Data Sekunder

Data *sekunder* didapatkan melalui melakukan studi pustaka yaitu serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka atau jurnal penelitian sebelumnya, membaca dan mencatat serta mengolah bahan penelitian.

Adapun teknik pengumpulan data yang akan dilakukan dengan menggunakan:

- 1) *Observasi*: Yaitu dengan mengamati subjek penelitian, Pada penelitian ini kami mengumpulkan data hasil analisis QoS untuk setiap kondisi pengujian berdasarkan parameter QoS yang digunakan.
- 2) *Wawancara*: Untuk mendapatkan informasi secara lengkap tentang obyek penelitian maka perlu melakukan tanya jawab dengan para pengguna WiFi mengenai yang berhubungan dengan penelitian.
- 3) *Studi Literatur*: Selain melakukan kegiatan diatas tersebut penulis juga melakukan studi kepustakaan melalui referensi-referensi.

C. Rancangan Arsitektur Jaringan



Gambar 2. Arsitektur Jaringan Load Balancing

Dari Gambar 2 Arsitektur jaringan melibatkan beberapa komponen yang bekerja bersama untuk menyediakan konektivitas yang stabil dan efisien bagi perangkat klien. Komputer desktop terhubung melalui kabel ke *switch*, sementara laptop dan *smartphone* terhubung secara nirkabel ke hotspot. *Switch* bertugas menghubungkan perangkat di jaringan lokal (*LAN*) dan mengelola lalu lintas data antar perangkat tersebut. Data dari *switch* kemudian diteruskan ke *router*, yang berfungsi sebagai pengatur lalu lintas jaringan dan penghubung antara jaringan lokal dan jaringan lokal nirkabel (*WLAN*). Router ini mengelola koneksi dari *switch* dan hotspot, memastikan distribusi data yang efisien antara perangkat klien dan *internet*. Router juga terhubung ke dua modem orbit *ISP* dari Telkomsel, yang bertindak sebagai *gateway* ke *internet*. Router menggunakan teknik *load balancing* untuk mendistribusikan lalu lintas data antara kedua modem ini, mencegah kelebihan beban pada satu modem dan memastikan konektivitas *internet* yang lebih handal. Modem orbit ini mengirimkan dan menerima data dari *internet*, sehingga perangkat klien memiliki akses ke layanan online. Kombinasi penggunaan *switch*, *router*, dan modem dengan *load balancing* ini memungkinkan jaringan di Lab gedung TIK berfungsi dengan optimal, memberikan konektivitas yang cepat dan andal bagi semua perangkat yang terhubung.

D. Teknik Pengujian

Proses pengujian dilakukan dalam tiga kondisi: saat *download* dan *upload file*, *video conference*, serta pemutusan salah satu jalur *ISP*. Pada pengujian *download* dan *upload*, QoS diukur menggunakan *throughput* dan *packet loss*, sedangkan pengujian *video conference* menggunakan parameter *delay* dan *jitter*. Pemutusan jalur *ISP* diukur menggunakan *downtime*. Pengujian efektivitas QoS juga mencakup pemantauan *bandwidth*, analisis *throughput*, serta pengujian kapasitas, skalabilitas, dan kinerja jaringan saat terjadi kegagalan atau perubahan jalur komunikasi. Hasil pengujian ini mengevaluasi kemampuan jaringan dalam menangani trafik, mendukung prioritas, serta mempertahankan kualitas layanan dalam berbagai kondisi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Rata-Rata dari Pengujian tanpa Metode

Berdasarkan proses pengujian dilakukan pada tiga kondisi yaitu pada pengujian *download* dan *upload file* pengukuran *QoS* menggunakan parameter *throughput* dengan *packet loss*. Pada pengujian saat video *conference* pengukuran *QoS* menggunakan parameter *delay* dengan *Jitter*; berikut hasil dari pengujian yang dilakukan sebanyak 5 kali pada jaringan *LAN* dan 5 kali pada jaringan *WLAN* yang di uji secara bersamaan tanpa menggunakan metode. Dapat dilihat pada Tabel V hasil rata-rata pengujian tanpa metode.

TABEL V  
HASIL RATA-RATA PENGUJIAN TANPA METODE

Percobaan	Throughput	Packet Loss	Delay	Jitter
1	3.644 kbps	0 %	95 ms	95 ms
2	1.499 kbps	0 %	98 ms	98 ms
3	3.266 kbps	0 %	91 ms	91 ms
4	4.918 kbps	0 %	86 ms	86 ms
5	2.834 kbps	0 %	96 ms	96 ms
6	4.846 kbps	0 %	88 ms	88 ms
7	4.500 kbps	0 %	86 ms	85 ms
8	4.951 kbps	0 %	97 ms	96 ms
9	5.557 kbps	0 %	107 ms	107 ms
10	4.026 kbps	0 %	108 ms	107 ms
Rata-Rata	4.004,1 kbps	0 %	95,2 ms	94,9 ms
Kategori	Sangat bagus	Sangat bagus	Sangat bagus	Sedang

Berdasarkan hasil rata-rata 10 kali pengujian yang dilakukan pada jaringan *LAN* dan *WLAN*, performa jaringan diuji melalui tiga kondisi yaitu pengunduhan dan pengunggahan file dengan parameter *throughput* dan *packet loss*, serta video *conference* dengan parameter *delay* dan *Jitter*. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata *throughput* sebesar 4.0041 kbps dengan *packet loss* 0%, mengindikasikan kecepatan transfer data yang sangat baik dan tidak adanya kehilangan data pada kedua jenis jaringan. Rata-rata *delay* sebesar 95,2 ms dan *jitter* 94,9 ms juga menunjukkan waktu transmisi yang rendah dan konsisten, meskipun *jitter* berada pada kategori sedang. Secara keseluruhan, kualitas layanan jaringan *LAN* dan *WLAN* dinilai sangat bagus untuk *throughput*, *packet loss*, dan *delay*, dengan sedikit penurunan pada *jitter* yang tetap dapat diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa jaringan *LAN* dan *WLAN* mampu memberikan performa yang sangat baik untuk kebutuhan komunikasi data, baik untuk pengunduhan dan pengunggahan file maupun video *conference*.

#### B. Hasil Rata-Rata dari Pengujian Metode ECMP

Berdasarkan proses pengujian dilakukan pada tiga kondisi yaitu pada pengujian *download* dan *upload file* pengukuran *QoS* menggunakan parameter *throughput* dengan *packet loss*. Pada pengujian saat video *conference* pengukuran *QoS* menggunakan parameter *delay* dengan *jitter*; berikut hasil dari pengujian yang dilakukan sebanyak 5 kali pada jaringan *LAN* dan 5 kali pada jaringan *WLAN* yang di uji secara bersamaan menggunakan metode *ECMP*. Dapat dilihat pada Tabel VI hasil rata-rata pengujian *ECMP LAN* dan *WLAN*.

TABEL VI  
RATA-RATA PENGUJIAN ECMP LAN & WLAN

Percobaan	Throughput	Packet Loss	Delay	Jitter
1	2.566 kbps	0 %	4 ms	5 ms
2	3.833 kbps	0 %	5 ms	6 ms
3	4.097 kbps	0 %	4 ms	6 ms
4	2.875 kbps	0 %	4 ms	6 ms
5	3.470 kbps	0 %	4 ms	5 ms
6	2.519 kbps	0 %	5 ms	6 ms
7	14.272 kbps	0 %	5 ms	6 ms
8	9.331 kbps	0 %	4 ms	5 ms
9	5.188 kbps	0 %	1 ms	2 ms
10	27.576 kbps	0 %	3 ms	4 ms
Rata-Rata	7.572,7 kbps	0 %	3,9 ms	5,1 ms
Kategori	Sangat bagus	Sangat bagus	Sangat bagus	Bagus

Berdasarkan hasil rata-rata dari 10 kali pengujian, kinerja jaringan *ECMP (Equal-Cost Multi-Path)* pada *LAN* dan *WLAN* menunjukkan hasil yang cukup baik. *Throughput* rata-rata sebesar 7.572,7 kbps menunjukkan kapasitas jaringan dalam mentransmisikan data dengan efisiensi tinggi. *Packet Loss* sebesar 0% menunjukkan tidak adanya kehilangan paket data selama pengujian, mencerminkan stabilitas jaringan yang baik. *Delay* rata-rata sebesar 3,9 ms menunjukkan waktu tunda yang rendah, ideal untuk aplikasi yang membutuhkan respons waktu nyata. *Jitter* rata-rata sebesar 5,1 ms, meskipun sedikit lebih tinggi dari *delay*, masih dalam batas yang dapat diterima untuk menjaga konsistensi dalam transmisi data. Secara keseluruhan, hasil rata-rata ini menunjukkan bahwa jaringan *ECMP* pada *LAN* dan *WLAN* mampu memberikan kinerja yang baik dan stabil, dengan *throughput* yang memadai, tidak adanya kehilangan paket, serta *delay* dan *jitter* yang terjaga dalam batas yang dapat diterima. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan ini siap untuk mendukung berbagai aplikasi dengan kebutuhan *QoS* yang tinggi, baik di lingkungan *LAN* maupun *WLAN*.

#### C. Hasil Rata-Rata dari Pengujian Metode PCC

Berdasarkan proses pengujian dilakukan pada tiga kondisi yaitu pada pengujian *download* dan *upload file* pengukuran *QoS* menggunakan parameter *throughput* dengan *packet loss*. Pada pengujian saat video *conference* pengukuran *QoS* menggunakan parameter *delay* dengan *Jitter*; berikut hasil dari pengujian yang dilakukan sebanyak 5 kali pada jaringan *LAN* dan 5 kali pada jaringan *WLAN* yang di uji secara bersamaan menggunakan metode *PCC*. Dapat dilihat pada Tabel VII hasil rata-rata pengujian *PCC LAN* dan *WLAN*.

TABEL VII  
RATA-RATA PENGUJIAN PCC DAN WLAN

Percobaan	Throughput	Packet Loss	Delay	Jitter
1	8.444 kbps	0 %	6 ms	7 ms
2	10.942 kbps	0 %	7 ms	7 ms
3	6.847 kbps	0 %	7 ms	9 ms
4	9.022 kbps	0 %	7 ms	7 ms
5	7.362 kbps	0 %	7 ms	7 ms
6	2.501 kbps	0 %	16 ms	18 ms
7	2.870 kbps	0 %	5 ms	6 ms

8	6.066 kbps	0 %	5 ms	7 ms
9	2.551 kbps	0 %	5 ms	7 ms
10	2.037 kbps	0 %	5 ms	6 ms
Rata-Rata	5.864,2 kbps	0 %	7 ms	8,1 ms
kategori	Sangat bagus	Sangat bagus	Sangat bagus	Bagus

Berdasarkan hasil rata-rata 10 kali pengujian *PCC* (*Per Connection Classifier*) pada *LAN* dan *WLAN*, dapat dilihat bahwa kinerja jaringan menunjukkan variasi yang cukup signifikan tergantung pada parameter yang diukur. *Throughput* rata-rata sebesar 5.864,2 kbps menunjukkan kapasitas jaringan dalam mentransmisikan data dengan efisiensi yang bervariasi, mulai dari 2.037 kbps hingga 10.942 kbps. Meskipun terdapat variasi, rata-rata ini menunjukkan kemampuan jaringan dalam mendukung transmisi data dengan cukup baik.

*Packet Loss* sebesar 0% menunjukkan bahwa tidak ada kehilangan paket data selama pengujian, mencerminkan stabilitas jaringan yang baik. *Delay* rata-rata sebesar 7 ms menunjukkan waktu tunda yang umumnya rendah, meskipun ada beberapa pengukuran yang menunjukkan *delay* lebih tinggi, seperti pada percobaan dengan *throughput* rendah (2.501 kbps) yang memiliki *delay* 16 ms.

**D. Rata-Rata dan Pengujian Nilai Downtime tanpa Metode**

Berdasarkan proses pengujian dilakukan pada pemutusan salah satu ISP, berikut hasil dari pengujian yang dilakukan sebanyak 1 kali tanpa metode. Dapat dilihat pada Tabel VIII rata-rata dan pengujian nilai *downtime*.

TABEL VIII  
RATA-RATA DAN PENGUJIAN NILAI DOWNTIME

Load Balancing	Waktu Pemutusan	Waktu Tersambung Kembali	Downtime
Tanpa Metode	23.08.05	23.08.13	8s

Tabel yang disediakan menunjukkan pengujian *downtime* tanpa menggunakan metode, tercatat bahwa waktu pemutusan koneksi terjadi pada pukul 23.08.05 dan waktu tersambung kembali pada pukul 23.08.13, dengan total *downtime* selama 8 detik. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa adanya metode *load balancing* yang efektif, terjadi gangguan dalam waktu yang cukup signifikan dalam menjaga kontinuitas layanan jaringan. *downtime* ini dapat berdampak negatif pada pengguna, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan konektivitas terus-menerus, seperti layanan keuangan atau aplikasi berbasis *internet* lainnya. Dalam pengujian ini pentingnya implementasi metode *load balancing* untuk meminimalisir *downtime* dan memastikan stabilitas serta ketersediaan layanan secara optimal.

**E. Rata-Rata dan Pengujian Nilai Downtime ECMP dengan PCC**

Berdasarkan proses pengujian dilakukan pada pemutusan salah satu ISP, berikut hasil dari pengujian yang dilakukan

sebanyak 1 kali menggunakan metode *ECMP* dengan *PCC* secara bergantian. Dapat dilihat dari tabel 4.5 Rata-Rata Dan Pengujian Nilai *Downtime*. Dapat dilihat pada Tabel IX hasil rata-rata pengujian Nilai *downtime*

TABEL IX  
RATA-RATA DAN PENGUJIAN NILAI DOWNTIME.

Load Balancing	Waktu Pemutusan	Waktu Tersambung Kembali	Downtime
PCC	19.01.05	19.01.07	2s
ECMP	18.50.50	18.50.55	5s

Tabel yang disediakan menunjukkan perbandingan *downtime* antara dua metode *load balancing*: *PCC* (*Per Connection Classifier*) dan *ECMP* (*Equal-Cost Multi-Path*). Untuk *PCC*, *downtime* tercatat dari pukul 19:01:05 hingga 19:01:07, dengan total durasi *downtime* sebesar 2 detik. Sebaliknya, metode *ECMP* mengalami *downtime* dari pukul 18:50:50 hingga 18:50:55, yang berarti durasi *downtime*-nya adalah 5 detik. Dari perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa *PCC* memiliki waktu pemulihan yang lebih cepat dibandingkan *ECMP*, dengan *downtime* yang lebih singkat. Hal ini mungkin menunjukkan bahwa *PCC* lebih efisien dalam mengelola pemulihan dari gangguan atau pemutusan, tetapi penting juga untuk mempertimbangkan faktor lain seperti skalabilitas, kompleksitas implementasi, dan kebutuhan spesifik sistem saat memilih metode *load balancing* yang paling sesuai.

**F. Hasil Total Efektifitas Metode PCC dan ECMP**

**1) Rata-Rata Efektivitas Metode ECMP**

- Total efektifitas metode *ECMP* = 89.1 + 0% + 95% + 94.7
- Total efektifitas metode *ECMP* = 279.6%
- Total efektifitas metode *ECMP* =  $\frac{279.6\%}{4}$
- Total rata-rata efektifitas metode *ECMP* = 69.9%

Metode *ECMP* memiliki rata-rata efektifitas 69.9%, menunjukkan kinerja unggul di semua metrik dibandingkan dengan metode *PCC* dan kondisi tanpa metode. Metode ini sangat efektif dalam meningkatkan *throughput*, mengurangi *delay*, dan mengurangi *jitter*.

**2) Rata-Rata Efektivitas Metode PCC**

- Total efektifitas metode *PCC* = 46.5 + 0% + 92.6 + 91.5
- Total efektifitas metode *PCC* = 230.6%
- Total efektifitas metode *PCC* =  $\frac{230.6\%}{4}$
- Total rata-rata efektifitas metode *PCC* = 57.65%

Metode *PCC* Memiliki rata-rata efektifitas 57.65%. Hal ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan kondisi tanpa metode, tetapi tidak seefektif metode *ECMP*. Meskipun memiliki efektifitas 0% dalam packet loss,

efektivitas throughput, delay, dan jitter-nya lebih rendah dibandingkan metode ECMP.

Metode ECMP secara keseluruhan menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan metode PCC dan kondisi tanpa metode, terutama dalam hal *throughput*, *delay*, dan *jitter*. Metode ECMP memberikan peningkatan yang signifikan dalam *throughput* setelah di bandingkan dengan tanpa metode sebesar 89.1%, mengurangi *delay* 95.8%, dan mengurangi *jitter* 94.7%. Metode PCC menunjukkan perbaikan yang signifikan dibandingkan tanpa metode, tetapi tidak seefektif metode ECMP. Semua metode mencapai efektivitas 0% dalam hal *packet loss*, menandakan performa jaringan yang sangat baik dalam hal pengiriman paket.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian dan analisis mendalam, dapat disimpulkan bahwa implementasi load balancing menggunakan metode ECMP dengan PCC pada Mikrotik Hap-Lite menghasilkan keseimbangan trafik pada dua ISP dengan bandwidth unlimited. Berdasarkan pengujian parameter QoS, nilai throughput terbesar pada metode ECMP mencapai 27.576 kbps dengan nilai konsisten di atas rata-rata 9.331 kbps, sementara metode PCC mencapai throughput terbesar 10.942 kbps. Kedua metode menunjukkan performa sangat baik dalam hal packet loss, dengan nilai 0% di setiap percobaan. Metode ECMP memiliki delay rata-rata yang lebih rendah (3,9 ms) dibandingkan metode PCC (7 ms), membuatnya lebih efisien untuk aplikasi sensitif waktu seperti VoIP dan video streaming. Jitter pada metode ECMP juga lebih rendah dan konsisten (5,1 ms) dibandingkan PCC (8,1 ms), menunjukkan stabilitas yang lebih baik dalam transmisi data. Namun, nilai downtime metode PCC lebih cepat stabil (2 detik) dibandingkan ECMP (5 detik). Secara keseluruhan, metode ECMP memberikan peningkatan throughput sebesar 89.1%, mengurangi delay 95.8%, dan menurunkan jitter 94.7%, sedangkan metode PCC memberikan peningkatan throughput 46.5%, delay 92.6%, dan jitter 91.5%. Kedua metode menunjukkan performa yang sangat baik, namun ECMP terbukti lebih unggul dalam meningkatkan kualitas jaringan.

#### V. REFERENSI

- [1] G. Triono, "Implementasi Load Balancing Dengan Menggunakan Algoritma Round Robin Pada Kasus Pendaftaran Siswa Baru Sekolah Menengah Pertama Labschool Unesa Surabaya," 2015.
- [2] S. D. Riskiono dan D. Pasha, "Analisis Metode Load Balancing Dalam Meningkatkan Kinerja Website E-Learning," *J. Teknoinfo*, vol. 14, no. 1, hlm. 22, Jan 2020, doi: 10.33365/jti.v14i1.466.
- [3] M. I. Firdaus, "Analisis Perbandingan Kinerja Load Balancing Metode Ecmp (Equal Cost Multi-Path) Dengan Metode Pcc (Per Connection Classifier) Pada Mikrotik Routers," *Technol. J. Ilm.*, vol. 8, no. 3, hlm. 165, Jul 2017, doi: 10.31602/tji.v8i3.1139.
- [4] M. D. Haryanto dan I. Riadi, "Analisis Dan Optimalisasi Jaringan Menggunakan Teknik Load Balancing (Studi Kasus Jaringan Uad Kampus 3)," vol. 2, 2014.
- [5] A. Husni, E. Budiman, M. Taruk, dan H. J. Setyadi, "Teknik Load Balancing Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path (Ecmp) Untuk Mengukur Beban Traffic Di Diskominfo Tenggara," vol. 3, no. 1, 2018.
- [6] D. Dartono, U. Usanto, dan D. Irawan, "Penerapan Metode Per Connection Classifier (Pcc) Pada Perancangan Load Balancing Dengan Router Mikrotik," *Jeis J. Elektro Dan Inform. Swadharma*, vol. 1, no. 1, hlm. 14–20, Jan 2021, doi: 10.56486/jeis.vol1no1.65.
- [7] . S., A. H. Muhamamd, A. Assagaf, dan F. R. Pahlevic, "Implementasi Load Balancing, Fil Over dan PCC (Studi kasus: Kantor Badan Kepagawiaian Provinsi Maluku Utara)," *J. Tek. Inform. J-Tifa*, vol. 4, no. 2, hlm. 12–18, Sep 2021, doi: 10.52046/j-tifa.v4i2.1350.
- [8] H. Dafa Rizqi dan B. Tjahjono, "Analisis Quality of Service Jaringan Internet pada Bts Perangkat Ericsson Provider Indosat (Studi Kasus: Bts Indosat)," *J. Locus Penelit. Dan Pengabd.*, vol. 3, no. 6, hlm. 468–481, Jun 2024, doi: 10.58344/locus.v3i6.2767.
- [9] S. Subektiningsih, R. Renaldi, dan P. Ferdiansyah, "Analisis Perbandingan Parameter QoS Standar TIPHON Pada Jaringan Nirkabel Dalam Penerapan Metode PCQ," *EXPLORE*, vol. 12, no. 1, hlm. 57, Jan 2022, doi: 10.35200/explore.v12i1.527.
- [10] Z. Saharuna, R. Nur, dan A. Sandi, "Analisis Quality Of Service Jaringan Load Balancing Menggunakan Metode PCC Dan NTH," *CESS J. Comput. Eng. Syst. Sci.*, vol. 5, no. 1, hlm. 131, 2020, doi: 10.24114/cess.v5i1.14629.