Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

# Implementasi Topologi Tree Bertingkat Untuk Efisiensi Infrastruktur Dan Stabilitas Layanan Pada Jaringan Hibrida Serat Optik

*Khaidir[1], Fatma Hasibuan[2], Rezekia Ritonga[3], Maulida Arfani Hrp[4], Rohani[5]*

Email: bayo.nasoetionn@gmail.com, fatmahasibuan92@gmail.com, kiaartg@gmail.com, pgallery489@gmail.com, pasariburohani@gmail.com

[1 2345 6]Teknologi Informasi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Unversitas Labuhanbatu

## ABSTRAK

Permasalahan utama pada distribusi internet skala mikro di wilayah pesisir adalah tingginya biaya investasi (CAPEX) infrastruktur serat optik dan instabilitas koneksi pada media nirkabel. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan solusi jaringan hibrida (PPPoE dan Hotspot) menggunakan arsitektur Active Optical Network (AON) dengan topologi Tree bertingkat (estafet) berbasis metode Single Interface. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental lapangan dengan merancang bangun jaringan serat optik yang mengintegrasikan layanan hibrida pada satu antarmuka fisik router tanpa segmentasi VLAN, serta menerapkan manajemen bandwidth Hierarchical Token Bucket (HTB). Hasil penelitian menunjukkan bahwa topologi estafet mampu meningkatkan efisiensi penggunaan kabel hingga 50% dibandingkan topologi Star. Kualitas transmisi fisik tercatat sangat baik dengan redaman akhir sebesar -2.39 dBm dan loss rata-rata 0.23 dB/km. Dari sisi performa, manajemen HTB berhasil menjaga stabilitas latensi pada kisaran 17-38 ms untuk trafik game online meskipun jalur unduhan sedang padat, dengan efisiensi beban kerja CPU router yang hanya mencapai 4%. Sistem ini terbukti menjadi solusi infrastruktur yang hemat biaya namun tangguh untuk penyedia layanan internet lokal.

## ARTICLE INFO

***Article History:***
*Received*
*Revised*
*Accepted*
*Available online*

***Kata Kunci:***
*Efisiensi Infrastruktur*
*HTB*
*Jaringan Hibrida*
*Serat Optik Estafet*
*Single Interface*

© Journal Computer Science and Information Technology(JCoInT)

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akses internet pita lebar (broadband) di wilayah berkembang terus mengalami peningkatan signifikan, menuntut penyedia layanan untuk menghadirkan konektivitas yang tidak hanya cepat, tetapi juga stabil dan terjangkau. Namun, pemerataan infrastruktur digital seringkali terkendala oleh kondisi geografis dan biaya investasi yang tinggi. Selama ini, banyak pengelola jaringan skala mikro (RT/RW Net) mengandalkan teknologi nirkabel (Wireless) sebagai tulang punggung distribusi karena kemudahan instalasi [1]. Sayangnya, teknologi ini memiliki kelemahan mendasar pada stabilitas sinyal akibat interferensi frekuensi dan gangguan cuaca, yang berdampak pada penurunan Quality of Service (QoS), terutama tingginya jitter dan latensi [2].

Migrasi ke media transmisi serat optik (Fiber Optic) menjadi solusi teknis yang ideal karena karakteristiknya yang kebal terhadap interferensi elektromagnetik dan memiliki kapasitas bandwidth besar [3]. Kendati demikian, adopsi teknologi serat optik sering terhambat oleh tingginya belanja modal (Capital Expenditure/CAPEX). Penerapan topologi konvensional seperti Star atau Point-to-Point membutuhkan penarikan kabel dalam jumlah besar dari pusat data ke setiap titik distribusi, yang dinilai tidak efisien secara biaya [4]. Selain itu, kompleksitas konfigurasi perangkat aktif seperti Switch Manageable untuk segmentasi VLAN (Virtual Local Area Network) turut menambah beban biaya perangkat [5].

Untuk menjawab tantangan efisiensi biaya tanpa mengorbankan kualitas layanan, penelitian ini mengusulkan implementasi topologi Tree Bertingkat (Estafet) dalam arsitektur Active Optical Network (AON). Berbeda dengan Passive Optical Network (PON), arsitektur ini memanfaatkan Media Converter sebagai titik regenerasi sinyal aktif [6]. Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada penerapan metode Single Interface Multi-Service, di mana layanan hibrida (PPPoE dan Hotspot) didistribusikan melalui satu antarmuka fisik dan satu jalur kabel utama secara berantai, tanpa menggunakan VLAN tagging. Pendekatan ini bertujuan untuk membuktikan efisiensi infrastruktur fisik dan menganalisis stabilitas latensi layanan di bawah manajemen bandwidth Hierarchical Token Bucket (HTB) [7].

## 2. METODE PENELITIAN

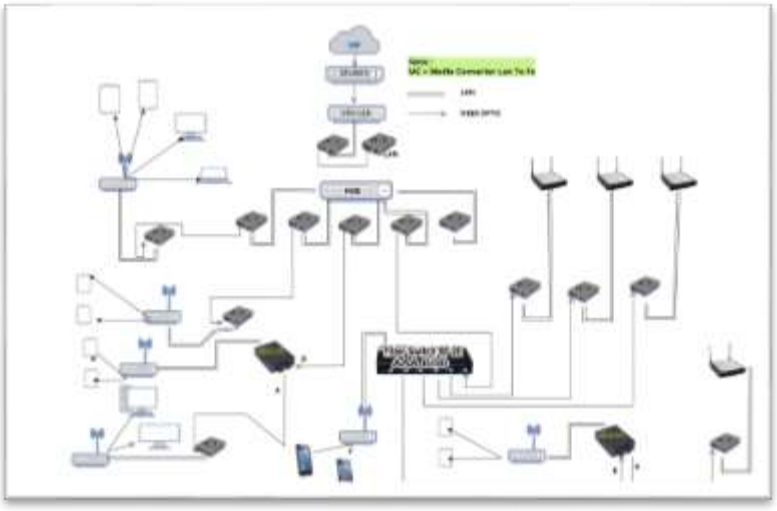
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental lapangan (field research) dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian dilaksanakan pada infrastruktur jaringan internet mandiri di wilayah Pesisir Labuhanbatu yang melayani 80 pengguna aktif. Tahapan penelitian meliputi perancangan topologi, instalasi fisik, konfigurasi sistem, dan pengukuran parameter kinerja jaringan (QoS).

### 2.1 Perancangan Arsitektur Jaringan

Topologi jaringan dirancang menggunakan model Hybrid Star-Tree. Distribusi utama dari Core Router menuju titik distribusi menggunakan model Star, yang

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

kemudian dilanjutkan dengan model Tree (Estafet) ke titik-titik berikutnya menggunakan kabel serat optik Single Mode.

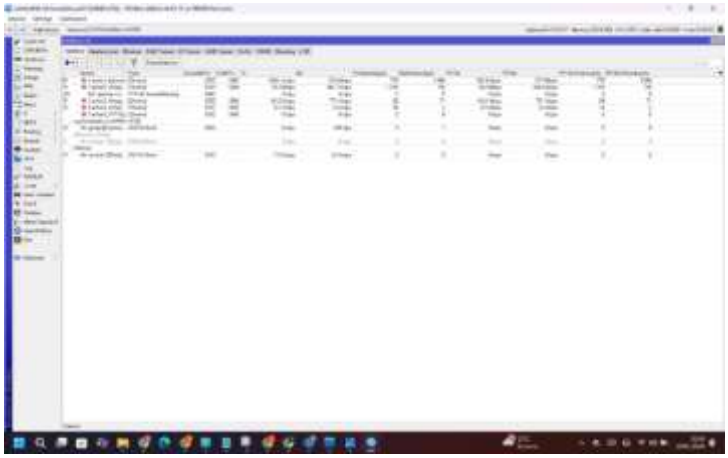


Gambar 1. Arsitektur Topologi Jaringan Hibrida (Star-Tree Combination) Berbasis Serat Optik
(Sumber: Data Olahan Penulis)

Seperti terlihat pada Gambar 1, sistem ini memanfaatkan Fiber Switch 6 Port dan Media Converter secara berantai. Desain ini memungkinkan satu jalur kabel utama melayani area yang luas dengan percabangan yang fleksibel, meminimalisir kebutuhan kabel backbone yang keluar dari ruang server.

### 2.2 Konfigurasi Single Interface

Sistem menerapkan konsep Single Interface, di mana satu port fisik pada router (MikroTik RB450Gx4) dikonfigurasi untuk membawa trafik PPPoE (untuk klien rumahan) dan Hotspot (untuk klien seluler) secara bersamaan tanpa enkapsulasi VLAN.



Gambar 2. Tampilan Interface List Menunjukkan Koeksistensi Layanan
(Sumber: Hasil Penelitian )

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

Gambar 2 memperlihatkan antarmuka virtual PPPoE Server Binding berjalan di atas antarmuka fisik yang sama dengan layanan Hotspot. Hal ini menyederhanakan manajemen jaringan dan meniadakan kebutuhan Switch Manageable di sisi distribusi.

### 2.3 Implementasi Fisik

Penyambungan kabel serat optik dilakukan menggunakan teknik Fusion Splicing presisi tinggi untuk meminimalisir redaman pada sambungan, mengingat topologi estafet rentan terhadap akumulasi loss [8].

Gambar 3. Proses Terminasi Menggunakan Fusion Splicer
(Sumber: Dokumentasi Penulis )

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi kinerja sistem dilakukan berdasarkan tiga parameter utama: efisiensi infrastruktur, kualitas transmisi fisik, dan stabilitas layanan (QoS).

### 3.1 Analisis Efisiensi Infrastruktur

Penerapan topologi Tree bertingkat terbukti secara signifikan mengurangi kebutuhan material kabel. Berdasarkan data implementasi pada jalur distribusi sepanjang 400 meter, metode estafet hanya membutuhkan satu tarikan kabel utama yang bercabang di titik node, berbeda dengan metode Star yang membutuhkan penarikan kabel terdedikasi untuk setiap titik. Perhitungan komparatif menunjukkan penghematan penggunaan kabel serat optik mencapai 50%. Selain itu, eliminasi perangkat Switch Manageable menurunkan biaya investasi awal (CAPEX) sekitar 30% dibandingkan skenario konvensional [9].

### 3.2 Analisis Kualitas Transmisi Fisik

Pengukuran kualitas sinyal optik dilakukan menggunakan Optical Power Meter (OPM) dan Optical Time-Domain Reflectometer (OTDR). Meskipun menggunakan sistem estafet dengan banyak titik sambung, kualitas sinyal yang diterima di sisi pelanggan (End User) tercatat sangat baik.

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

Gambar 4.

Hasil Pengukuran Daya Terima (-2.39 dBm) (Sumber: Dokumentasi Penulis (2025))

Gambar 4 menunjukkan nilai redaman sebesar -2.39 dBm, jauh di atas ambang batas sensitivitas perangkat (-27 dBm). Hal ini diperkuat dengan analisis OTDR pada Gambar 5 yang menunjukkan grafik transmisi linear dengan rata-rata redaman kabel sebesar 0.23 dB/km pada panjang gelombang 1550 nm. Rendahnya nilai redaman ini disebabkan oleh penggunaan Media Converter aktif yang berfungsi meregenerasi sinyal di setiap hop, mengatasi kelemahan degradasi sinyal pada sistem pasif jarak jauh [10].

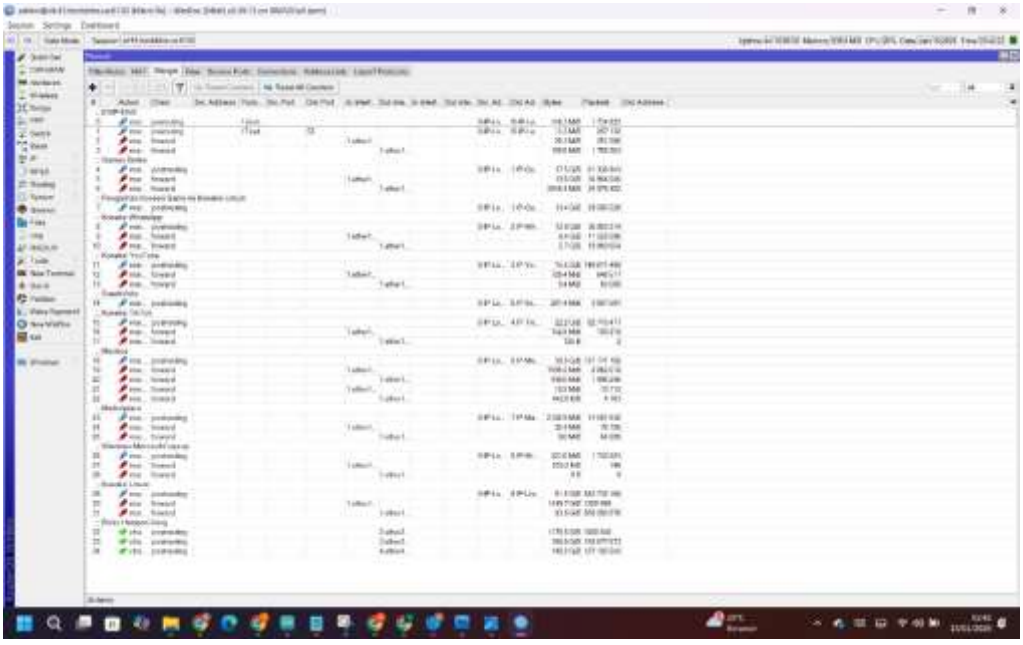
Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

Gambar 5. Grafik Analisis OTDR pada Jalur Distribusi

(Sumber: Dokumentasi Penulis)

### 3.3 Manajemen Bandwidth dan Stabilitas Latensi

Tantangan utama dalam penyatuan layanan pada satu antarmuka adalah potensi kemacetan trafik (bottleneck). Untuk mengatasinya, penelitian ini menerapkan klasifikasi paket (Packet Marking) pada fitur Mangle MikroTik.

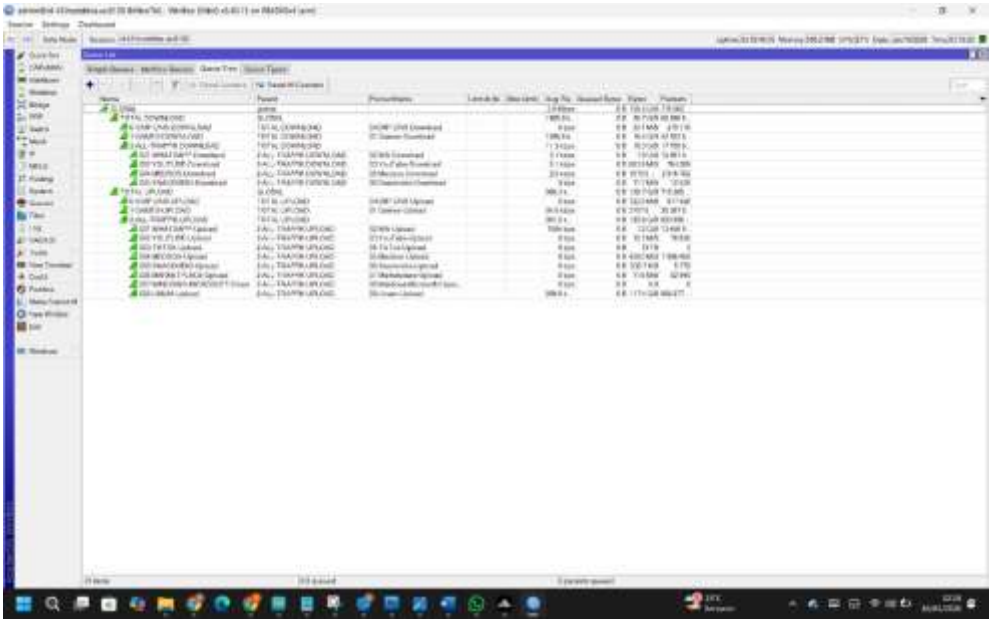


Gambar 6. Klasifikasi Paket Game Online pada Firewall Mangle

(Sumber: Hasil Penelitian )

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

Seperti terlihat pada Gambar 6, trafik aplikasi sensitif (Game Online) ditandai secara spesifik berdasarkan protokol dan port. Paket yang telah ditandai kemudian diprioritaskan menggunakan manajemen antrian bertingkat (Queue Tree) berbasis algoritma HTB.



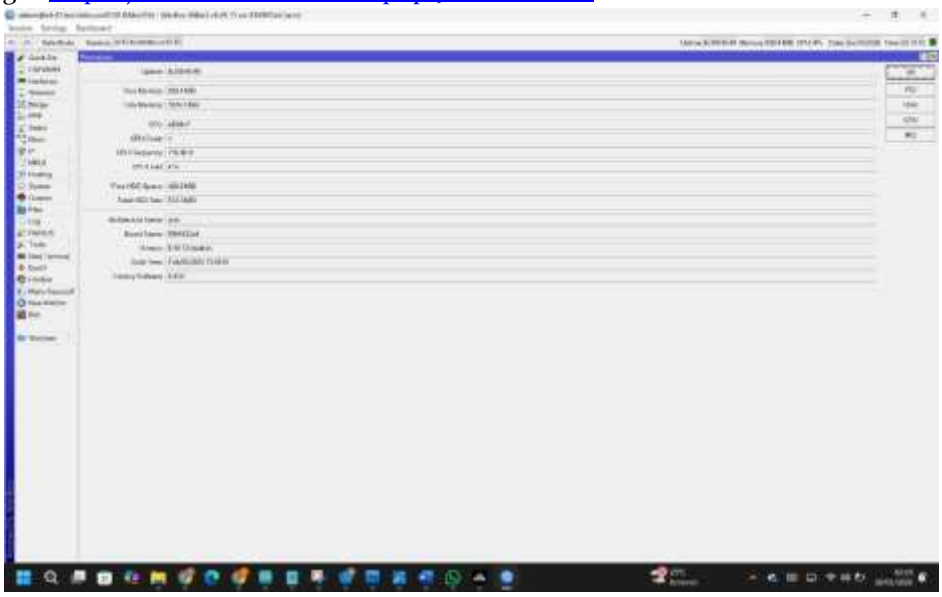
Gambar 7.Implementasi Antrian Bertingkat (Queue Tree)

(Sumber: Hasil Penelitian)

Efektivitas HTB terlihat pada Gambar 7. Meskipun trafik unduhan (Total Download) sedang tinggi, antrian untuk Game Online (warna hijau) tetap mendapatkan alokasi bandwidth prioritas dan terpisah dari trafik umum. Hasil pengujian ping menunjukkan latensi stabil di kisaran 17 ms hingga 38 ms pada jam sibuk, membuktikan bahwa mekanisme QoS ini efektif mencegah lag [11].

3.4 Efisiensi Sumber Daya Perangkat Salah satu indikator keberhasilan implementasi adalah beban kerja perangkat utama. Pemantauan pada Dashboard sistem menunjukkan efisiensi yang tinggi.

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index



Gambar 8. Statistik Sumber Daya Router pada Beban Aktif

(Sumber: Hasil Penelitian)

Sebagaimana ditunjukkan Gambar 8, utilisasi CPU (CPU Load) pada router RB450Gx4 hanya sebesar 4% dengan uptime sistem mencapai lebih dari 5 hari. Hal ini membuktikan bahwa metode Single Interface dan aturan Firewall yang kompleks tidak membebani kinerja komputasi router secara berlebihan, menjamin reliabilitas sistem untuk operasional jangka panjang [12].

## 4. KESIMPULAN

Implementasi topologi Tree bertingkat berbasis metode Single Interface pada jaringan hibrida serat optik terbukti menjadi solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi infrastruktur dan stabilitas layanan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode estafet mampu memangkas kebutuhan kabel serat optik hingga 50% dan meniadakan ketergantungan pada perangkat switch manajemen VLAN. Secara teknis, penggunaan arsitektur aktif menjaga kualitas sinyal tetap prima dengan redaman akhir -2.39 dBm. Penerapan algoritma HTB berhasil menjamin stabilitas latensi rendah untuk aplikasi real-time dengan penggunaan sumber daya CPU router yang sangat efisien (4%). Sistem ini direkomendasikan sebagai model referensi bagi pengembangan infrastruktur internet di wilayah dengan keterbatasan biaya investasi.

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

## DAFTAR PUSTAKA

[1] A. S. Pratama and D. Perdana, "Analisis Kualitas Layanan Jaringan Internet Berbasis Wireless LAN pada Lingkungan Perumahan," Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol (Telkomnika), vol. 18, no. 2, pp. 112-120, 2020.

[2] B. Santoso, "Evaluasi Kinerja Jaringan Wireless Point-to-Point Menggunakan Mikrotik NV2 pada Kondisi Cuaca Ekstrem," Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 7, no. 4, pp. 889-896, 2020.

[3] R. Hidayat and M. R. Al-Fauzan, "Perancangan Jaringan Akses Fiber to the Home (FTTH) Menggunakan Teknologi GPON," Jurnal Infotel, vol. 12, no. 3, pp. 101-109, 2020.

[4] I. W. Saputra and K. C. Dewi, "Analisis Perbandingan Biaya dan Kinerja Topologi Jaringan Fiber Optik Star dan Bus untuk Kawasan Residensial," Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, vol. 20, no. 1, pp. 45-52, 2021.

[5] D. Kurniawan, "Optimasi Manajemen Jaringan Menggunakan VLAN pada Switch Manageable untuk Efisiensi Trafik Data," Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON), vol. 3, no. 2, pp. 150-158, 2021.

[6] F. Rossi and G. Eason, Active Optical Networks: Architectures and Applications. New York: Springer, 2021.

[7] M. Arifin and A. Y. P. Wibowo, "Implementasi Manajemen Bandwidth Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket (HTB) pada Router Mikrotik," Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 5, no. 6, pp. 2340-2348, 2021.

[8] S. N. Khasanah, "Analisis Redaman Serat Optik Akibat Sambungan Fusion Splicing dan Bending pada Jaringan Akses," Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 11, no. 3, pp. 145-152, 2022.

[9] T. Handayani and A. Fauzi, "Analisis Techno-Economic Penggelaran Jaringan Fiber Optik Skala Mikro," Jurnal Ekonomi dan Teknik Sipil, vol. 6, no. 1, pp. 22-30, 2022.

[10] J. Senior, Optical Fiber Communications: Principles and Practice, 4th ed. London: Pearson Education, 2020.

[11] R. Towidjojo, MikroTik Kung Fu: Kitab 2 (Advance & QoS). Jakarta: Jasakom, 2021.

Volume: 6 Issue 2, 11,2025, Page: 198-207
eISSN: 2774-7751
Journal Homepage : http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index

[12] P. Nugraha, "Analisis Kinerja Router Mikrotik pada Jaringan High-Traffic Menggunakan Metode Load Balancing," Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi), vol. 6, no. 4, pp. 670-677, 2022.

[13] A. Wijaya and B. S. Nugroho, "Implementasi Jaringan Hybrid Fiber-Wireless untuk Pemerataan Akses Internet di Daerah 3T," IEEE Access (Indonesian Edition), vol. 9, pp. 150-165, 2023.