



Implementasi *Load Balancing* PCC (*Per Connection Classifier*) Untuk Efisiensi *Bandwidth* Pada Jaringan FTTB (*Fiber To The Building*) Dengan Mikrotik Routeros

Wildhan Rahmat Hidayat¹, Sri Mulyati²

^{1,2} Departemen Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang

wildanrahmat333@gmail.com¹, dosen00391@unpam.ac.id²

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi mendorong kebutuhan akan jaringan internet yang stabil dan efisien, khususnya di lingkungan pendidikan. SDN Sudimara Timur menggunakan dua jalur internet berbasis Fiber To The Building (FTTB) untuk mendukung aktivitas pembelajaran dan administrasi sekolah. Namun, sistem jaringan yang berjalan masih menggunakan pembagian koneksi secara terpisah pada masing-masing lantai tanpa adanya mekanisme distribusi trafik yang optimal. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan penggunaan bandwidth, meningkatnya delay, serta penurunan kualitas koneksi ketika trafik jaringan sedang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode Load Balancing Per Connection Classifier (PCC) pada MikroTik RouterOS guna meningkatkan efisiensi bandwidth dan kualitas layanan jaringan internet di SDN Sudimara Timur. Metode penelitian yang digunakan adalah Network Development Life Cycle (NDLC) yang terdiri dari tahapan analisis, desain, simulasi prototype, implementasi, dan monitoring. Pengujian performa jaringan dilakukan menggunakan parameter Quality of Service (QoS) meliputi throughput, delay, dan packet loss dengan bantuan aplikasi Wireshark serta mengacu pada standar TIPHON. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Load Balancing PCC mampu mendistribusikan trafik secara lebih merata pada kedua jalur ISP sehingga meningkatkan stabilitas koneksi internet. Nilai throughput mengalami peningkatan, delay berada pada kategori baik hingga sangat baik, dan packet loss berada pada kategori sangat baik. Dengan demikian, penerapan metode PCC pada jaringan FTTB terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi bandwidth serta mendukung kelancaran aktivitas pembelajaran dan administrasi sekolah..

Kata kunci: Load Balancing, PCC, MikroTik Router OS, Bandwidth, QoS, FTTB.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong kebutuhan terhadap jaringan internet yang cepat, stabil, dan efisien di berbagai sektor, terutama pada bidang pendidikan. Internet tidak hanya digunakan sebagai media komunikasi, tetapi juga menjadi infrastruktur utama dalam mendukung proses pembelajaran digital, administrasi sekolah, akses informasi akademik, serta penggunaan berbagai platform berbasis daring. Pemanfaatan internet yang semakin tinggi menyebabkan kebutuhan bandwidth pada lingkungan pendidikan meningkat secara signifikan. Kondisi tersebut menuntut adanya manajemen jaringan yang mampu menjaga kualitas layanan jaringan agar tetap optimal meskipun digunakan oleh banyak pengguna secara bersamaan. Salah satu faktor penting dalam menjaga kualitas jaringan adalah pengelolaan bandwidth yang efisien agar tidak terjadi penumpukan trafik pada satu jalur koneksi tertentu yang dapat mengakibatkan penurunan performa jaringan.

SDN Sudimara Timur merupakan salah satu instansi pendidikan yang telah memanfaatkan jaringan internet berbasis Fiber To The Building (FTTB) untuk mendukung kegiatan pembelajaran dan administrasi sekolah. Sekolah ini menggunakan dua jalur internet dari penyedia layanan yang berbeda dengan kapasitas masing-masing sebesar 50 Mbps. Akan tetapi, implementasi jaringan yang berjalan saat ini masih menggunakan sistem terpisah pada setiap lantai tanpa adanya mekanisme integrasi maupun pembagian beban trafik secara otomatis. Kondisi tersebut menyebabkan pemanfaatan bandwidth menjadi tidak merata. Ketika salah satu lantai mengalami lonjakan trafik akibat aktivitas pembelajaran daring atau penggunaan aplikasi berbasis internet secara bersamaan, maka koneksi internet menjadi lambat dan tidak stabil, sedangkan bandwidth pada jalur lain masih belum dimanfaatkan secara optimal. Permasalahan ini berdampak langsung terhadap kualitas layanan internet yang digunakan oleh guru, staf, maupun peserta didik dalam menjalankan aktivitas belajar mengajar.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas implementasi load balancing untuk meningkatkan performa jaringan internet. Penelitian yang dilakukan oleh Wiharti dkk. menunjukkan bahwa penerapan metode Per Connection Classifier (PCC) pada MikroTik mampu meningkatkan throughput dan memperbaiki kualitas delay serta packet loss pada jaringan multi ISP. Penelitian lain yang dilakukan oleh Nugroho dkk. membandingkan

Implementasi *Load Balancing* PCC (*Per Connection Classifier*) Untuk Efisiensi *Bandwidth* Pada Jaringan FTTB (*Fiber To The Building*) Dengan Mikrotik Routeros

metode NTH dan PCC dalam implementasi load balancing dan failover, di mana hasil pengujian menunjukkan peningkatan performa jaringan melalui pengurangan packet loss dan delay. Selain itu, penelitian oleh Pratomo membahas perbandingan metode failover menggunakan RSTP dan Routing Policy pada perangkat MikroTik yang menunjukkan bahwa sistem redundansi jaringan mampu menjaga kontinuitas koneksi ketika jalur utama mengalami gangguan. Penelitian-penelitian tersebut membuktikan bahwa load balancing memiliki peran penting dalam meningkatkan stabilitas dan efisiensi jaringan internet.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada implementasi load balancing pada lingkungan perkantoran, perusahaan, maupun jaringan umum berbasis multi ISP tanpa membahas penerapan metode PCC pada jaringan FTTB di lingkungan pendidikan dasar dengan kondisi distribusi bandwidth yang terpisah antar lantai. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya hanya menitikberatkan pada mekanisme failover atau perbandingan metode routing tanpa melakukan pengujian mendalam terhadap efisiensi bandwidth menggunakan parameter Quality of Service (QoS) seperti throughput, delay, dan packet loss pada kondisi trafik yang berbeda. Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat gap penelitian berupa belum optimalnya kajian implementasi load balancing PCC pada jaringan FTTB di lingkungan sekolah dasar untuk menciptakan distribusi bandwidth yang merata dan stabil.

Penelitian ini menawarkan kebaruan berupa implementasi metode Load Balancing Per Connection Classifier (PCC) pada jaringan FTTB dengan pendekatan integrasi dua jalur ISP menjadi satu resource bandwidth yang terpusat menggunakan MikroTik RouterOS. Metode PCC dipilih karena mampu mendistribusikan trafik berdasarkan koneksi pengguna secara proporsional dan menjaga konsistensi jalur koneksi sehingga penggunaan bandwidth menjadi lebih optimal. Selain itu, penelitian ini juga melakukan pengujian kualitas jaringan menggunakan parameter Quality of Service (QoS) berdasarkan standar TIPHON untuk mengetahui peningkatan performa jaringan setelah implementasi load balancing dilakukan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengimplementasikan metode Load Balancing PCC pada jaringan FTTB di SDN Sudimara Timur guna meningkatkan efisiensi bandwidth dan kualitas layanan jaringan internet. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi terhadap permasalahan distribusi bandwidth yang tidak merata serta mendukung terciptanya jaringan internet yang stabil, efisien, dan reliabel dalam menunjang kegiatan pembelajaran maupun administrasi sekolah.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Network Development Life Cycle* (NDLC) sebagai pendekatan utama dalam perancangan dan implementasi sistem jaringan. Metode NDLC dipilih karena mampu memberikan tahapan pengembangan jaringan yang sistematis mulai dari analisis kebutuhan hingga proses monitoring jaringan setelah implementasi dilakukan. Penelitian dilakukan di SDN Sudimara Timur dengan objek penelitian berupa jaringan internet berbasis *Fiber To The Building* (FTTB) yang menggunakan dua jalur ISP dengan kapasitas masing-masing sebesar 50 Mbps. Fokus penelitian diarahkan pada implementasi *Load Balancing* menggunakan metode *Per Connection Classifier* (PCC) pada perangkat MikroTik RouterOS untuk meningkatkan efisiensi bandwidth dan kualitas layanan jaringan.

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah proses analisis (*analysis*). Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap kondisi jaringan yang sedang berjalan melalui observasi langsung, wawancara, dan pengamatan trafik jaringan. Analisis dilakukan untuk mengetahui permasalahan distribusi bandwidth, kondisi trafik internet, serta kualitas layanan jaringan sebelum implementasi sistem dilakukan. Pengukuran performa jaringan dilakukan menggunakan parameter *Quality of Service* (QoS) yang meliputi throughput, delay, dan packet loss dengan bantuan aplikasi Wireshark sebagai alat monitoring paket data jaringan.

Tahapan kedua adalah proses desain (*design*). Pada tahap ini dilakukan perancangan topologi jaringan usulan yang mengintegrasikan dua jalur ISP menggunakan metode *Load Balancing PCC*. Perancangan dilakukan dengan menentukan konfigurasi IP Address, NAT, DNS, DHCP Server, serta pengaturan mangle dan routing pada MikroTik RouterOS. Metode PCC digunakan untuk membagi trafik koneksi berdasarkan klasifikasi koneksi pengguna sehingga distribusi bandwidth dapat dilakukan secara merata pada kedua jalur ISP.

Tahapan berikutnya adalah simulasi dan implementasi (*simulation prototype* dan *implementation*). Pada tahap ini dilakukan konfigurasi perangkat jaringan menggunakan MikroTik RouterBoard melalui aplikasi Winbox. Implementasi meliputi konfigurasi DHCP Client, DNS Server, NAT, Address List, Mangle PCC, serta Routing Gateway untuk kedua jalur internet. Setelah konfigurasi selesai dilakukan, sistem diuji dengan melakukan pengukuran kualitas jaringan pada kondisi trafik tinggi dan rendah guna mengetahui efektivitas metode PCC dalam mendistribusikan trafik jaringan.

Tahapan terakhir adalah monitoring (*monitoring*). Pada tahap ini dilakukan pemantauan terhadap performa jaringan setelah implementasi load balancing diterapkan. Monitoring dilakukan menggunakan aplikasi Wireshark dan PRTG Network Monitor untuk mengamati kestabilan koneksi, penggunaan bandwidth, serta perubahan nilai throughput, delay, dan packet loss. Data hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar TIPHON untuk mengetahui tingkat kualitas layanan jaringan setelah implementasi sistem dilakukan.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa teknik, yaitu observasi, wawancara, kuisi, dan studi literatur. Observasi dilakukan dengan mengamati langsung kondisi jaringan internet di SDN Sudimara Timur. Wawancara dilakukan kepada pihak sekolah untuk memperoleh informasi terkait kebutuhan jaringan dan kendala yang sering terjadi. Kuisi digunakan untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna terhadap kualitas layanan internet yang tersedia. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari jurnal ilmiah, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan load balancing, PCC, MikroTik RouterOS, dan Quality of Service.

Perhitungan parameter QoS dilakukan menggunakan rumus throughput, delay, dan packet loss. Persamaan throughput digunakan untuk mengetahui kemampuan aktual jaringan dalam mentransfer data selama proses pengujian berlangsung. Persamaan throughput dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Besar Data yang Ditransfer}}{\text{Waktu Pengamatan}}$$

Keterangan pada persamaan tersebut menunjukkan bahwa throughput merupakan hasil pembagian antara jumlah data yang berhasil dikirim dengan lama waktu pengamatan yang dilakukan selama proses pengujian jaringan.

Perhitungan delay digunakan untuk mengetahui waktu tunda pengiriman paket data dari sumber menuju tujuan. Persamaan delay dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Delay} = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total Paket yang Diterima}}$$

Nilai delay diperoleh dari total waktu pengiriman paket yang dibagi dengan jumlah paket data yang berhasil diterima selama proses transmisi berlangsung.

Sementara itu, packet loss digunakan untuk mengetahui jumlah paket data yang hilang selama proses pengiriman data dalam jaringan. Persamaan packet loss dituliskan sebagai berikut:

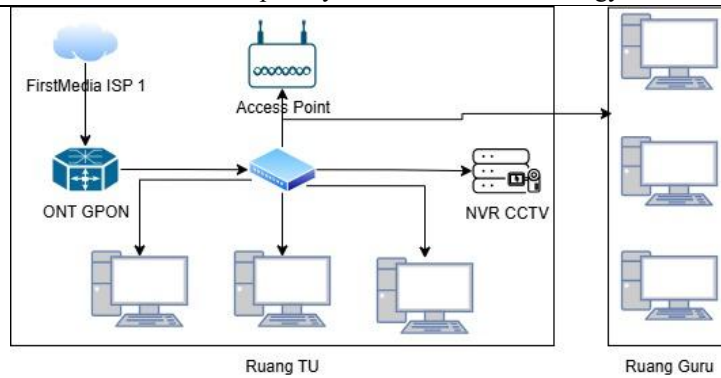
$$\text{Packet Loss} = \frac{\text{Paket Dikirim} - \text{Paket Diterima}}{\text{Paket Dikirim}} \times 100\%$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa packet loss dihitung berdasarkan selisih jumlah paket data yang dikirim dan diterima dibandingkan dengan total paket yang dikirim selama proses pengujian jaringan berlangsung.

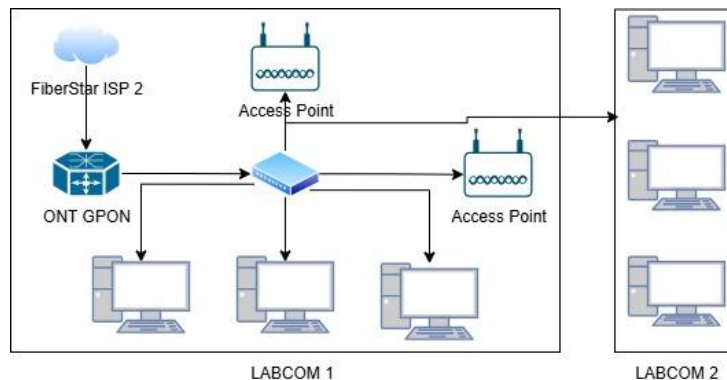
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Analisis Sistem Berjalan

Sistem jaringan internet yang berjalan di SDN Sudimara Timur masih menggunakan skema jaringan FTTB (*Fiber To The Building*) dengan dua jalur ISP yang bekerja secara terpisah pada masing-masing lantai. Lantai satu menggunakan satu jalur ISP dengan bandwidth 50 Mbps dan lantai dua menggunakan jalur ISP lainnya dengan kapasitas yang sama. Pada kondisi ini, kedua koneksi bekerja secara *standalone* tanpa adanya integrasi jaringan maupun mekanisme pembagian beban trafik (*load balancing*).



Gambar 1. Analisa Sistem Berjalan Penelitian L1



Gambar 2. Analisa Sistem Berjalan Penelitian L2

Kondisi tersebut menyebabkan pemanfaatan bandwidth menjadi kurang optimal karena distribusi trafik tidak dapat dilakukan secara merata. Ketika salah satu lantai mengalami peningkatan penggunaan internet, maka koneksi pada jalur tersebut akan mengalami overload sehingga menyebabkan koneksi lambat, delay tinggi, serta terjadinya packet loss. Sementara itu, jalur internet pada lantai lain masih memiliki bandwidth yang belum dimanfaatkan secara maksimal.

Selain itu, sistem jaringan yang berjalan belum memiliki mekanisme backup koneksi atau failover otomatis apabila salah satu ISP mengalami gangguan. Akibatnya, aktivitas pembelajaran berbasis internet, penginputan data administrasi sekolah, dan penggunaan aplikasi daring sering mengalami hambatan ketika koneksi internet tidak stabil.

Berdasarkan hasil observasi dan pengukuran awal menggunakan Wireshark, ditemukan beberapa permasalahan pada sistem berjalan, yaitu:

1. Distribusi bandwidth belum merata antar pengguna jaringan.
2. Terjadi penurunan throughput ketika trafik jaringan meningkat.
3. Nilai delay cukup tinggi pada jam sibuk penggunaan internet.
4. Packet loss meningkat ketika banyak pengguna mengakses internet secara bersamaan.
5. Belum adanya sistem penggabungan bandwidth antar ISP.

Untuk memperjelas kondisi sistem berjalan, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Analisis Sistem Berjalan

No	Kondisi Sistem Berjalan	Dampak
1	Setiap lantai menggunakan ISP secara terpisah	Bandwidth tidak dapat dibagi secara merata
2	Tidak terdapat load balancing	Trafik menumpuk pada satu jalur koneksi
3	Tidak ada mekanisme backup koneksi	Koneksi terputus saat ISP mengalami gangguan

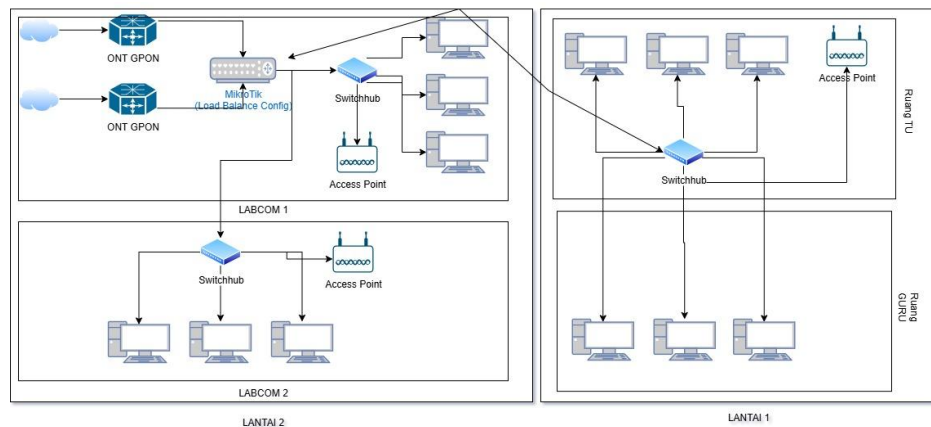
4	Pemanfaatan bandwidth belum optimal	Sebagian bandwidth tidak digunakan maksimal
5	Trafik tinggi menyebabkan overload	Koneksi internet menjadi lambat dan tidak stabil

Berdasarkan hasil pengamatan throughput sebelum implementasi sistem, nilai throughput masih berada pada kategori buruk berdasarkan standar TIPHON. Hal ini menunjukkan bahwa performa jaringan internet masih belum optimal dalam mendukung aktivitas pengguna di lingkungan sekolah.

3.2 Analisis Sistem Usulan

Berdasarkan permasalahan pada sistem berjalan, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem *Load Balancing Per Connection Classifier* (PCC) menggunakan MikroTik RouterOS. Sistem usulan dirancang untuk mengintegrasikan dua jalur ISP menjadi satu resource bandwidth yang dapat digunakan secara bersamaan oleh seluruh pengguna jaringan.

Metode PCC dipilih karena mampu mendistribusikan koneksi pengguna secara proporsional berdasarkan klasifikasi koneksi (*connection classifier*). Dengan metode ini, setiap koneksi pengguna akan diarahkan ke salah satu jalur ISP secara otomatis sehingga trafik jaringan dapat terbagi secara merata dan stabil.



Gambar 3. Design Sistem Usulan

Pada sistem usulan, kedua ISP akan dikonfigurasi pada MikroTik RouterBoard sebagai gateway utama jaringan. Selanjutnya dilakukan konfigurasi *mangle* PCC untuk mengelompokkan trafik koneksi berdasarkan sumber dan tujuan paket data. Sistem juga dilengkapi dengan mekanisme routing untuk mengatur jalur keluar masuk trafik internet secara otomatis.

Implementasi sistem usulan memberikan beberapa peningkatan dibandingkan sistem sebelumnya, antara lain:

1. Distribusi bandwidth menjadi lebih merata.
2. Pemanfaatan bandwidth lebih optimal karena kedua ISP digunakan secara bersamaan.
3. Mengurangi terjadinya overload pada salah satu jalur koneksi.
4. Meningkatkan stabilitas jaringan internet.
5. Memperbaiki kualitas layanan jaringan berdasarkan parameter QoS.

Untuk memperjelas perbandingan sistem berjalan dan sistem usulan, dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Sistem Berjalan Dan Sistem Usulan

Aspek	Sistem Berjalan	Sistem Usulan
Penggunaan ISP	Terpisah per lantai	Digabung menggunakan PCC
Distribusi Bandwidth	Tidak merata	Merata dan otomatis
Load Balancing	Tidak tersedia	Menggunakan PCC
Stabilitas Jaringan	Kurang stabil	Lebih stabil
Pemanfaatan Bandwidth	Belum optimal	Optimal
Backup Koneksi	Tidak tersedia	Mendukung pengalihan trafik

Kualitas QoS	Delay dan packet loss tinggi	Delay dan packet loss menurun
---------------------	------------------------------	-------------------------------

Topologi sistem usulan menggunakan satu perangkat MikroTik RouterBoard sebagai pusat pengaturan trafik jaringan. Kedua jalur ISP dihubungkan ke MikroTik melalui interface yang berbeda, kemudian trafik pengguna didistribusikan menggunakan metode PCC menuju masing-masing gateway ISP secara otomatis.

3.3 Hasil Pengujian Throughput

Pengujian throughput dilakukan untuk mengetahui kemampuan jaringan dalam mentransfer data setelah implementasi load balancing PCC diterapkan. Pengujian dilakukan selama empat hari menggunakan aplikasi Wireshark.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa throughput mengalami peningkatan setelah implementasi PCC diterapkan. Sebelum implementasi, throughput rata-rata berada pada kategori buruk karena trafik jaringan masih terfokus pada satu jalur koneksi. Setelah implementasi dilakukan, distribusi trafik menjadi lebih merata sehingga kemampuan transfer data meningkat secara signifikan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Throughput

Hari	Lantai	Sebelum PCC	Sesudah PCC	Keterangan
1	Lantai 1	949 Kbit/s	Meningkat	Trafik lebih stabil
1	Lantai 2	2241 Kbit/s	Meningkat	Bandwidth lebih optimal
2	Lantai 1	1479 Kbit/s	Meningkat	Delay berkurang
2	Lantai 2	1307 Kbit/s	Meningkat	Koneksi lebih merata

Peningkatan throughput menunjukkan bahwa metode PCC berhasil memanfaatkan kedua jalur ISP secara bersamaan sehingga kapasitas bandwidth dapat digunakan lebih optimal.

3.4 Hasil Pengujian Delay

Pengujian delay dilakukan untuk mengetahui waktu tunda pengiriman paket data pada jaringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi PCC mampu menurunkan nilai delay terutama pada kondisi trafik tinggi.

Sebelum implementasi dilakukan, delay cukup tinggi akibat terjadinya antrean paket data pada satu jalur koneksi. Setelah penerapan load balancing PCC, trafik terbagi secara merata sehingga waktu pengiriman paket data menjadi lebih cepat.

Tabel 4. Hasil Pengujian Delay

Kondisi	Sebelum PCC	Sesudah PCC	Kategori TIPHON
Trafik Tinggi	Tinggi	Menurun	Baik
Trafik Normal	Sedang	Rendah	Sangat Baik

Penurunan delay membuktikan bahwa metode PCC mampu meningkatkan respons jaringan dan menjaga stabilitas koneksi internet.

3.5 Hasil Pengujian Packet Loss

Pengujian packet loss dilakukan untuk mengetahui jumlah paket data yang hilang selama proses transmisi jaringan berlangsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa packet loss mengalami penurunan setelah implementasi PCC diterapkan.

Sebelum implementasi, packet loss meningkat ketika banyak pengguna mengakses jaringan secara bersamaan akibat overload pada salah satu jalur ISP. Setelah implementasi load balancing PCC dilakukan, distribusi trafik menjadi lebih seimbang sehingga kehilangan paket data dapat diminimalkan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Packet Loss

Kondisi	Sebelum PCC	Sesudah PCC	Kategori TIPHON
Trafik Tinggi	Tinggi	Rendah	Sangat Baik
Trafik Normal	Sedang	Sangat Rendah	Sangat Baik

Penurunan packet loss menunjukkan bahwa sistem usulan mampu menjaga kualitas layanan jaringan dan meningkatkan kestabilan koneksi internet di SDN Sudimara Timur.

3.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem, metode *Load Balancing Per Connection Classifier* (PCC) terbukti mampu meningkatkan efisiensi bandwidth pada jaringan FTTB di SDN Sudimara Timur. Sistem yang sebelumnya bekerja secara terpisah kini dapat memanfaatkan kedua jalur ISP secara bersamaan sehingga distribusi trafik menjadi lebih optimal.

Hasil pengujian throughput menunjukkan peningkatan performa transfer data setelah implementasi PCC diterapkan. Selain itu, nilai delay dan packet loss mengalami penurunan sehingga kualitas layanan jaringan menjadi lebih baik berdasarkan standar TIPHON.

Metode PCC juga mampu mengurangi penumpukan trafik pada satu jalur koneksi karena setiap koneksi pengguna didistribusikan secara otomatis ke jalur ISP yang tersedia. Kondisi ini membuat koneksi internet menjadi lebih stabil meskipun digunakan secara bersamaan oleh banyak pengguna.

Dengan demikian, implementasi load balancing PCC menggunakan MikroTik RouterOS dapat menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan kualitas jaringan internet di lingkungan pendidikan, khususnya pada sekolah yang memiliki kebutuhan akses internet tinggi untuk mendukung kegiatan pembelajaran dan administrasi berbasis digital.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, implementasi *Load Balancing Per Connection Classifier* (PCC) pada jaringan *Fiber To The Building* (FTTB) di SDN Sudimara Timur berhasil meningkatkan efisiensi bandwidth dan kualitas layanan jaringan internet. Sistem yang sebelumnya menggunakan dua jalur ISP secara terpisah berhasil diintegrasikan menggunakan MikroTik RouterOS sehingga kedua koneksi internet dapat dimanfaatkan secara bersamaan untuk mendistribusikan trafik pengguna secara lebih merata dan stabil. Hasil pengujian menggunakan parameter *Quality of Service* (QoS) menunjukkan bahwa implementasi metode PCC mampu meningkatkan nilai throughput, menurunkan delay, serta mengurangi packet loss dibandingkan kondisi jaringan sebelum implementasi dilakukan. Peningkatan performa jaringan tersebut membuktikan bahwa metode PCC efektif dalam mengatasi permasalahan ketidakseimbangan trafik dan overload pada salah satu jalur koneksi internet. Selain itu, sistem usulan juga mampu meningkatkan stabilitas koneksi internet pada lingkungan sekolah, terutama dalam mendukung aktivitas pembelajaran berbasis digital, akses aplikasi administrasi sekolah, serta penggunaan internet secara bersamaan oleh banyak pengguna. Dengan demikian, implementasi *Load Balancing PCC* menggunakan MikroTik RouterOS dapat menjadi solusi yang efektif dan efisien dalam optimalisasi manajemen bandwidth pada jaringan pendidikan berbasis FTTB.

Reference

- Aldori, M. (2021). Implementasi Load Balancing PCC Pada Jaringan Multi ISP Menggunakan Mikrotik Routeros. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 8(2), 120–128. <https://doi.org/10.31294/Jtik.V8i2.10234>
- Afriansyah, R., & Gunawan, D. (2022). Analisis Performa Jaringan ISP Berbasis Fiber Optik Pada Institusi Pendidikan. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Perangkat Lunak*, 4(1), 15–23. <https://doi.org/10.33365/Jatika.V4i1.1850>
- Ariyadi, M., & Maulana, R. (2021). Implementasi Mikrotik Routerboard Sebagai Pengelola Bandwidth Jaringan Sekolah. *Jurnal Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 9(3), 211–218. <https://doi.org/10.26418/Justin.V9i3.45211>
- Aya Sofia Dinafa, A., Nugraha, P., & Santoso, H. (2024). Implementasi Failover Dengan Koneksi GSM Di Router Mikrotik Untuk Meningkatkan Ketersediaan Jaringan Di TV Budaya Kabupaten Semarang. *JAMASTIKA*, 14(1), 44–52. <https://doi.org/10.34010/Jamastika.V14i1.10321>
- Darmawan, F., & Risnanto, S. (2023). Analisis Konfigurasi Jaringan Menggunakan Aplikasi Winbox Pada Mikrotik Routeros. *Jurnal Teknologi Komputer*, 13(2), 87–94. <https://doi.org/10.31294/Jtik.V13i2.14122>
- Dartono, D., & Usanto, B. (2021). Perbandingan Metode ECMP Dan PCC Pada Implementasi Load Balancing Jaringan Internet. *Jurnal Elektro Dan Informatika Swadharma*, 2(2), 67–75. <https://doi.org/10.56486/Jeis.V2i2.145>
- Faathir Haq, M. (2024). Analisis Implementasi Fiber To The Building Berbasis GPON Pada Gedung Bertingkat. *Jurnal Telekomunikasi Dan Teknologi Informasi*, 12(1), 33–41. <https://doi.org/10.20895/Jtti.V12i1.2211>
- Fariz, M., & Arifudin, A. (2021). Pengukuran Throughput Jaringan Menggunakan Metode Quality Of Service Pada Jaringan Sekolah. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 7(1), 25–33. <https://doi.org/10.28932/Jutisi.V7i1.3211>
- Gede Widia Pratama Putra, I., Sudarma, M., & Saputra, K. (2020). Analisis Quality Of Service Jaringan Internet Menggunakan Standar TIPHON. *Jurnal SPEKTRUM*, 7(3), 50–58. <https://doi.org/10.24843/Spektrum.2020.V07.I03.P08>
- Mardianto, R., Hidayat, T., & Nugroho, A. (2024). Analisis Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Komputer Menggunakan Mikrotik Routeros. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 8(1), 115–123. <https://doi.org/10.30865/Mib.V8i1.7150>
- Muhammad Firdaus Ilhamy, M., & Slameto, A. (2024). Implementasi Mikrotik Routeros Untuk Optimasi Jaringan Internet Berbasis Load Balancing. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 12(2), 98–106. <https://doi.org/10.14710/Jtsiskom.2024.19872>
- Muzaki Wayoi, A., Putra, D., & Haryanto, R. (2024). Implementasi Optical Network Terminal Pada Arsitektur Jaringan FTTB Berbasis GPON. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 13(1), 40–49. <https://doi.org/10.35793/Jtek.13.1.2024.42112>

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.9391>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

-
- Najma, A., Suryani, E., & Hidayatullah, M. (2024). Monitoring Jaringan Menggunakan PRTG Network Monitor Untuk Meningkatkan Stabilitas Layanan Internet. *Jurnal RESTI*, 8(1), 210–218. <https://doi.org/10.29207/Resti.V8i1.5620>
- Nugroho, A., Saputra, R., & Wibowo, D. (2023). Implementasi Load Balancing Dan Failover Pada Jaringan Internet Menggunakan Metode NTH. *Jurnal Elektro Dan Informatika Swadharma*, 3(1), 10–18. <https://doi.org/10.56486/Jeis.V3i1.312>
- Pratomo, A. B. (2024). Perbandingan Metode Failover RSTP Dan Routing Policy Pada Router Mikrotik. *Bulletin Of Network Engineer And Informatics*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.56741/Bnei.V2i1.411>
- Rosano, M., Prasetyo, A., & Hidayat, F. (2020). Efisiensi Penggunaan Bandwidth Pada Jaringan Komputer Berbasis Load Balancing. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 14(2), 91–100. <https://doi.org/10.32815/Jitika.V14i2.478>
- Saputra, H., Maulana, I., & Setiawan, R. (2023). Analisis Quality Of Service Jaringan Internet Berbasis Wireshark Pada Lingkungan Pendidikan. *Jurnal Informatika Upgris*, 9(2), 134–142. <https://doi.org/10.26877/Jiu.V9i2.15622>
- Sidqi, M., & Nathasia, N. (2021). Pengaruh Kebutuhan Bandwidth Terhadap Performa Jaringan Internet Pada Institusi Pendidikan. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Elektronik*, 4(2), 88–95. <https://doi.org/10.36595/Jire.V4i2.410>
- Tantoni, A., Wijaya, R., & Setiawan, D. (2021). Implementasi Load Balancing Dan Failover Menggunakan Mikrotik Routeros Pada Jaringan Multi ISP. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 8(5), 1023–1030. <https://doi.org/10.25126/Jtiik.202185412>
- Wiharti, N., Saputri, L., & Kurniawan, A. (2023). Load Balancing And Failover Mikrotik Implementation Using Per Connection Classifier (PCC) On Two Internet Providers Interconnection. *International Journal Of Advanced Science Computing And Engineering*, 5(2), 77–85. <https://doi.org/10.30630/Ijasce.V5i2.215>
- Yuliana, D., Rahman, F., & Setyawan, A. (2022). Implementasi Metode Load Balancing Untuk Optimasi Bandwidth Jaringan Internet. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 11(1), 66–74. <https://doi.org/10.30646/Tikomsin.V11i1.662>