

PENINGKATAN STABILITAS JARINGAN MELALUI REDUNDANSI DUAL ISP DENGAN METODE LOAD BALANCING PCC DAN FAILOVER PADA PT. XYZ

Muhamad Fahrizal Praditya¹, Tri Nur Arifins²
^{1,2}Universitas Dian Nusantara, Jakarta Barat, Indonesia
Email: 41119029@mahasiswa.undira.ac.id

ABSTRACT

In the digital era where connectivity is crucial, stable internet access is essential for companies operating in the service sector, including PT. XYZ. Reliance on a single Internet Service Provider (ISP) has led to various issues such as connection disruptions and downtime, which negatively impact business operations and customer service quality. This research aims to implement a network redundancy solution using dual ISPs, utilizing the Border Gateway Protocol (BGP) and failover methods to enhance internet connection quality. The proposed method involves designing a dual ISP system with a Load Balancing approach using Per Connection Classifier (PCC), along with implementing failover mechanisms to ensure uninterrupted connectivity when one ISP experiences failure. Network performance is evaluated based on key parameters such as latency, throughput, access speed, and downtime before and after the implementation. The results indicate that this solution effectively improves network stability, reduces downtime, and enhances employee productivity and customer satisfaction. Therefore, implementing a BGP-based dual ISP configuration with failover proves to be an effective approach to creating a more reliable and efficient network infrastructure. This study also contributes to the development of connectivity management techniques and supporting software for network redundancy systems.

Keywords: Network Redundancy, Dual ISP, BGP, Failover, Load Balancing, PCC, Network Quality, PT. XYZ

ABSTRAK

Dalam era digital yang sangat bergantung pada konektivitas, kestabilan jaringan internet menjadi kebutuhan utama bagi perusahaan yang bergerak di sektor layanan, termasuk PT. XYZ (PT. XYZ). Ketergantungan pada satu penyedia layanan internet (ISP) telah menimbulkan berbagai permasalahan, seperti gangguan koneksi dan downtime yang berdampak pada operasional perusahaan dan kualitas layanan pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan solusi redundansi jaringan dengan memanfaatkan dua ISP melalui protokol Border Gateway Protocol (BGP) dan metode failover untuk meningkatkan kualitas koneksi internet. Metode yang digunakan mencakup perancangan sistem dual ISP dengan pendekatan Load Balancing menggunakan Per Connection Classifier (PCC) serta implementasi failover untuk menjamin kontinuitas koneksi ketika salah satu ISP mengalami gangguan. Evaluasi kinerja dilakukan dengan mengukur parameter jaringan seperti latency, throughput, kecepatan akses, dan waktu downtime sebelum dan sesudah penerapan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa solusi ini mampu meningkatkan kestabilan jaringan, mengurangi downtime, serta meningkatkan produktivitas karyawan dan kepuasan pelanggan. Pengujian kecepatan internet pada sisi pengguna menggunakan aplikasi Speedtest oleh Ookla menunjukkan kecepatan unduh sebesar 102,70 Mbps dan ping 13 ms, serta kecepatan unggah sebesar 101,09 Mbps dan ping 4 ms. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem jaringan dual ISP mampu menyediakan akses internet yang tinggi, stabil, dan responsif baik untuk aktivitas download maupun upload.

Kata Kunci: Redundansi Jaringan, Dual ISP, BGP, Failover, Load Balancing, PCC, Kualitas Jaringan, PT. XYZ

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 28-07-2025

Tanggal revisi : 22-08-2025

Tanggal terbit : 10-09-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/infotech.v11i2.15611>

INFOTECH journal by Informatika UNMA is licensed under CC BY-SA 4.0

Copyright © 2025 By Author



1. **PENDAHULUAN**
 1.1. **Latar Belakang**

Koneksi internet merupakan infrastruktur utama dalam mendukung berbagai aktivitas operasional perusahaan di era transformasi digital. Stabilitas koneksi sangat berpengaruh terhadap kelancaran proses administrasi, transaksi bisnis, hingga komunikasi dengan pelanggan secara real time (Aulia et al., 2023). Perusahaan yang bergerak di bidang layanan pelanggan, seperti PT. XYZ, sangat bergantung pada ketersediaan internet yang cepat dan stabil untuk menjaga kualitas layanan, meningkatkan produktivitas karyawan, serta memastikan kepuasan pelanggan tetap terjaga (Hidayat et al., 2021).

Namun, kondisi yang ada menunjukkan bahwa PT. XYZ masih mengandalkan hanya satu penyedia layanan internet (ISP). Ketergantungan pada satu ISP menimbulkan risiko tinggi, seperti downtime, gangguan teknis, maupun pemeliharaan dari pihak penyedia layanan yang dapat menghentikan operasional perusahaan secara tiba-tiba (Mauliyanto & Sendjaja, 2025). Situasi ini sangat berpotensi menurunkan produktivitas karyawan dan memengaruhi keandalan layanan pelanggan. Penelitian sebelumnya juga menegaskan bahwa redundansi jaringan sangat penting diterapkan pada perusahaan yang membutuhkan konektivitas tinggi dan minim gangguan (Azmi et al., 2022).

Sebagai solusi, salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah penerapan redundansi jaringan dengan dual ISP, yaitu penggunaan dua penyedia layanan internet secara bersamaan. Dual ISP memungkinkan sistem untuk melakukan load balancing, yaitu membagi beban trafik secara merata pada dua jalur, sekaligus mendukung mekanisme failover untuk menjaga koneksi tetap berjalan ketika salah satu jalur ISP mengalami gangguan (Anton & Irman, 2024). Penerapan metode ini diharapkan mampu meningkatkan stabilitas jaringan, mengurangi downtime, serta mendukung aktivitas operasional perusahaan secara berkesinambungan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem redundansi jaringan dengan menggunakan dual ISP adalah strategi penggunaan dua penyedia layanan internet secara bersamaan dalam satu sistem jaringan (Herdianzah et al., 2025). di PT. XYZ. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang sistem redundansi jaringan dengan dual ISP untuk mengurangi ketergantungan pada satu penyedia layanan.
2. Mengimplementasikan metode Load Balancing PCC (Per Connection Classifier) merupakan teknik distribusi beban kerja secara merata di antara dua atau lebih

sumber daya jaringan, seperti jalur koneksi, server, atau perangkat gateway (Nuraini, 2022). agar beban trafik terdistribusi merata antar dua ISP.

3. Menerapkan mekanisme Failover adalah mekanisme otomatis dalam sistem jaringan yang bertujuan untuk menjaga kesinambungan konektivitas saat terjadi gangguan pada salah satu jalur atau perangkat utama (Surono et al., 2025).
4. Mengevaluasi kualitas jaringan sebelum dan sesudah penerapan dual ISP berdasarkan parameter throughput, latency, packet loss, dan downtime.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan kualitas jaringan PT. XYZ sekaligus menjadi referensi akademik dalam pengembangan strategi redundansi jaringan berbasis dual ISP.

1.2. **Tinjauan Pustaka**

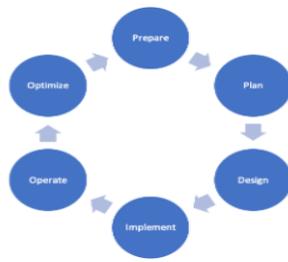
Penelitian terkait telah dilakukan oleh (Jurnal et al., 2024) yang merancang topologi jaringan perusahaan dengan pendekatan sistematis untuk menghasilkan koneksi yang stabil. (Azmi et al., 2022) meneliti efektivitas dual ISP dengan load balancing dan failover, menunjukkan bahwa metode ini mampu meningkatkan performa jaringan sesuai standar TIPHON. (Anton & Irman, 2024) mengkaji implementasi PCC dan failover pada MikroTik, dan hasilnya terbukti meningkatkan keandalan jaringan dengan distribusi beban yang optimal. Selain itu, penelitian oleh (Syahrani & Yuliadi, 2023) menegaskan efektivitas load balancing metode NTH dalam meningkatkan kestabilan jaringan internet pada institusi kesehatan.

2. **METODE**

Penelitian ini termasuk penelitian terapan yang bertujuan merancang dan mengimplementasikan solusi redundansi jaringan merupakan metode penyediaan jalur alternatif pada infrastruktur jaringan. Dengan adanya jalur cadangan, apabila jalur utama mengalami kegagalan, koneksi tetap bisa berfungsi normal karena lalu lintas data akan dialihkan melalui jalur lain (Octavian & Purnama, 2024) dual ISP menggunakan metode load balancing PCC dan failover pada PT. XYZ. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif (pengukuran latency, throughput, dan downtime) serta kualitatif (survei kepuasan pengguna).

Data dikumpulkan melalui pengukuran teknis jaringan, survei pengalaman karyawan, dan observasi langsung terhadap proses failover.

Penelitian ini mengikuti metodologi **PPDIOO** (*Prepare, Plan, Design, Implement, Operate, Optimize*), yang merupakan pendekatan terstruktur dalam perancangan dan implementasi solusi jaringan komputer (Muzaki et al., 2025).



Gambar 1. PPDIIO

Tahapan penelitian mengikuti metode PPDIIO, yang terdiri dari:

1. Prepare: analisis kebutuhan dan studi literatur,
2. Plan: perencanaan desain topologi dan parameter pengukuran,
3. Design: perancangan sistem dual ISP,
4. Implement: konfigurasi load balancing PCC dan failover,
5. Operate: pengoperasian dan monitoring sistem,
6. Optimize: evaluasi hasil dan optimasi konfigurasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Deskripsi Kasus

PT. XYZ merupakan perusahaan jasa perjalanan yang sangat bergantung pada koneksi internet untuk operasional harian seperti reservasi online, komunikasi pelanggan, dan pengelolaan data.

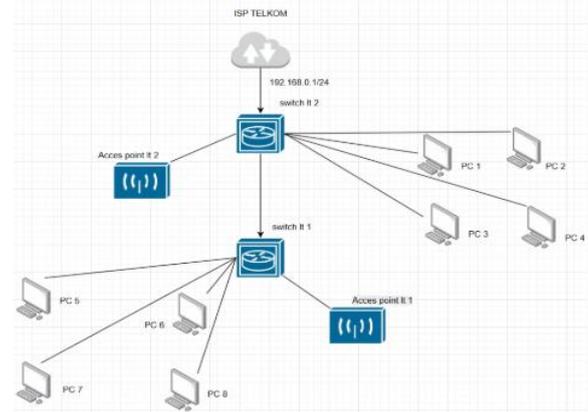
Sebelum implementasi sistem redundansi, hanya menggunakan satu ISP. Ketergantungan ini menimbulkan sejumlah permasalahan, seperti downtime tak terduga, lambatnya akses saat trafik tinggi, dan tidak adanya sistem failover otomatis. Proses pemulihan koneksi masih dilakukan secara manual oleh tim teknis, yang memperpanjang waktu gangguan layanan.

Kondisi ini menunjukkan perlunya peningkatan infrastruktur jaringan melalui penerapan dual ISP, protokol BGP adalah protokol yang menghubungkan berbagai jaringan besar (AS) di internet (Rahayu & Suharjo, 2024), memungkinkan mereka bertukar informasi tentang rute agar data dapat dikirim dengan efisien, serta metode failover dan load balancing untuk menjamin koneksi yang stabil dan berkelanjutan.

3.2. Kondisi Infrastruktur Jaringan Saat Ini

Pada tahap awal penelitian, infrastruktur jaringan di PT. XYZ masih bersifat sederhana tanpa adanya penerapan konfigurasi jaringan yang terintegrasi. Berikut yang terdapat pada gambar 1 merupakan topologi jaringan adalah cara penyusunan dan pengorganisasian perangkat-perangkat jaringan, baik secara fisik (pengkabelan dan letak perangkat) maupun logis (aliran data dan skema koneksi antar perangkat) (*Pengantar Jaringan Komputer - Ajay*

Supriadi, Norbertus Tri Suswanto Saptadi, Diki Arisandi, Achmad Fikri Sallaby, Muhammad Faisal, Sean C. Sumarta, Arif Muhamad Nurdin, Andi Nur Rachman, Saryani - Google Books, n.d.) eksisting yang digunakan oleh perusahaan



Gambar 2. Topologi Jaringan Saat ini

Dalam topologi yang ditunjukkan pada Gambar 2, jalur koneksi internet berasal dari ISP Telkom dan langsung didistribusikan melalui dua perangkat switch, yaitu switch 1 dan switch 2. Kedua switch tersebut menyalurkan koneksi ke beberapa perangkat komputer serta dua access point yang menyediakan layanan internet nirkabel bagi karyawan dan tamu. Infrastruktur jaringan yang digunakan meliputi modem atau router ISP sebagai sumber utama koneksi internet, dua unit switch yang berfungsi membagi koneksi ke perangkat pengguna di seluruh kantor, dua access point untuk mendukung akses WiFi di area tertentu, serta komputer klien yang tersebar di ruang kerja dan terhubung melalui kabel LAN.

Pada tahap ini, pengelolaan jaringan sepenuhnya masih mengandalkan perangkat bawaan dari ISP tanpa tambahan perangkat khusus seperti router profesional, firewall, atau sistem monitoring. Setiap perangkat hanya terhubung dengan kabel LAN standar dari modem atau router ISP menuju switch, kemudian diteruskan ke perangkat akhir.

Berdasarkan hasil observasi harian, ditemukan beberapa kendala utama, khususnya pada performa jaringan. Koneksi sering mengalami penurunan kecepatan bahkan terputus ketika trafik tinggi. Minimnya konfigurasi dan ketergantungan pada satu jalur ISP menyebabkan kestabilan serta ketersediaan jaringan sangat bergantung pada kualitas layanan ISP, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap efektivitas operasional perusahaan yang membutuhkan koneksi internet stabil.

3.3. Identifikasi Masalah

Berdasarkan kondisi jaringan di PT. XYZ sebelum implementasi solusi dual ISP, teridentifikasi beberapa permasalahan utama sebagai berikut:

1. Koneksi Internet Tidak Stabil Koneksi internet sering mengalami gangguan atau

downtime akibat ketergantungan pada satu ISP. Kondisi ini menghambat operasional, menurunkan produktivitas karyawan, dan mengganggu layanan kepada pelanggan.

2. Ketergantungan pada Satu ISP Seluruh akses internet perusahaan hanya bergantung pada satu jalur ISP, sehingga jika terjadi gangguan, seluruh aktivitas perusahaan langsung terdampak.
3. Kinerja Jaringan Tidak Optimal Pada saat jumlah pengguna meningkat, kecepatan akses menurun, latency meningkat, dan koneksi dapat terputus secara tiba-tiba. Hal ini terjadi karena tidak adanya mekanisme distribusi beban jaringan.
4. Potensi Masalah Keamanan dan Skalabilitas Tidak adanya segmentasi jaringan dan proteksi tambahan menyebabkan jaringan rentan terhadap ancaman keamanan. Selain itu, jaringan menjadi sulit dikembangkan ketika jumlah perangkat bertambah.

3.4. Perancangan Solusi Jaringan

Untuk mengatasi permasalahan koneksi internet yang tidak stabil di PT. XYZ, dirancang solusi jaringan dengan menerapkan sistem dual ISP berbasis perangkat MikroTik yang mengintegrasikan metode load balancing Per Connection Classifier (PCC) dan failover. Desain ini memungkinkan kedua ISP aktif secara bersamaan untuk mendistribusikan beban trafik secara merata, sekaligus menyediakan mekanisme pengalihan otomatis apabila salah satu ISP mengalami gangguan. Dengan demikian, jaringan dapat beroperasi lebih stabil, handal, dan mampu menjamin kelangsungan operasional perusahaan.

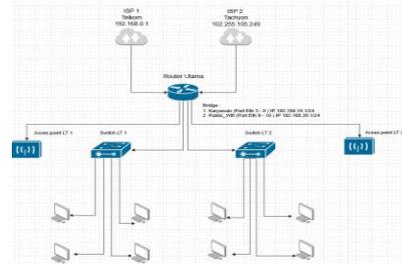
Tujuan utama perancangan ini adalah meningkatkan kestabilan dan keandalan konektivitas internet dengan mengurangi ketergantungan pada satu ISP, menjamin kontinuitas layanan melalui sistem failover otomatis, serta mengoptimalkan distribusi beban trafik dengan load balancing PCC. Selain itu, desain jaringan juga mempertimbangkan aspek skalabilitas untuk mendukung pertumbuhan kebutuhan di masa mendatang.

Metode yang digunakan meliputi implementasi dual ISP dengan load balancing PCC untuk pemerataan trafik, penerapan failover untuk menjaga kontinuitas koneksi, serta segmentasi jaringan yang membagi akses antara karyawan dan tamu (public WiFi). Segmentasi ini tidak hanya meningkatkan keamanan, tetapi juga mempermudah manajemen jaringan dan mencegah gangguan pada satu segmen memengaruhi keseluruhan sistem. Seluruh proses dipantau secara real-time melalui fitur monitoring bawaan RouterOS, sehingga administrator dapat memastikan kinerja jaringan tetap optimal.

3.5. Diagram Topologi Jaringan

Topologi jaringan yang terdapat pada gambar 3 merupakan topologi yang diusulkan untuk PT. XYZ dirancang untuk mendukung sistem redundansi dengan dua ISP, segmentasi jaringan yang jelas,

serta kemudahan pengelolaan dan peningkatan keamanan. Dengan topologi baru ini, dua jalur ISP terhubung langsung ke Router Utama yang berperan sebagai pusat pengelolaan trafik, load balancing, dan failover.



Gambar 3. Topologi Jaringan Usulan

Pada topologi yang terdapat pada gambar 4.2, dua ISP yang digunakan adalah ISP 1 (Telkom, 192.168.0.1) dan ISP 2 (Tachyon, 102.255.105.249). Keduanya terkoneksi ke Router Utama. Di sisi internal, router membagi jaringan ke dalam dua bridge utama, yaitu:

1. Bridge Karyawan (Port Eth 3–8) dengan IP 192.168.10.1/24, terhubung ke Switch LT 1 dan Access Point LT 1 (Eth 9), untuk kebutuhan akses jaringan internal karyawan.
2. Bridge Public_Wifi (Port Eth 9–10) dengan IP 192.168.20.1/24, terhubung ke Switch LT 2 dan Access Point LT 2 (Eth 10), untuk jaringan tamu/public WiFi.

Switch LT 1 dan Switch LT 2 mendistribusikan koneksi ke masing-masing perangkat komputer, sedangkan kedua access point memberikan akses nirkabel sesuai segmentasi.

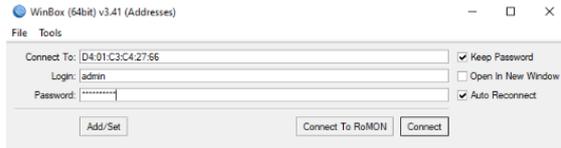
Pengaturan ini memberikan pemisahan jaringan yang jelas antara karyawan dan tamu, sekaligus memastikan ketersediaan akses internet yang stabil berkat load balancing PCC dan failover. Desain ini juga memudahkan pengelolaan jaringan serta peningkatan keamanan pada seluruh sistem.

3.6. Konfigurasi Perangkat Jaringan

Konfigurasi perangkat jaringan pada penelitian ini dilakukan secara bertahap agar sistem dual ISP dengan load balancing PCC dan failover dapat berjalan sesuai rancangan di PT. XYZ. Proses dimulai dengan melakukan reset pada router MikroTik ke kondisi default menggunakan opsi No Default Configuration yang terdapat pada gambar 4. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa tidak ada pengaturan lama yang dapat mempengaruhi proses konfigurasi baru. Setelah reset, melakukan login ulang melalui aplikasi WinBox untuk memperoleh akses penuh pada seluruh menu konfigurasi router yang terdapat pada gambar 5

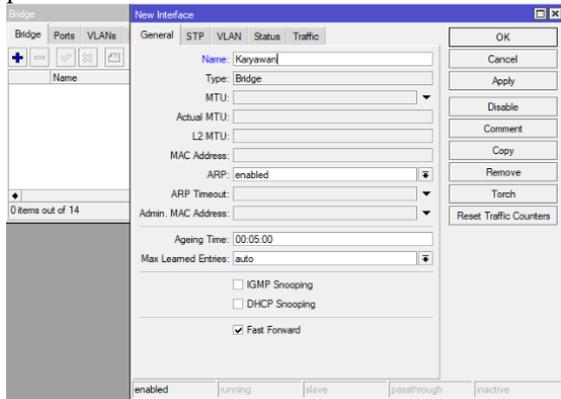


Gambar 4. Tampilan Menu Reset Configuration Pada WinBox

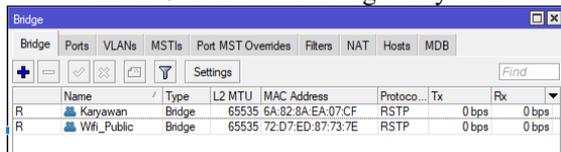


Gambar 5. Jendela Login WinBox ke Router MikroTik

Tahap berikutnya adalah pembuatan bridge untuk segmentasi jaringan internal dan tamu. Pada tahap ini, dibuat dua bridge dengan nama “Karyawan” dan “Wifi_Public”. Bridge “Karyawan” digunakan untuk jaringan internal perusahaan, sedangkan “Wifi_Public” diperuntukkan bagi jaringan tamu. Proses pembuatan bridge serta hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

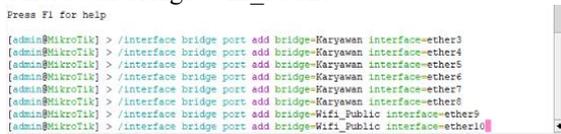


Gambar 6. Pembuatan Bridge Karyawan



Gambar 7. Daftar Bridge Karyawan dan Wifi_Public

Setelah itu, port-port ethernet dimasukkan ke dalam masing-masing bridge, dimana ether3 hingga ether 8 dialokasikan ke bridge Karyawan, dan ether9 serta ether10 ke bridge Wifi_Public

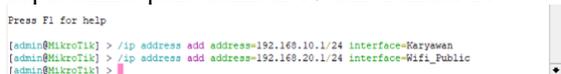


Gambar 8. Penambahan Port ke Bridge melalui Terminal

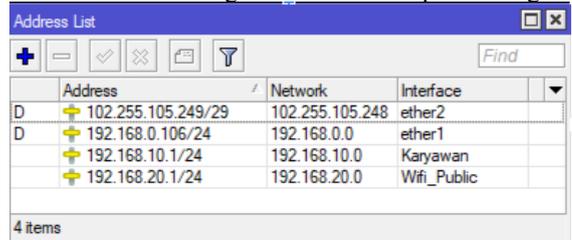


Gambar 9. Daftar Port pada Bridge

Selanjutnya, dilakukan konfigurasi alamat IP pada setiap bridge. Bridge Karyawan diberikan IP address 192.168.10.1/24, sedangkan bridge Wifi_Public menggunakan 192.168.20.1/24. Konfigurasi ini dilakukan melalui terminal MikroTik, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Konfigurasi IP Address pada Bridge

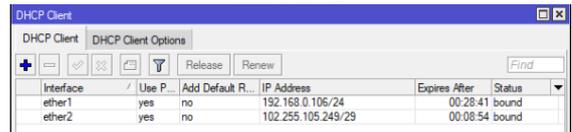


Gambar 11. Daftar IP Address pada Interface Bridge

Untuk akses internet, port ether1 dihubungkan ke ISP 1 dan ether2 ke ISP 2. Keduanya dikonfigurasi sebagai DHCP client sehingga dapat memperoleh IP address otomatis dari masing-masing ISP yang terdapat pada gambar 12 dan 13



Gambar 12. Konfigurasi DHCP Client untuk ether1 dan ether2

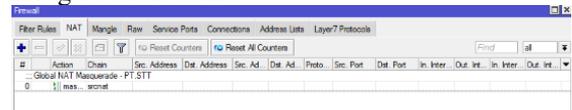


Gambar 13. Status DHCP Client

Setelah konfigurasi IP dan WAN, langkah berikutnya adalah mengaktifkan NAT dengan menambahkan rule Global Masquerade pada firewall router, agar seluruh perangkat internal dapat mengakses internet melalui kedua ISP yang terdapat pada gambar 14



Gambar 14. Penambahan Rule NAT Masquerade Hasil konfigurasi dapat dilihat pada tab NAT di menu Firewall yang terdapat pada gambar 15, di mana rule masquerade yang telah dibuat tampil sebagai aturan utama.

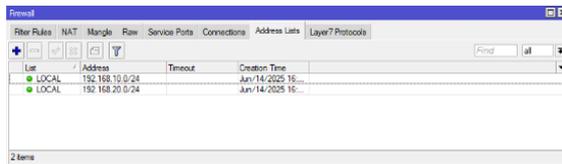


Gambar 15. Rule NAT pada Firewall

Setelah konfigurasi NAT selesai, langkah berikutnya adalah membuat Address List “LOCAL” pada firewall yang terdapat pada gambar 16. Address List ini berfungsi untuk mengelompokkan jaringan lokal (192.168.10.0/24 dan 192.168.20.0/24) sebagai daftar sumber atau tujuan pada rule firewall maupun mangle, sehingga pengaturan trafik internal dapat dilakukan lebih mudah dan terstruktur. Penambahan Address List dilakukan melalui terminal dengan perintah /ip firewall address-list add, seperti terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Pembuatan Address List Address List yang telah dibuat dapat dilihat pada tab “Address Lists” di menu Firewall yang terdapat pada gambar 17, dimana kedua subnet lokal sudah terdaftar dalam list “LOCAL”



Gambar 17. Daftar Address List di Firewall Langkah selanjutnya adalah membuat routing table terpisah untuk masing-masing jalur ISP yang terdapat pada gambar 18. Routing table “via-ISP1” digunakan untuk trafik yang akan dilewatkan melalui ISP 1, sedangkan routing table “via-ISP2” digunakan untuk trafik yang akan melewati ISP 2. Pembuatan routing table ini sangat penting sebagai dasar implementasi load balancing PCC dan failover pada sistem dual ISP. Konfigurasi dilakukan melalui terminal MikroTik dengan perintah /routing table add name=... fib, seperti terlihat pada Gambar 18.

```
Press F1 for help
[admin@Mikrotik] > /routing table add name="via-ISP1" fib
[admin@Mikrotik] > /routing table add name="via-ISP2" fib
[admin@Mikrotik] >
```

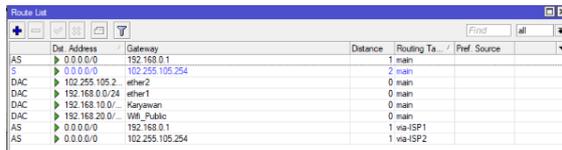
Gambar 18. Pembuatan Routing Table

Untuk mendukung load balancing dan failover, dibuat dua routing table, yaitu via-ISP1 dan via-ISP2 (Gambar 18), serta pengaturan router ke gateway ISP masing-masing dengan parameter check-gateway=ping untuk monitoring status koneksi yang terdapat pada gambar 19.

```
Press F1 for help
[admin@Mikrotik] > /ip route add check-gateway=ping distance=1 gateway=192.168.0.1
[admin@Mikrotik] > /ip route add check-gateway=ping distance=2 gateway=102.255.105.254
[admin@Mikrotik] > /ip route add check-gateway=ping distance=1 gateway=192.168.0.1 routing-table="via-ISP1"
[admin@Mikrotik] > /ip route add check-gateway=ping distance=1 gateway=102.255.105.254 routing-table="via-ISP2"
[admin@Mikrotik] >
```

Gambar 19. Penambahan Route Gateway untuk Dual ISP

Hasil konfigurasi route yang telah diterapkan dapat dicek pada menu Route List di WinBox yang terdapat pada gambar 20, dimana jalur via-ISP1 dan via-ISP2 telah muncul sebagai routing table tersendiri.



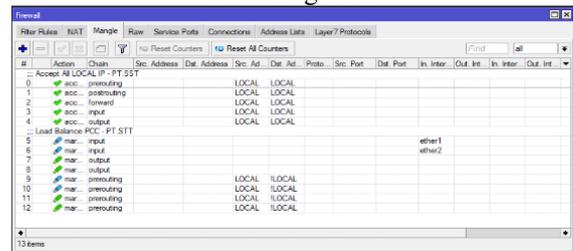
Gambar 20. Daftar Route pada Menu Route List Setelah infrastruktur dasar seperti bridge, port, IP address, konfigurasi WAN dual ISP, routing table, dan address list selesai dibuat, tahap inti adalah implementasi load balancing PCC dan failover pada router MikroTik. Pertama, trafik internal antar subnet (192.168.10.0/24 dan 192.168.20.0/24) dikecualikan dari mekanisme load balancing dengan rule mangle agar tidak membebani router. Selanjutnya, trafik dari masing-masing interface WAN ditandai menggunakan connection-mark (“via-ether1” untuk ISP1 dan “via-ether2” untuk ISP2), lalu diberi routing-mark agar koneksi tetap konsisten melalui jalur ISP yang sama.

Distribusi trafik keluar dilakukan dengan metode Per Connection Classifier (PCC) menggunakan parameter both-addresses-and-ports, sehingga trafik terbagi merata: pola 2/0 diarahkan ke ISP1 dan pola 2/1 ke ISP2. Setiap koneksi yang telah ditandai kemudian diarahkan ke routing table sesuai ISP. Sementara itu, failover dikonfigurasi dengan check-

gateway=ping, sehingga jika salah satu gateway ISP tidak merespons, trafik otomatis dialihkan ke ISP cadangan tanpa intervensi manual. Seluruh proses dapat dipantau secara real-time melalui menu Firewall → Mangle di WinBox untuk memastikan load balancing dan failover berfungsi sesuai harapan.

```
Press F1 for help
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-accept chain=pre-routing dst-address-list=LOCAL src-address-list=LOCAL comment="Accept All LOCAL IP - FT.SIT"
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-accept chain=post-routing dst-address-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-accept chain=forward dst-address-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-accept chain=input dst-address-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-accept chain=output dst-address-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-connection chain=input in-interface=ether1 new-connection-mark="via-ether1" passthrough=yes comment="Load Balance PCC - FT.SIT"
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-connection chain=input in-interface="ether2" new-connection-mark="via-ether2" passthrough=yes
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-routing chain=output connection-mark="via-ether1" new-routing-mark="via-ISP1" passthrough=yes
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-routing chain=output connection-mark="via-ether2" new-routing-mark="via-ISP2" passthrough=yes
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-connection chain=pre-routing dst-address-type=LOCAL src-address-type=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-connection chain=pre-routing dst-address-type=LOCAL src-address-type=LOCAL per-connection-classifier=both-addresses-and-ports:2/0 dst-add-ress-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-connection chain=pre-routing dst-address-type=LOCAL src-address-type=LOCAL per-connection-classifier=both-addresses-and-ports:2/1 dst-add-ress-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-routing chain=pre-routing connection-mark="via-ether1" new-routing-mark="via-ISP1" passthrough=yes dst-address-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] > /ip firewall mangle add action-mark-routing chain=pre-routing connection-mark="via-ether2" new-routing-mark="via-ISP2" passthrough=yes dst-address-list=LOCAL src-address-list=LOCAL
[admin@Mikrotik] >
```

Gambar 21. Konfigurasi Mangle Rule Load Balancing PCC



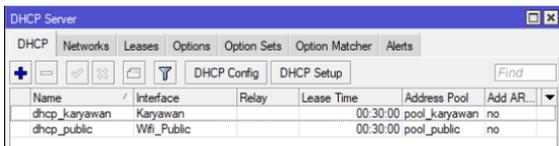
Gambar 22. Tampilan Daftar Mangle Rule Langkah terakhir pada proses konfigurasi jaringan adalah membuat dan mengaktifkan DHCP server pada masing-masing interface bridge, yaitu Karyawan dan Wifi_Public. DHCP server ini akan memudahkan perangkat-perangkat klien jaringan memperoleh alamat IP secara otomatis, sehingga administrasi jaringan menjadi lebih efisien dan terhindar dari konflik IP. Pembuatan DHCP server dilakukan melalui terminal dengan beberapa langkah:

1. Membuat IP pool untuk masing-masing segmen: pool_karyawan dan pool_public.
2. Menambahkan DHCP server untuk masing-masing interface bridge, yaitu dhcp_karyawan untuk Karyawan dan dhcp_public untuk Wifi_Public.
3. Mengatur network, gateway, serta DNS server pada setiap segmen jaringan.

```
Press F1 for help
[admin@Mikrotik] > /ip pool
[admin@Mikrotik] > /ip pool add name=pool_karyawan range=192.168.10.2-192.168.10.254
[admin@Mikrotik] > /ip pool add name=pool_public range=192.168.20.2-192.168.20.254
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_karyawan interface=karyawan name=dhcp_karyawan
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_public interface=Wifi_Public name=dhcp_public
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_karyawan interface=karyawan name=dhcp_karyawan
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_public interface=Wifi_Public name=dhcp_public
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_karyawan interface=karyawan name=dhcp_karyawan
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_public interface=Wifi_Public name=dhcp_public
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_karyawan interface=karyawan name=dhcp_karyawan
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_public interface=Wifi_Public name=dhcp_public
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_karyawan interface=karyawan name=dhcp_karyawan
[admin@Mikrotik] > /ip dhcp-server add address=pool_public interface=Wifi_Public name=dhcp_public
[admin@Mikrotik] >
```

Gambar 23. Konfigurasi DHCP Server

Hasil konfigurasi dapat dipantau pada menu DHCP Server di WinBox yang terdapat pada gambar 23, dimana kedua DHCP server aktif dan sudah sesuai dengan masing-masing interface, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 24



Gambar 24. Status DHCP Server.

3.7. Hasil Evaluasi Kinerja Jaringan
3.7.1. Kinerja Jaringan (Performance)

1. Throughput

Pengujian throughput adalah proses mengukur seberapa besar data yang benar-benar dapat ditransmisikan dalam jaringan dalam jangka waktu tertentu (Wardana & Santoso, 2023). Pengujian throughput dilakukan untuk mengevaluasi performa jaringan setelah implementasi dual ISP dan load balancing PCC di PT. XYZ. Pengujian ini meliputi analisis kecepatan unduh (download) dan unggah (upload) melalui dua pendekatan: monitoring interface pada router MikroTik menggunakan WinBox dan pengujian kecepatan akses internet menggunakan aplikasi Speedtest oleh Ookla.

Pada tahap monitoring interface router, throughput pada bridge Wifi Public saat proses download menunjukkan nilai transmit (Tx) sebesar 101,4 Mbps dan receive (Rx) sebesar 2,6 Mbps, sedangkan untuk upload nilai Tx mencapai 1829,6 kbps dan Rx sebesar 104,5 Mbps. Kedua interface ISP, ether1 dan ether2, masing-masing menunjukkan nilai receive sekitar 50,6 Mbps dan 50,5 Mbps untuk download, serta nilai transmit sekitar 53,8 Mbps dan 51,7 Mbps untuk upload. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi trafik antara kedua ISP berjalan merata dan optimal, baik untuk lalu lintas download maupun upload. Visualisasi hasil monitoring throughput pada router dapat dilihat pada Gambar 25 untuk pengujian download dan Gambar 26 untuk pengujian upload.

Gambar 25. Pengujian Download

Name	Type	Tx	Rx	Tx Packet	Rx Packet	FP Tx	FP Rx
Karyawan	Bridge	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps
Wifi_Public	Bridge	101.4 Mbps	2.6 Mbps	8 950	5 233	0 bps	2.6 Mbps
ISP 1	Ethernet	1376.7 kbps	50.6 Mbps	2 932	4 327	0 bps	50.5 Mbps
ISP 2	Ethernet	1391.6 kbps	50.5 Mbps	2 609	4 196	0 bps	50.3 Mbps

Gambar 26. Pengujian Upload

Name	Type	Tx	Rx	Tx Packet	Rx Packet	FP Tx	FP Rx
Karyawan	Bridge	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps
Wifi_Public	Bridge	1829.6 kbps	104.5 Mbps	3 725	8 938	0 bps	104.5 Mbps
ISP 1	Ethernet	53.8 Mbps	701.4 kbps	4 670	1 383	0 bps	707.3 kbps
ISP 2	Ethernet	51.7 Mbps	1228.5 kbps	4 288	2 296	0 bps	1153.2 kbps

Selanjutnya, pengujian kecepatan internet pada sisi pengguna dilakukan dengan aplikasi Speedtest oleh Ookla. Pada pengujian download, diperoleh kecepatan unduh sebesar 102,70 Mbps dan ping 13 ms. Untuk pengujian upload, diperoleh

kecepatan unggah sebesar 101,09 Mbps dan ping 4 ms. Hasil uji ini menunjukkan bahwa sistem jaringan dual ISP mampu menyediakan kecepatan akses internet yang tinggi dan stabil, baik untuk aktivitas download maupun upload. Dokumentasi hasil Speedtest ditunjukkan pada Gambar 27 untuk download dan untuk upload.



Gambar 27. Hasil Uji Throughput Download dengan Speedtest

Dengan demikian, hasil monitoring interface router dan pengujian Speedtest membuktikan bahwa konfigurasi dual ISP dengan load balancing PCC di lingkungan PT. XYZ mampu mendukung performa throughput jaringan yang tinggi, baik untuk download maupun upload, serta memberikan koneksi yang stabil bagi seluruh pengguna.

2. Response Time, Packet Loss, dan Latency

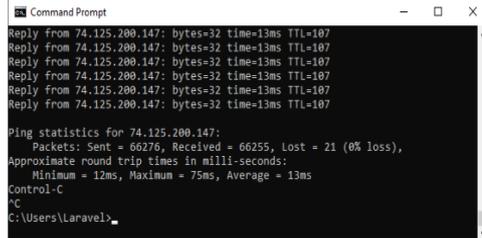
Pengujian response time, packet loss, dan latency dilakukan untuk menilai tingkat responsivitas dan kestabilan jaringan internet setelah implementasi dual ISP dan load balancing PCC di PT. XYZ. Pengujian ini menggunakan perintah ping ke alamat IP publik 74.125.200.147 dari jaringan internal perusahaan.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Command Prompt, dari total 66.276 paket data yang dikirim, sebanyak 66.255 paket berhasil diterima, sehingga tercatat packet loss sebesar 21 paket atau setara dengan 0%. Nilai ini menunjukkan tingkat kehilangan data yang sangat kecil selama proses transmisi, menunjukkan kestabilan dan keandalan jaringan yang baik.

Pada aspek latency atau waktu tunda, hasil pengukuran menunjukkan nilai minimum sebesar 12 ms, nilai maksimum sebesar 75 ms, dan rata-rata (average) round trip time sebesar 13 ms. Rata-rata nilai latency yang rendah ini mengindikasikan bahwa jaringan mampu merespons permintaan data secara cepat dan konsisten selama periode pengujian. Nilai waktu tunda maksimum yang tercatat masih dalam batas wajar untuk akses internet publik dan kemungkinan disebabkan oleh variasi beban jaringan secara sesaat.

Secara keseluruhan, hasil pengujian response time, packet loss, dan latency ini menunjukkan bahwa infrastruktur jaringan

yang diterapkan mampu memberikan koneksi yang stabil, responsif, dan minim kehilangan data. Dokumentasi hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 28 berikut.



Gambar 28. Hasil Pengujian Response Time, Packet Loss, dan Latency Menggunakan Command Prompt

3.7.2. Keandalan (Reliability)

Keandalan jaringan merupakan aspek krusial dalam mendukung kelancaran operasional di PT. XYZ, terutama dengan penerapan sistem dual ISP, load balancing PCC, dan failover pada infrastruktur jaringan. Evaluasi keandalan pada penelitian ini dilakukan melalui tiga parameter utama, yaitu uptime, availability, dan redundansi.

Uptime mengacu pada lamanya sistem jaringan dapat beroperasi tanpa gangguan. Selama periode pengujian, pemantauan dilakukan melalui fitur monitoring pada router MikroTik serta pencatatan manual waktu operasional perangkat jaringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa router dan perangkat jaringan utama dapat beroperasi secara kontinu tanpa mengalami downtime, dengan uptime mencapai lebih dari 99% selama periode observasi. Hal ini menandakan sistem yang diimplementasikan mampu menjaga stabilitas jaringan dalam jangka waktu yang panjang.

Board	Uptime
RB1100x4	38d 08:25:14

Gambar 29.keandalan

Availability dievaluasi dengan cara melakukan monitoring akses jaringan oleh pengguna secara periodik, serta pengujian waktu pemulihan koneksi ketika terjadi gangguan pada salah satu ISP. Berdasarkan hasil uji, jaringan tetap dapat diakses secara konsisten dan waktu pemulihan (recovery time) ketika terjadi failover berlangsung otomatis dalam hitungan detik. Fitur failover memastikan bahwa pengguna tidak mengalami gangguan akses yang signifikan, sehingga tingkat availability jaringan tetap tinggi dan sesuai kebutuhan operasional perusahaan.

Redundansi pada sistem jaringan ini diterapkan melalui penggunaan dual ISP yang dikombinasikan dengan mekanisme load balancing dan failover pada perangkat MikroTik. Konfigurasi routing dengan parameter check-gateway memungkinkan router untuk secara otomatis mengalihkan trafik ke ISP cadangan apabila terjadi gangguan pada salah satu

jalur utama. Pengujian dilakukan dengan simulasi pemutusan koneksi pada salah satu ISP, dan hasilnya menunjukkan bahwa trafik langsung dialihkan ke jalur alternatif tanpa memerlukan intervensi manual. Dengan demikian, desain jaringan yang diimplementasikan telah memenuhi prinsip redundansi dan dapat meningkatkan keandalan serta kontinuitas layanan internet di lingkungan PT. XYZ.

3.7.3. Kapasitas dan Skala (Capacity and Scalability)

Kapasitas jaringan merupakan aspek penting yang menunjukkan sejauh mana infrastruktur yang telah diimplementasikan mampu menangani volume data atau trafik yang tinggi. Setelah penerapan dual ISP dengan metode load balancing PCC, evaluasi kapasitas jaringan dilakukan dengan cara memonitor penggunaan bandwidth pada masing-masing jalur ISP serta memeriksa kinerja perangkat jaringan seperti router, switch, dan access point selama periode operasional.

Berdasarkan hasil monitoring, bandwidth yang tersedia dari kedua ISP dapat dimanfaatkan secara optimal melalui mekanisme load balancing, sehingga trafik data dapat didistribusikan secara merata. Hal ini memungkinkan jaringan untuk tetap responsif dan stabil meskipun terjadi peningkatan jumlah pengguna atau aplikasi yang aktif secara bersamaan. Ketersediaan bandwidth gabungan dari dua ISP juga memberikan fleksibilitas lebih dalam mendukung aktivitas operasional perusahaan yang membutuhkan akses data dalam volume besar.

Dari sisi skalabilitas, desain jaringan yang diterapkan telah memperhatikan kemungkinan pertumbuhan jumlah perangkat dan pengguna di masa mendatang. Segmentasi jaringan antara karyawan dan tamu (public WiFi) memudahkan manajemen akses serta memungkinkan penambahan perangkat baru tanpa mempengaruhi performa jaringan utama. Selain itu, konfigurasi bridge dan DHCP server yang terpisah untuk masing-masing segmen jaringan memberikan kemudahan dalam pengelolaan alamat IP dan pembagian sumber daya jaringan.

Dengan struktur ini, jaringan PT. XYZ dinilai mampu mengakomodasi kebutuhan saat ini maupun ekspansi di masa depan tanpa mengalami penurunan kinerja secara signifikan. Desain dan implementasi dual ISP, load balancing PCC, serta segmentasi jaringan memastikan kapasitas dan skalabilitas tetap terjaga dalam mendukung pertumbuhan operasional perusahaan.

3.8. Alat dan Teknologi yang Digunakan

Pada penelitian ini, berbagai alat dan teknologi digunakan untuk merancang, mengimplementasikan, serta menguji sistem dual ISP dengan load balancing PCC dan failover di PT. XYZ. Alat dan teknologi yang digunakan meliputi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang saling mendukung untuk memastikan kinerja dan keandalan sistem yang optimal.

Dalam penelitian ini digunakan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak yang saling mendukung untuk merancang serta mengimplementasikan

sistem dual ISP dengan load balancing PCC dan failover di PT. XYZ. Dari sisi perangkat keras, MikroTik Router RB1100x4 berfungsi sebagai perangkat utama dalam manajemen lalu lintas jaringan, penerapan load balancing, dan failover. Router ini didukung oleh MikroTik RouterOS yang menyediakan fungsionalitas lengkap untuk pengelolaan dual ISP dengan efisien, ditambah dengan kemampuan routing yang tinggi dan ketersediaan banyak port ethernet untuk mendukung segmentasi jaringan. Selain itu, digunakan pula ethernet switch untuk menghubungkan perangkat-perangkat internal perusahaan, termasuk komputer dan access point, sekaligus memisahkan jalur antara jaringan karyawan dan jaringan publik. Untuk mendukung konektivitas nirkabel, dipasang access point (AP) yang memberikan akses internet bagi karyawan maupun tamu, dengan konfigurasi terhubung ke masing-masing bridge di router MikroTik. Sementara itu, masing-masing ISP menyediakan modem atau router yang berfungsi sebagai sumber utama koneksi internet sebelum didistribusikan ke MikroTik Router.

Dari sisi perangkat lunak, penelitian ini memanfaatkan MikroTik RouterOS sebagai sistem operasi utama pada perangkat MikroTik untuk mendukung konfigurasi load balancing, failover, dan manajemen jaringan secara terpusat. Untuk mempermudah konfigurasi, digunakan aplikasi WinBox, yaitu antarmuka grafis berbasis Windows yang memungkinkan administrator melakukan pengaturan firewall, routing, dan manajemen IP secara lebih mudah. Selain itu, dalam tahap pengujian digunakan ping test untuk mengukur latency, packet loss, dan kestabilan koneksi dengan cara mengirimkan paket data ke IP eksternal serta menghitung waktu respon. Pengujian throughput dilakukan menggunakan Speedtest.net untuk mengevaluasi kecepatan unduh (download) dan unggah (upload) dari kedua jalur ISP yang diterapkan.

Melalui kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak ini, sistem dual ISP dengan load balancing dan failover berhasil dirancang dan diterapkan untuk mengoptimalkan kinerja jaringan di PT. XYZ. Setiap alat dan teknologi berperan penting dalam memastikan jaringan dapat menangani trafik yang tinggi, stabilitas koneksi, dan ketersediaan yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan evaluasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem redundansi jaringan menggunakan dual ISP berhasil meningkatkan stabilitas koneksi internet di PT. XYZ. Dengan konfigurasi ini, lalu lintas jaringan dapat terdistribusi secara efisien ke dua jalur yang tersedia, sehingga ketergantungan pada satu ISP dapat dikurangi dan ketahanan operasional perusahaan menjadi lebih terjamin. Implementasi metode Load Balancing PCC pada router MikroTik juga terbukti efektif dalam mendistribusikan beban trafik secara merata, dengan

hasil pengujian throughput melalui Speedtest menunjukkan kecepatan unduh mencapai 102,70 Mbps dan unggah 101,09 Mbps, serta nilai ping 13 ms dan 4 ms. Selain itu, mekanisme failover mampu menjaga kontinuitas koneksi dengan waktu peralihan yang cepat dan tanpa intervensi manual ketika salah satu jalur ISP mengalami gangguan. Secara keseluruhan, kualitas jaringan meningkat signifikan setelah penerapan sistem ini, yang ditandai dengan penurunan latency, peningkatan throughput, serta berkurangnya downtime. Hal ini juga berdampak pada peningkatan produktivitas karyawan berkat akses internet yang lebih cepat dan stabil, serta kepuasan pelanggan yang lebih baik melalui layanan yang responsif dan andal.

PUSTAKA

- Anton, A., & Irman, A. (2024). Implementasi Load Balance Mikrotik Dual ISP Dengan PCC dan Metode Failover Pada PT. Wahana Ciptasinatria. *Jurnal Teknologi Informatika*, 10(1), 71–78. <https://doi.org/10.52643/JTI.V10I1.4318>
- Aulia, B. W., Rizki, M., Prindiyana, P., & Surgana, S. (2023). Peran Krusial Jaringan Komputer dan Basis Data dalam Era Digital. *Jurnal Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 1(1), 9–20. <https://doi.org/10.33197/JUSTINFO.VOL1.IS S1.2023.1253>
- Azmi, K., Razi, F., & Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, P. (2022). STUDI PENGGUNAAN DUA ISP DENGAN LOAD BALANCING DAN FAILOVER UNTUK MENINGKATKAN KINERJA JARINGAN BERBASIS ROUTER MIKROTIK. *Jurnal TEKTRONIKA*, 6(2), 176–183. <https://doi.org/10.30811/TEKTRO.V6I2.3729>
- Herdianzah, A., Sumendap, A. L., & Kweldju, A. De. (2025). ANALISIS PERBANDINGAN KUALITAS KINERJA JARINGAN ISP TELKOMSEL BAKTI KAMPUNG TANAH RUBUH DAN KAMPUNG YOOM 2. *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika)*, 10(1), 434–447. <https://doi.org/10.29100/JUPI.V10I1.5857>
- Hidayat, A. S., Widodo, A. E., Kencono, A., Nuryamin, Y., Informatika, T., Manajemen, S. T., Informatika, D., & Mandiri, K. (2021). Implementasi Load Balancing Dengan Metode PCC Pada Balai Besar Pelatihan Kesehatan (BBPK) Jakarta. *EVOLUSI : Jurnal Sains Dan Manajemen*, 9(1). <https://doi.org/10.31294/EVOLUSI.V9I1.10189>
- Jurnal, H., Hidayat, A., & Satria Prakoso, D. (2024). Rancangan Topologi dan Implementasi Jaringan Internet pada Perusahaan PT Kresna Graha Investama Tbk. *JUTEKIN (Jurnal Teknik Informatika)*, 12(1). <https://doi.org/10.51530/JUTEKIN.V12I1.841>

- Mauliyanto, M., & Sendjaja, T. (2025). Pengaruh Starlink terhadap Strategi Business Continuity Plan pada Perusahaan Internet Service Provide di Indonesia. *Jurnal Informatika Dan Bisnis*, 14(1), 55–65. <https://doi.org/10.46806/JIB.V14I1.1404>
- Muzaki, D. F. Al, Efendi, T. F., & Muqorobin. (2025). Penerapan Jaringan Hotspot Berbasis Mikrotik Menggunakan Metode PPDIO (Prepare, Plan, Design, Implement, Operate, Optimize). *Bulletin of Computer Science Research*, 5(4), 490–502. <https://doi.org/10.47065/BULLETCR.V5I4.592>
- Nuraini, R. (2022). Implementasi Metode Load Balancing Sebagai Upaya Meningkatkan Kinerja Server. *Journal of Information System Research*, 3(4). <https://doi.org/10.47065/josh.v3i4.1792>
- Octavian, A., & Purnama, G. (2024). PERANCANGAN JARINGAN REDUNDANCY MENGGUNAKAN KONSEP ETHERCHANNEL DAN HSRP DENGAN INTERVLAN ROUTING PADA PLN UID JAKARTA RAYA. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2), 2830–7062. <https://doi.org/10.23960/JITET.V12I2.4193>
- Pengantar Jaringan Komputer - Ajay Supriadi, Norbertus Tri Suswanto Saptadi, Diki Arisandi, Achmad Fikri Sallaby, Muhammad Faisal, Sean C. Sumarta, Arif Muhamad Nurdin, Andi Nur Rachman, Saryani - Google Books.* (n.d.). Retrieved August 22, 2025, from https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=bNcPEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Pengantar+Jaringan+Komputer.+&ots=UqslOsbYQa&sig=Z-9jhoqLV83sgZr1B_BPSxdqf3E&redir_esc=y#v=onepage&q=Pengantar%20Jaringan%20Komputer.&f=false
- Rahayu, T. B., & Suharjo, I. (2024). Implementasi BGP dengan RPKI Pada Jaringan PT. Bintang Mataram Teknologi Menggunakan Mikrotik Router OS. *JURNAL FASILKOM*, 14(2), 293–300. <https://doi.org/10.37859/JF.V14I2.6968>
- Surono, S., Setiarso, G., & Hadi, S. (2025). Implementation of Failover Recursive Gateway and Load Balancing PCC Method on Internet Networks at Universitas Semarang. *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, 5(1), 36–44. <https://doi.org/10.30811/JAISE.V5I1.6337>
- Syahrani, A. H., & Yuliadi, B. (2023). Load Balancing On Mikrotik at Karang Jaya Health Center Using NTH Method. *PIKSEL : Penelitian Ilmu Komputer Sistem Embedded and Logic*, 11(2), 267–282. <https://doi.org/10.33558/PIKSEL.V11I2.7107>
- Wardana, M. R., & Santoso, D. B. (2023). Analisis Throughput Distribusi Jaringan Nirkabel Pada Politeknik Bumi Akpelni. *Jurasik (Jurnal Riset Sistem Informasi Dan Teknik Informatika)*, 8(2), 558–567. <https://doi.org/10.30645/JURASIK.V8I2.640.G613>