



Analisis Kinerja *Load Balancing* dan *Failover* Menggunakan Mikrotik RouterOS untuk Layanan Internet Multi-ISP

Anggi Satria Putra Hari Agung^{1*}, Ganjar Febriyani Pratiwi²

¹⁻² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara, Indonesia

*Penulis Korespondensi: ghiesatria89@gmail.com

Abstract. The increasing demand for internet connectivity across various sectors requires a reliable, stable, and highly available network infrastructure capable of maintaining service continuity. Dependence on a single Internet Service Provider (ISP) often leads to service disruptions when connection failures occur, highlighting the need for an effective network redundancy mechanism. This study aims to analyze the performance of implementing load balancing using the Per Connection Classifier (PCC) method and failover on Mikrotik RouterOS within a multi-ISP network environment. An experimental research approach was employed, consisting of network requirements analysis, network topology design, implementation of load balancing and failover configurations, and network performance evaluation. The performance parameters observed included throughput, latency, and downtime to assess network reliability before and after the implementation of the proposed mechanisms. The results demonstrate that the load balancing mechanism effectively distributes network traffic across multiple ISP links, resulting in more efficient bandwidth utilization. Meanwhile, the failover mechanism successfully maintains service continuity by automatically switching traffic to the backup connection whenever the primary ISP experiences a failure. Furthermore, the implementation improved network throughput, stabilized latency, and ensured uninterrupted internet connectivity during ISP outages. Therefore, the integration of PCC-based load balancing and failover on Mikrotik RouterOS is proven to be an effective solution for enhancing network reliability and supporting high-availability internet services.

Keywords: Failover; High Availability; Load Balancing; Mikrotik RouterOS; Multi-ISP.

Abstrak. Meningkatnya kebutuhan koneksi internet pada berbagai sektor menuntut tersedianya sistem jaringan yang andal, stabil, dan mampu menjaga kontinuitas layanan. Ketergantungan terhadap satu penyedia layanan internet (*Internet Service Provider/ISP*) berpotensi menyebabkan gangguan layanan ketika terjadi kegagalan koneksi sehingga diperlukan mekanisme redundansi jaringan yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja implementasi *load balancing* menggunakan metode *Per Connection Classifier* (PCC) dan *failover* pada Mikrotik RouterOS dalam lingkungan jaringan *multi-ISP*. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimental melalui tahapan analisis kebutuhan jaringan, perancangan topologi, implementasi konfigurasi *load balancing* dan *failover*, serta pengujian kinerja jaringan. Parameter pengujian meliputi *throughput*, *latency*, dan *downtime* untuk mengevaluasi keandalan sistem sebelum dan sesudah penerapan mekanisme tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *load balancing* mampu mendistribusikan trafik secara lebih merata sehingga pemanfaatan bandwidth menjadi lebih optimal, sedangkan mekanisme *failover* mampu mempertahankan kontinuitas layanan dengan mengalihkan koneksi secara otomatis ke jalur cadangan ketika jalur utama mengalami gangguan. Pengujian juga menunjukkan peningkatan *throughput*, kestabilan *latency*, serta kemampuan sistem mempertahankan koneksi internet selama salah satu ISP mengalami kegagalan. Dengan demikian, kombinasi metode *load balancing* PCC dan *failover* pada Mikrotik RouterOS terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan jaringan serta mendukung implementasi layanan internet dengan tingkat ketersediaan tinggi (*high availability*).

Kata kunci: Failover; High Availability; Load Balancing; Mikrotik RouterOS; Multi-ISP.

1. LATAR BELAKANG

Ketersediaan koneksi internet yang stabil, cepat, dan berkelanjutan telah menjadi kebutuhan utama dalam mendukung berbagai aktivitas di sektor pendidikan, pemerintahan, bisnis, maupun layanan publik. Perkembangan transformasi digital yang semakin pesat menyebabkan ketergantungan terhadap layanan internet terus meningkat, sehingga gangguan koneksi sekecil apa pun dapat berdampak pada menurunnya produktivitas, terhambatnya

proses pertukaran data, serta terganggunya operasional organisasi. Oleh karena itu, keandalan infrastruktur jaringan menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam pengelolaan sistem informasi modern. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian Siregar et al. (2023) yang menjelaskan bahwa meningkatnya transformasi digital menyebabkan kebutuhan terhadap jaringan internet yang memiliki tingkat ketersediaan tinggi (*high availability*) semakin penting untuk menjamin kontinuitas layanan. Selain itu, Bahrul Ilham & Setiawan (2023) menyatakan bahwa implementasi jaringan redundan menjadi solusi efektif untuk meminimalkan gangguan layanan akibat kegagalan koneksi.

Permasalahan yang masih banyak ditemui pada implementasi jaringan adalah penggunaan satu penyedia layanan internet (*Internet Service Provider* atau ISP). Ketergantungan terhadap satu jalur koneksi menyebabkan jaringan memiliki *single point of failure*, yaitu kondisi ketika seluruh layanan jaringan akan terganggu apabila koneksi ISP utama mengalami gangguan. Selain menyebabkan *downtime*, kondisi tersebut juga berpotensi menurunkan kualitas layanan jaringan yang ditunjukkan oleh meningkatnya *latency*, menurunnya *throughput*, serta terganggunya akses pengguna terhadap layanan internet. Penurunan kualitas layanan jaringan tersebut dapat diukur menggunakan parameter Quality of Service (QoS) seperti *throughput*, *latency*, *packet loss*, dan *availability* sebagaimana dijelaskan oleh Kurose & Ross (2020) serta dibuktikan pada penelitian Prasetyo et al. (2024) mengenai evaluasi performa jaringan multi-ISP menggunakan Mikrotik RouterOS.

Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan untuk meningkatkan keandalan jaringan adalah penggunaan beberapa penyedia layanan internet (*multi-ISP*) yang dipadukan dengan mekanisme *load balancing* dan *failover*. *Load balancing* berfungsi mendistribusikan lalu lintas jaringan secara lebih merata ke beberapa jalur koneksi sehingga pemanfaatan bandwidth menjadi lebih optimal dan beban trafik tidak terpusat pada satu ISP. Sementara itu, *failover* berfungsi sebagai mekanisme redundansi yang secara otomatis mengalihkan koneksi ke jalur cadangan ketika jalur utama mengalami gangguan, sehingga kontinuitas layanan tetap terjaga dan waktu henti (*downtime*) dapat diminimalkan.

Mikrotik RouterOS merupakan salah satu sistem operasi jaringan yang banyak digunakan karena menyediakan berbagai fitur yang mendukung implementasi *load balancing*, *failover*, *routing*, *firewall*, serta manajemen bandwidth dengan biaya yang relatif terjangkau. Berbagai metode *load balancing* telah dikembangkan pada Mikrotik RouterOS, salah satunya adalah *Per Connection Classifier* (PCC), yang mampu mendistribusikan koneksi berdasarkan karakteristik tertentu sehingga menghasilkan pembagian trafik yang lebih seimbang. Kombinasi metode PCC dengan mekanisme *failover* diharapkan mampu membangun sistem

jaringan yang memiliki tingkat ketersediaan tinggi (*high availability*) dan tetap beroperasi ketika salah satu jalur ISP mengalami kegagalan.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa implementasi *load balancing* maupun *failover* mampu meningkatkan kualitas layanan jaringan. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penerapan salah satu mekanisme secara terpisah atau hanya mengevaluasi sebagian parameter *Quality of Service* (QoS). Selain itu, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan metode *load balancing* berbasis PCC dengan mekanisme *failover* pada lingkungan jaringan *multi-ISP* serta mengevaluasi kinerjanya berdasarkan parameter *throughput*, *latency*, dan *downtime* secara terpadu.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja implementasi *load balancing* menggunakan metode *Per Connection Classifier* (PCC) dan *failover* pada Mikrotik RouterOS dalam lingkungan jaringan *multi-ISP*. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan eksperimental dengan mengukur parameter *throughput*, *latency*, dan *downtime* sebelum dan sesudah penerapan mekanisme tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi konfigurasi jaringan yang lebih andal, efisien, serta mampu mendukung implementasi layanan internet dengan tingkat ketersediaan tinggi (*high availability*) pada lingkungan organisasi maupun institusi.

2. KAJIAN TEORITIS

Load Balancing

Load balancing merupakan teknik pendistribusian lalu lintas jaringan ke beberapa jalur koneksi atau sumber daya secara seimbang untuk mengoptimalkan penggunaan bandwidth, meningkatkan kinerja jaringan, serta mengurangi risiko terjadinya kemacetan (*network congestion*). Menurut Forouzan (2017), *load balancing* bertujuan membagi beban trafik agar tidak terpusat pada satu jalur komunikasi sehingga proses pertukaran data dapat berlangsung lebih efisien dan stabil.

Pada implementasi jaringan berbasis Mikrotik RouterOS, terdapat beberapa metode *load balancing* yang umum digunakan, antara lain *Equal Cost Multi Path* (ECMP), *Nth Method*, dan *Per Connection Classifier* (PCC). Metode PCC merupakan salah satu metode yang banyak diterapkan karena mampu mendistribusikan koneksi berdasarkan kombinasi alamat sumber (*source address*), alamat tujuan (*destination address*), serta nomor port menggunakan mekanisme *hashing*. Dengan pendekatan tersebut, distribusi trafik menjadi lebih merata sehingga mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan bandwidth dan menjaga kestabilan koneksi.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode PCC memberikan performa yang lebih baik dibandingkan metode konvensional, khususnya pada lingkungan jaringan yang memanfaatkan lebih dari satu penyedia layanan internet (*multi-ISP*). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode PCC sebagai mekanisme *load balancing* untuk mengoptimalkan distribusi trafik pada jaringan yang dibangun.

Failover

Failover merupakan mekanisme redundansi jaringan yang berfungsi mengalihkan jalur komunikasi secara otomatis dari koneksi utama menuju koneksi cadangan ketika terjadi gangguan pada salah satu jalur. Menurut Kurose dan Ross (2020), mekanisme *failover* merupakan bagian dari strategi *high availability* yang bertujuan menjaga kontinuitas layanan sehingga pengguna tetap dapat mengakses jaringan meskipun terjadi kegagalan pada perangkat atau jalur komunikasi.

Pada Mikrotik RouterOS, implementasi *failover* dapat dilakukan melalui beberapa metode, seperti *Routing Distance*, *Recursive Gateway*, *Netwatch*, dan *Script Scheduler*. Dalam penelitian ini digunakan metode *Recursive Gateway* karena mampu melakukan pemantauan terhadap kondisi *gateway* utama secara berkelanjutan. Apabila koneksi utama terdeteksi mengalami gangguan, sistem akan secara otomatis mengaktifkan jalur cadangan tanpa memerlukan intervensi administrator jaringan.

Implementasi *failover* memiliki peran penting dalam meminimalkan *downtime* serta menjaga keberlangsungan layanan internet, terutama pada jaringan yang membutuhkan tingkat ketersediaan tinggi (*high availability*).

Mikrotik RouterOS

Mikrotik RouterOS merupakan sistem operasi berbasis Linux yang dikembangkan oleh MikroTik Ltd. untuk menyediakan berbagai layanan jaringan, seperti *routing*, *firewall*, *Virtual Private Network* (VPN), *bandwidth management*, *hotspot*, *monitoring*, serta implementasi *load balancing* dan *failover*. Fleksibilitas konfigurasi dan biaya implementasi yang relatif rendah menjadikan RouterOS banyak digunakan pada lingkungan pendidikan, pemerintahan, perusahaan, maupun penyedia layanan internet skala kecil hingga menengah.

Menurut dokumentasi resmi MikroTik (2023), RouterOS mendukung berbagai metode *routing* serta mekanisme manajemen trafik yang memungkinkan administrator jaringan membangun sistem jaringan dengan tingkat keandalan tinggi. Dalam penelitian ini, RouterOS digunakan sebagai pusat pengelolaan jaringan (*gateway*) yang mengatur distribusi trafik menggunakan metode PCC sekaligus menjalankan mekanisme *failover* ketika salah satu jalur ISP mengalami gangguan.

Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) merupakan konsep yang digunakan untuk mengukur kualitas layanan suatu jaringan berdasarkan parameter performa tertentu. QoS memberikan gambaran mengenai kemampuan jaringan dalam menyediakan layanan komunikasi data secara efektif, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Parameter QoS yang umum digunakan meliputi *throughput*, *latency*, *jitter*, *packet loss*, dan *availability*. Namun, penelitian ini hanya menggunakan tiga parameter utama, yaitu *throughput*, *latency*, dan *downtime*. Ketiga parameter tersebut dipilih karena mampu merepresentasikan tingkat keandalan jaringan setelah implementasi *load balancing* dan *failover*. Nilai *throughput* digunakan untuk mengukur kemampuan jaringan dalam mentransmisikan data, *latency* digunakan untuk mengetahui waktu tunda pengiriman paket, sedangkan *downtime* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem mempertahankan kontinuitas layanan ketika salah satu koneksi ISP mengalami gangguan.

Packet Loss

Packet loss merupakan salah satu parameter Quality of Service (QoS) yang menunjukkan persentase paket data yang hilang selama proses transmisi dari pengirim menuju penerima. Kehilangan paket dapat terjadi akibat kemacetan jaringan (*network congestion*), gangguan pada media transmisi, kesalahan konfigurasi perangkat jaringan, maupun keterbatasan kapasitas bandwidth. Menurut Kurose dan Ross (2020), semakin kecil nilai packet loss, semakin baik kualitas jaringan karena menunjukkan bahwa proses pengiriman data berlangsung secara andal dan efisien.

Nilai packet loss dinyatakan dalam bentuk persentase (%) yang dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah paket yang dikirim dengan jumlah paket yang berhasil diterima. Semakin tinggi persentase packet loss, semakin besar kemungkinan terjadinya penurunan kualitas layanan jaringan, terutama pada aplikasi yang memerlukan komunikasi secara real-time seperti video conference, Voice over Internet Protocol (VoIP), dan online gaming. Sebaliknya, nilai packet loss yang mendekati 0% menunjukkan bahwa proses transmisi data berlangsung dengan sangat baik.

Pada penelitian ini, parameter packet loss digunakan sebagai indikator tambahan untuk mengevaluasi stabilitas jaringan setelah penerapan mekanisme *load balancing* menggunakan metode Per Connection Classifier (PCC) dan *failover* pada Mikrotik RouterOS. Nilai packet loss yang rendah diharapkan menunjukkan bahwa distribusi trafik yang lebih merata mampu mengurangi kemacetan jaringan sehingga proses pengiriman paket tetap berlangsung secara optimal.

High Availability Network

High Availability Network (HAN) merupakan konsep perancangan jaringan yang bertujuan menjaga tingkat ketersediaan layanan (*availability*) agar tetap tinggi meskipun terjadi gangguan pada salah satu komponen sistem. Menurut Bahrul Ilham dan Setiawan (2023), jaringan dengan konsep *high availability* dirancang untuk meminimalkan waktu henti (*downtime*) melalui penerapan mekanisme redundansi baik pada perangkat maupun jalur komunikasi.

Implementasi *high availability* pada penelitian ini diwujudkan melalui integrasi metode *load balancing* dan *failover* pada jaringan *multi-ISP*. *Load balancing* berfungsi mengoptimalkan pemanfaatan bandwidth dengan mendistribusikan trafik ke beberapa jalur koneksi, sedangkan *failover* menjaga kontinuitas layanan dengan mengalihkan koneksi ke jalur cadangan ketika jalur utama mengalami kegagalan. Kombinasi kedua mekanisme tersebut diharapkan mampu meningkatkan keandalan jaringan serta mendukung layanan internet yang lebih stabil dan berkesinambungan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis kinerja implementasi *load balancing* dan *failover* pada Mikrotik RouterOS dalam lingkungan jaringan *multi-ISP*. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengujian secara langsung terhadap performa jaringan pada berbagai kondisi operasional, baik pada saat jaringan berfungsi normal maupun ketika salah satu jalur ISP mengalami gangguan. Melalui metode ini, efektivitas konfigurasi yang diterapkan dapat dievaluasi secara objektif berdasarkan parameter kinerja jaringan.

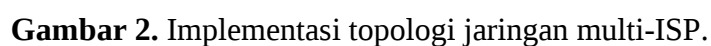
Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur dan analisis kebutuhan sistem, dilanjutkan dengan perancangan topologi jaringan *multi-ISP*, implementasi konfigurasi *load balancing* menggunakan metode *Per Connection Classifier* (PCC), serta penerapan mekanisme *failover* menggunakan *Recursive Gateway* pada Mikrotik RouterOS. Setelah konfigurasi selesai, dilakukan pengujian jaringan untuk memperoleh data performa sebelum dan sesudah implementasi kedua mekanisme tersebut.

Pengujian dilakukan menggunakan perangkat Mikrotik RouterOS, aplikasi Winbox sebagai media konfigurasi, *Speedtest CLI* untuk pengukuran *throughput*, serta utilitas *ping* untuk mengukur *latency*. Selain itu, dilakukan simulasi pemutusan salah satu koneksi ISP guna mengevaluasi kemampuan mekanisme *failover* dalam mempertahankan kontinuitas layanan. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini meliputi *throughput*, *latency*, dan *downtime*.



Perancangan Topologi Jaringan Multi ISP

Tahap perancangan difokuskan pada perancangan sistem jaringan yang akan digunakan dalam penelitian.



Implementasi *Failover* (*Recursive gateway*)

Implementasi *Failover* dilakukan menggunakan metode *Recursive Routing* pada *Mikrotik RouterOS*.

Metode *Recursive Routing* digunakan untuk memantau status koneksi internet secara tidak langsung melalui alamat target tertentu. Pada penelitian ini, sistem memeriksa ketersediaan jalur internet secara berkala.

Apabila jalur utama mengalami gangguan atau gateway tidak dapat dijangkau, maka *Router Mikrotik* secara otomatis akan memindahkan trafik menuju ISP cadangan. Konfigurasi *Failover* dilakukan dengan:

- Menentukan *gateway* utama dan *gateway* cadangan.
- Mengatur *distance routing*.
- Menambahkan *check-gateway*.
- Membuat *recursive route*.

Pada implementasi ini:

- ISP1* digunakan sebagai jalur utama.
- ISP2* digunakan sebagai jalur cadangan.

Ketika *ISP1* dalam kondisi normal, seluruh trafik utama melewati *ISP1*. Namun ketika koneksi *ISP1* terputus, maka sistem secara otomatis mengalihkan trafik menuju *ISP2*.

	Dest Address	Gateway	Distance	Scope	Target Scope	Routing
AS	0.0.0.0	8.8.8.8 recursive via 192.168.200.1 ether1-ISP 1 UTAMA	1	30	30 ke-ISP1	
AS	0.0.0.0	1.1.1.1 recursive via 192.168.22.1 ether2-ISP 2 CADANGAN	1	30	30 ke-ISP2	
B	0.0.0.0	192.168.200.1 reachable ether1-ISP 1 UTAMA	2	30	10 ke-ISP2	
B	0.0.0.0	192.168.22.1 reachable ether2-ISP 2 CADANGAN	2	30	10 ke-ISP1	
AS	1.1.1.1	192.168.22.1 reachable ether2-ISP 2 CADANGAN	1	30	10	
AS	8.8.8.8	192.168.200.1 reachable ether1-ISP 1 UTAMA	1	30	10	
DAC	10.20.30.0/24	bridge1-AN reachable	0	10	10	
DAC	192.168.22.0/24	ether2-ISP 2 CADANGAN reachable	0	10	10	
DAC	192.168.200.0/24	ether1-ISP 1 UTAMA reachable	0	10	10	

Gambar 4. Implementasi Konfigurasi *Failover* Jaringan.

Pengujian Kinerja Jaringan

Pengujian dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kinerja jaringan berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu *throughput*, *latency*, dan kemampuan sistem dalam melakukan perpindahan jalur (*failover*) ketika salah satu koneksi ISP mengalami gangguan. Data diperoleh menggunakan perangkat lunak pengujian jaringan seperti *Speedtest CLI*, *Ping Test*, dan fitur monitoring yang tersedia pada *Mikrotik RouterOS*.

Data penelitian dibedakan menjadi dua kondisi pengujian, yaitu kondisi sebelum implementasi *load balancing* dan *failover* (*single ISP*) serta kondisi setelah implementasi *load*

balancing dan *failover* (*multi-ISP*). Perbandingan kedua kondisi tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh penerapan metode yang digunakan terhadap performa jaringan.

Tabel 1. Parameter Pengujian.

No	Parameter Pengujian	Satuan	Tujuan Pengukuran
1	<i>Throughput</i>	Mbps	Mengukur kapasitas transfer data jaringan
2	<i>Latency</i>	ms	Mengukur waktu respons jaringan
3	<i>Downtime Failover</i>	Detik	Mengukur waktu perpindahan koneksi saat terjadi gangguan
4	Status Koneksi	Aktif/Tidak Aktif	Mengetahui keberhasilan mekanisme failover

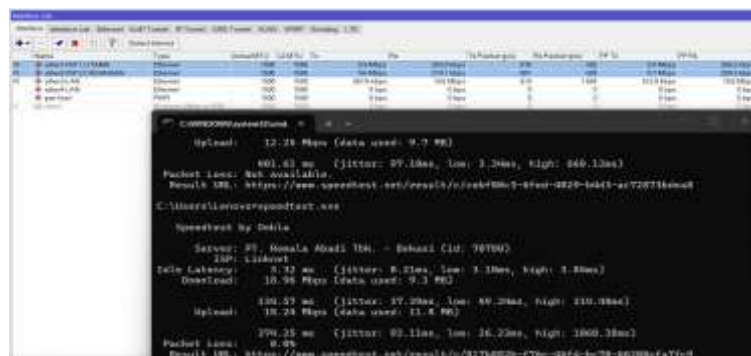
Pengujian *Throughput*

Pengujian *throughput* dilakukan untuk mengetahui kemampuan jaringan dalam mentransmisikan data setelah diterapkan *Load Balancing* dan *Failover*. Pengujian dilakukan menggunakan aplikasi *Speedtest CLI* pada dua kondisi jaringan, yaitu:

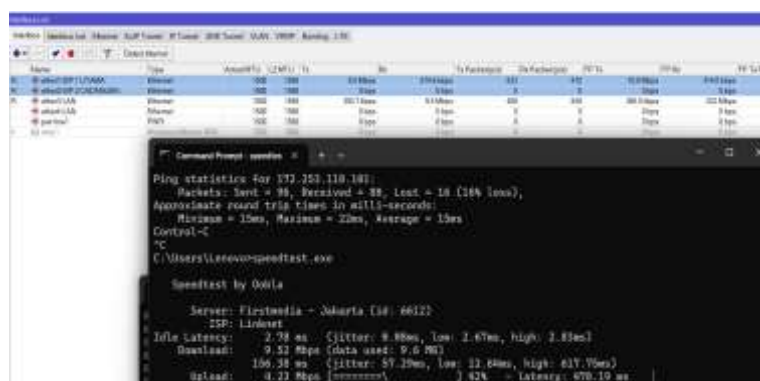
- Saat menggunakan *Single ISP*.
- Saat menggunakan *Load Balancing* dan *Failover*.

Berdasarkan hasil pengujian pada kondisi *single ISP* diperoleh *throughput* sebesar 8 Mbps sampai 9 Mbps. Sedangkan setelah diterapkan *Load Balancing* dan *Failover* menggunakan metode *PCC*, *throughput* meningkat menjadi 16 Mbps sampai 18 Mbps.

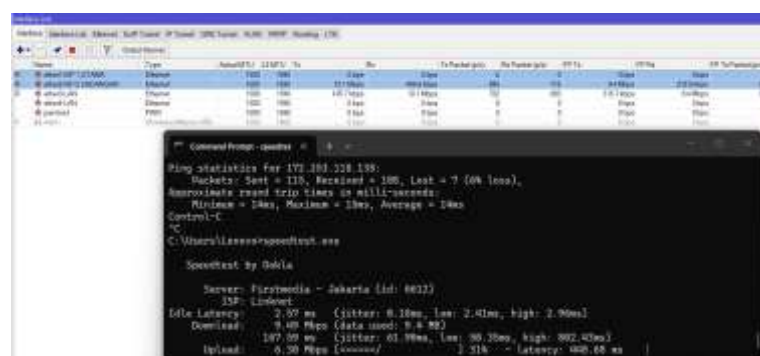
Pengujian *throughput* dilakukan sebanyak beberapa kali pada kondisi jaringan yang sama untuk memperoleh nilai rata-rata performa jaringan. Pengujian dilakukan menggunakan aplikasi *Speedtest CLI* dengan server pengujian yang sama agar hasil pengukuran lebih konsisten. Tabel hasil pengujian *throughput* ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 5. Uji *throughput* load balance dan failover aktif.



Gambar 6. Uji *throughput* ISP 1 Aktif ISP 2 Down.



Gambar 7. Uji *throughput* ISP 2 Aktif ISP 1 Down.

Peningkatan *throughput* menunjukkan bahwa metode *PCC* mampu memanfaatkan *bandwidth* dari kedua ISP secara bersamaan sehingga kapasitas total jaringan meningkat dibandingkan penggunaan *single ISP*.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Troughput*.

Kondisi Jaringan	Throughput
<i>Load Balancing</i> dan <i>Failover</i>	17 – 18 Mbps
ISP 1 Up namun ISP 2 Down	4 – 9 Mbps
ISP 2 Up namun ISP 1 Down	6 – 9 Mbps

Selain itu, distribusi trafik yang merata juga membantu mengurangi kepadatan trafik pada satu jalur ISP. Hasil pengujian *throughput* jaringan pada empat kondisi koneksi internet menggunakan metode *Load Balancing* dan *Failover PCC* pada *MikroTik*.

Point Penting Hasil Pengujian

Load Balancing + Failover

- Throughput* meningkat menjadi 16 – 18 Mbps.
- Kedua ISP digunakan secara bersamaan sehingga koneksi lebih cepat dan stabil.
- Menjadi kondisi dengan performa terbaik.

ISP 1 Aktif, ISP 2 Down

- Throughput* tetap berjalan pada kisaran 4 – 9 Mbps.
- Sistem *failover* bekerja dengan baik karena koneksi otomatis dialihkan ke ISP

ISP 2 Aktif, ISP 1 Down

- Throughput* berada pada kisaran 6 – 9 Mbps.
- Koneksi internet tetap tersedia walaupun ISP 1 mengalami gangguan.

Analisis Singkat

- Metode *PCC* berhasil meningkatkan performa jaringan dibandingkan penggunaan satu ISP.
- Failover* mampu menjaga koneksi tetap aktif saat salah satu ISP mati.
- Nilai *packet loss* tetap 0.0%, menandakan koneksi jaringan stabil.

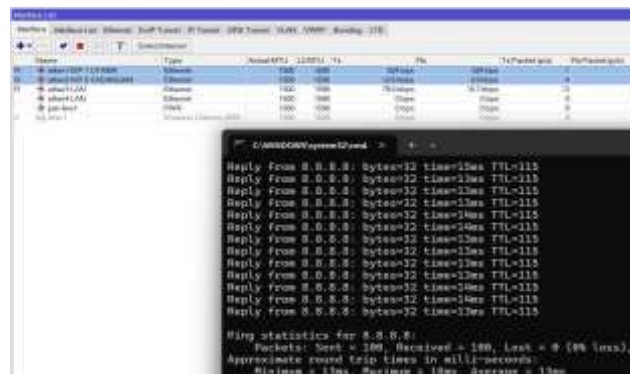
Pengujian Latency dan Packet Loss

Pengujian *latency* dan *packet loss* dilakukan menggunakan metode *Speedtest CLI* ke alamat Server ISP. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu:

- Saat menggunakan ISP 1 Aktif ISP 2 Down dan ISP 2 Aktif ISP 1 Down
- Saat menggunakan *Load Balancing* dan *Failover*.

Pada kondisi *Load Balancing* dan *Failover* diperoleh hasil:

- Min *latency* : 13 ms, Max *latency* : 18 ms, Avg *latency* : 13 ms
- Packet loss* : 0%



Gambar 8. Uji Latency *Load Balancing* dan *Failover*.

Hasil pengujian pada kondisi ISP 1 Aktif ISP 2 Down menunjukkan:

- Min *latency* : 13 ms, Max *latency* : 87 ms, Avg *latency* : 15 ms
- Packet loss* : 0%



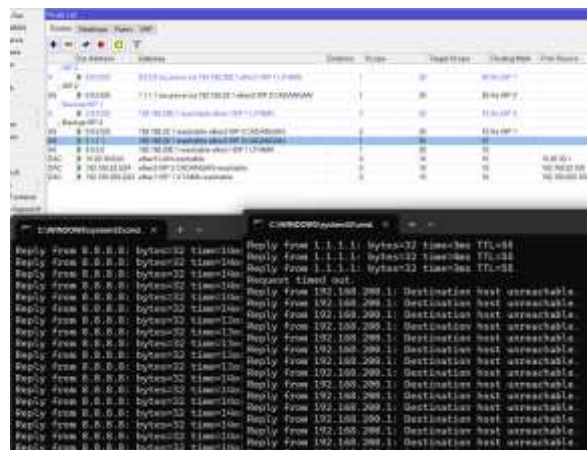
Per

memutus salah satu koneksi ISP untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mempertahankan koneksi internet. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi:

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, kedua ISP berada dalam keadaan aktif sehingga sistem *Load Balancing* berjalan dengan baik. Trafik internet didistribusikan secara otomatis ke kedua jalur ISP. Seluruh perangkat *client* dapat mengakses internet dengan normal tanpa gangguan koneksi.

Pengujian ISP1 Down



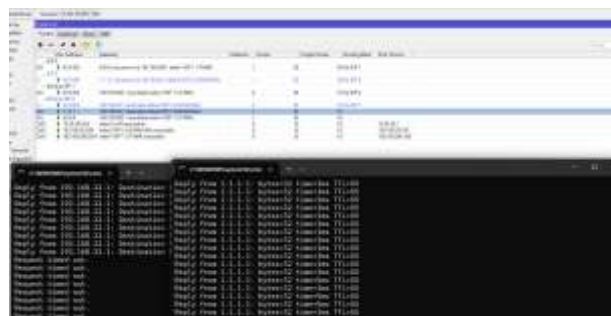
Gambar 11. Pengujian Failover ISP1 Down.

Pada tahap ini dilakukan pemutusan koneksi *ISP1* untuk menguji mekanisme *Failover*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Router Mikrotik* secara otomatis memindahkan trafik ke *ISP2*.
- Client* tetap dapat mengakses internet.
- Tidak terjadi disconnect yang signifikan.
- Status koneksi tetap normal.

Throughput yang diperoleh pada kondisi ini berkisar antara 59 Mbps sampai 82 Mbps.

Pengujian ISP2 Down



Gambar 12. Pengujian Failover ISP2 Down.

Pada pengujian ini koneksi *ISP2* diputus untuk melihat respon sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Trafik otomatis dialihkan ke *ISP1*.
- Koneksi internet *client* tetap berjalan.
- Sistem *Failover* berjalan sesuai konfigurasi.

Throughput yang diperoleh pada kondisi ini berkisar antara 61 Mbps sampai 74 Mbps. Hasil pengujian *Failover* membuktikan bahwa mekanisme *Recursive Routing* mampu menjaga kontinuitas layanan internet ketika salah satu ISP mengalami gangguan.

Pengujian Downtime Jaringan

Pengujian *downtime* dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat sistem jaringan dapat melakukan perpindahan koneksi (*failover*) ketika salah satu jalur ISP mengalami gangguan. Pengujian dilakukan dengan cara memutus koneksi ISP utama secara manual kemudian mengamati waktu perpindahan trafik menuju ISP cadangan.

Tabel 4. Pengujian *Failover*.

Kondisi Pengujian	Downtime
ISP1 UP → ISP2 DOWN	0–1detik
ISP2 UP → ISP1 DOWN	0–1 detik

Berdasarkan hasil pengujian, proses *failover* berlangsung secara otomatis dengan waktu perpindahan koneksi berkisar antara 1-2 detik. Selama proses perpindahan tersebut, koneksi internet pada sisi client tetap dapat digunakan meskipun terjadi delay singkat pada beberapa request jaringan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme *recursive routing* pada *Mikrotik RouterOS* mampu meminimalkan *downtime* jaringan sehingga kontinuitas layanan internet tetap terjaga ketika salah satu ISP mengalami gangguan.

Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, penerapan *Load Balancing* dan *Failover* pada *Mikrotik RouterOS* memberikan peningkatan performa jaringan dibandingkan penggunaan *single ISP*.

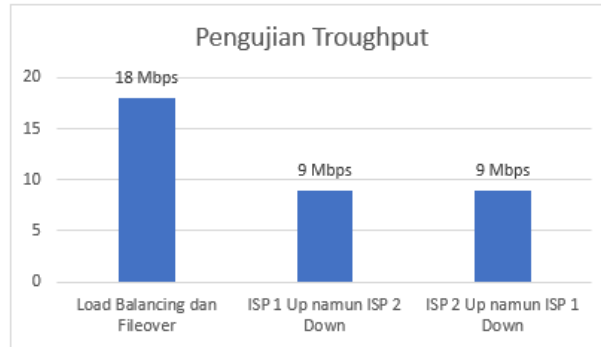
Tabel 5. Hasil Seluruh Pengujian.

No	Kondisi Jaringan	<i>Throughput</i> (Mbps)	<i>Latency</i> Maksimum (ms)	<i>Downtime</i> <i>Failover</i> (Detik)
1	<i>Multi-ISP</i> (<i>Load Balancing</i>)	17–18	18	-
2	ISP1 Aktif ISP 2 Down	4 - 9	87	0 - 1
3	ISP2 Aktif ISP 1 Down	6 - 9	17	0 - 1

Analisis hasil pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut:

Analisis Throughput

Pada Gambar 4.12 terjadi peningkatan *throughput* dari 4–9 Mbps menjadi 17–18 Mbps setelah diterapkan *Load Balancing PCC*.



Gambar 13. Grafik Pengujian *Troughput*.

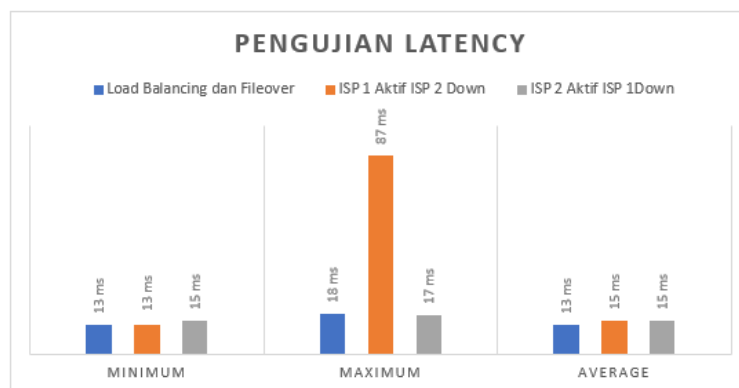
Sumber: Hasil Pengujian Peneliti (2026).

Hal ini menunjukkan bahwa kedua jalur ISP dapat digunakan secara bersamaan sehingga kapasitas *bandwidth* menjadi lebih besar dan distribusi trafik lebih optimal.

Analisis Latency

Pada Gambar ini Nilai maksimum *latency* mengalami penurunan dari 87 ms menjadi sekitar 18 ms. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa:

- Beban trafik menjadi lebih seimbang.
- Kemacetan jaringan dapat dikurangi.
- Stabilitas koneksi meningkat.



Gambar 14. Grafik Pengujian *Latency*.

Sumber: Hasil Pengujian Peneliti (2026).

Walaupun nilai rata-rata *latency* sedikit berubah, namun koneksi menjadi lebih konsisten dan tidak mengalami lonjakan delay yang besar.

Analisis Packet Loss

Selama pengujian tidak ditemukan *packet au* yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas koneksi internet berada dalam kondisi baik dan proses *routing* berjalan stabil.

Analisis Failover

Mekanisme *Failover Recursive Routing* berhasil menjaga koneksi internet tetap aktif ketika salah satu ISP mengalami gangguan. Sistem mampu melakukan perpindahan gateway secara otomatis tanpa perlu konfigurasi manual. Dengan adanya *Failover*, *downtime* jaringan dapat diminimalkan sehingga aktivitas *client* tetap berjalan normal.

Analisis Efektivitas Sistem

Secara keseluruhan, implementasi *Load Balancing* dan *Failover* pada *Mikrotik RouterOS* terbukti efektif dalam:

- a. Meningkatkan performa jaringan.
- b. Mengoptimalkan penggunaan *bandwidth*.
- c. Menjaga kestabilan koneksi.
- d. Mengurangi *downtime*.
- e. Meningkatkan keandalan jaringan *multi-ISP*.

Pembahasan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, penerapan load balancing menggunakan metode Per Connection Classifier (PCC) yang dikombinasikan dengan mekanisme failover Recursive Gateway pada Mikrotik RouterOS terbukti mampu meningkatkan kualitas layanan jaringan dibandingkan dengan penggunaan satu jalur ISP. Peningkatan tersebut terlihat dari nilai throughput yang lebih tinggi, latency yang lebih stabil, serta kemampuan sistem mempertahankan konektivitas ketika salah satu jalur internet mengalami gangguan.

Pembahasan Throughput

Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi metode PCC mampu meningkatkan nilai throughput dibandingkan kondisi ketika jaringan hanya menggunakan satu ISP. Peningkatan ini terjadi karena metode PCC membagi koneksi berdasarkan mekanisme hashing terhadap source address dan destination address sehingga distribusi trafik menjadi lebih merata. Dengan pembagian beban tersebut, kedua jalur ISP dapat dimanfaatkan secara bersamaan sehingga kapasitas bandwidth yang tersedia meningkat dan kemacetan pada satu jalur dapat diminimalkan.

Pada kondisi ketika salah satu ISP mengalami gangguan, throughput memang mengalami penurunan dibandingkan kondisi kedua ISP aktif. Namun demikian, nilai throughput masih

berada pada tingkat yang cukup baik sehingga aktivitas akses internet tetap dapat berlangsung. Hal tersebut menunjukkan bahwa mekanisme failover mampu mempertahankan kontinuitas layanan meskipun kapasitas bandwidth menyesuaikan dengan kemampuan ISP yang masih aktif.

Pembahasan Latency

Berdasarkan hasil pengujian latency diperoleh bahwa implementasi load balancing mampu menghasilkan nilai latency yang lebih stabil dibandingkan kondisi sebelum penerapan multi-ISP. Penurunan nilai latency maksimum menunjukkan bahwa distribusi trafik yang lebih merata berhasil mengurangi antrean paket (queue) pada jalur komunikasi sehingga waktu tunda pengiriman data menjadi lebih kecil. Kondisi ini memberikan dampak positif terhadap kualitas layanan terutama pada aplikasi yang membutuhkan komunikasi secara real-time seperti konferensi video, pembelajaran daring, dan layanan berbasis cloud.

Pembahasan Failover

Implementasi mekanisme failover menggunakan Recursive Gateway berhasil mempertahankan konektivitas jaringan ketika salah satu ISP mengalami gangguan. Router Mikrotik secara otomatis mendeteksi kegagalan gateway utama dan mengalihkan seluruh trafik menuju jalur cadangan tanpa memerlukan konfigurasi ulang pada sisi pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu perpindahan koneksi berlangsung sekitar 0–1 detik sehingga tidak menyebabkan terputusnya koneksi internet secara signifikan. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang tinggi (high availability) karena mampu mempertahankan layanan meskipun terjadi kegagalan pada salah satu jalur komunikasi.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Fathurrohman dan Basuki (2025) yang menyatakan bahwa metode PCC mampu meningkatkan efisiensi distribusi trafik pada jaringan multi-ISP melalui mekanisme pembagian koneksi secara seimbang. Selain itu, penelitian ini juga mendukung hasil penelitian Yuliandi (2025) yang menunjukkan bahwa implementasi failover berbasis Mikrotik mampu meningkatkan kontinuitas layanan ketika salah satu ISP mengalami gangguan.

Perbedaan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya terletak pada integrasi metode PCC sebagai mekanisme load balancing dengan Recursive Gateway sebagai mekanisme failover pada satu sistem jaringan multi-ISP. Selain mengevaluasi peningkatan throughput dan stabilitas latency, penelitian ini juga mengukur downtime ketika proses

perpindahan jalur berlangsung sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai tingkat keandalan jaringan.

Kontribusi Penelitian

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi metode PCC dan Recursive Gateway mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan bandwidth, menjaga stabilitas latency, serta mempertahankan kontinuitas layanan internet ketika salah satu koneksi ISP mengalami kegagalan. Temuan ini memberikan kontribusi praktis bagi institusi pendidikan, perkantoran, maupun organisasi yang memanfaatkan lebih dari satu penyedia layanan internet dalam membangun jaringan dengan tingkat ketersediaan tinggi (high availability).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: (a)

Jaringan *multi-ISP* berbasis *Mikrotik RouterOS* berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan dua penyedia layanan internet (ISP) dalam satu sistem jaringan. Implementasi ini mampu mengurangi ketergantungan terhadap satu jalur internet sehingga tingkat keandalan layanan jaringan menjadi lebih baik dibandingkan penggunaan *single ISP*.

Mekanisme *failover* yang diterapkan pada *Mikrotik RouterOS* dapat berfungsi dengan baik sebagai jalur cadangan otomatis ketika salah satu ISP mengalami gangguan. Berdasarkan hasil pengujian, proses perpindahan koneksi berlangsung secara otomatis dengan waktu downtime berkisar antara 0–1 detik sehingga konektivitas internet tetap terjaga.

Metode *load balancing* menggunakan *Per Connection Classifier (PCC)* berhasil mendistribusikan trafik internet secara lebih merata pada kedua jalur ISP. Penerapan metode ini mampu mengoptimalkan penggunaan *bandwidth* sehingga kapasitas jaringan dapat dimanfaatkan secara lebih efektif.

Implementasi jaringan *multi-ISP* menggunakan *Mikrotik RouterOS* memberikan pemahaman teknis mengenai proses konfigurasi *load balancing* dan *failover*, mulai dari pengaturan antarmuka jaringan, konfigurasi routing, pembuatan aturan *mangle*, hingga penerapan mekanisme *recursive routing* sebagai pendukung *failover*.

Hasil analisis kinerja menunjukkan bahwa penerapan *load balancing* dan *failover* memberikan peningkatan performa jaringan. Pada kondisi *load balancing* aktif, nilai *throughput* meningkat menjadi 17–18 Mbps dibandingkan kondisi ketika hanya satu ISP yang

aktif, sedangkan nilai *latency* maksimum berhasil ditekan hingga 18 ms. Selain itu, mekanisme *failover* mampu menjaga kontinuitas layanan internet ketika salah satu jalur ISP mengalami gangguan. Dengan demikian, implementasi load balancing dan failover pada *Mikrotik RouterOS* terbukti efektif dalam meningkatkan performa, stabilitas, dan keandalan jaringan multi-ISP.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, antara lain: (a) Penelitian selanjutnya dapat menggunakan lebih dari dua ISP agar proses distribusi trafik dan mekanisme *failover* menjadi lebih optimal. (b) Pengembangan sistem dapat dilakukan dengan menambahkan metode manajemen *bandwidth* seperti *Queue Tree* atau *Quality of Service (QoS)* untuk meningkatkan kualitas layanan jaringan. (c) Pengujian jaringan dapat dilakukan dalam skala yang lebih besar dengan jumlah *client* yang lebih banyak sehingga hasil penelitian menjadi lebih kompleks dan akurat. (d) Penelitian berikutnya dapat menambahkan sistem monitoring jaringan secara *real-time* menggunakan aplikasi monitoring seperti *The Dude*, *PRTG*, atau *Zabbix*.

Implementasi keamanan jaringan seperti *firewall filtering*, *VPN*, dan sistem deteksi serangan jaringan dapat ditambahkan untuk meningkatkan keamanan sistem jaringan *multi-ISP*.

DAFTAR REFERENSI

- B. Yuliandi, "Optimizing Network Uptime Through Dual ISP Failover Implementation Using Netwatch," *J. Informatic, Educ. Manag.*, vol. 7, no. 2, pp. 336–349, 2025.
- Bahrul Ilham, & Setiawan. (2023). *Implementasi High Availability Network Menggunakan Failover pada Router Mikrotik*. Jurnal Informatika.
- ITU-T Recommendation Y.1541, (2026). Network Performance Objectives for IP-Based Services. AI for Good Global Summit dan WSIS Forum 2026 telah menutup Pekan Digital Jenewa yang bersejarah.<https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>.
- Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2020). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (8th Edition). Pearson.
- M. F. Darmawan and S. Risnanto, "Implementasi Failover Gateway Recursive Dan Load Balancing Menggunakan Metode Per Connection Classifier," *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 8, no. 2, pp. 56–66, 2023.
- M. Fajarruddin, "Implementasi Load Balancing Dengan Menggunakan Mikrotik Pada PT. Pos Indonesia KCU Banjarmasin," *J. Repos.*, vol. 7, no. 1, 2025.

- M. Fathurrohim and A. Basuki, "Evaluation of Traffic Distribution Performance of ECMP and PCC+ CAKE for Multi-ISP Load Balancing on Real Networks Based on Mikrotik," *Kinet. Game Technol. Inf. Syst. Comput. Network, Comput. Electron. Control*, 2025.
- M. N. Ahmadi, D. Risqiwati, and B. F. Muthohirin, "Optimizing MikroTik Networks Using PCC Load Balancing with the PPDIOO Approach," *J. Algoritm.*, vol. 22, no. 2, pp. 632–643, 2025.
- M. Wahyuni, "Implementasi Load Balancing Menggunakan Mikrotik (Studi Kasus: Sekretariat Daerah Kab. Kapuas)," 2025, *Universitas Muhammadiyah Malang*.
- M. Y. Fardiansyah and A. Nugroho, "Optimasi Jaringan Internet Menggunakan Kombinasi Load Balancing Dan Queue Pada Router Mikrotik," *Elektrika*, vol. 16, no. 2, pp. 76–83, 2024.
- MikroTik (2023). MikroTik RouterOS Documentation. <https://manual.mikrotik.com/docs/introduction>
- R. G. Ediyasanto and T. Hardiani, "Implementasi Policy Based Routing Untuk Load Balancing Dan Failover Koneksi Internet Di Rsa Ugm," *Jati (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 9, no. 2, pp. 2930–2936, 2025.
- R. Hendriks, M. Jonker, R. van Rijswijk-Deij, and R. Sommesse, "Load-Balancing versus Anycast: A First Look at Operational Challenges," *arXiv Prepr. arXiv2503.14351*, 2025.
- S. Arifin and A. Prihanto, "Optimalisasi Jaringan wireless dan Fiber Optik dengan Load Balance Metode PCC di Puskesmas Karas Kabupaten Magetan," *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 7, no. 01, pp. 102–112, 2025.
- S. Sarohe, S. Harit, and M. Kumar, "A Systematic and Comprehensive Survey of Load Balancing Techniques in Software Defined Network Based Internet of Things," *Comput. Networks*, p. 111412, 2025.
- Siregar, A., dkk. (2023). *Implementasi Load Balancing Menggunakan Metode PCC pada Jaringan Multi ISP*. Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer.
- Y. Morib, N. S. Irjanto, and R. H. Kiswanto, "Analisis Quality of Service (Qos) Jaringan Internet Pada Universitas Sepuluh Nopember Papua," *Jutisi J. Ilm. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 14, no. 1, 2025.