

Analisis Kinerja dan Efisiensi Infrastruktur Jaringan *Active Optical Network* (AON) Berbasis Distribusi Bertingkat pada Layanan Internet Skala Mikro

*M. Fachrurrozy*¹, *Dedi Kurniawan Tanjung*², *Amar Bina Taulini*³, *Rohani*

Email: m.Fachrurrozyo28@gmail.com, dedit8o6@gmail.com, tauladaniamarbina@gmail.com, pasariburohani@gmail.com

^{1,2,3,4,5,6}Teknologi Informasi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Labuhanbatu

ABSTRAK

Pertumbuhan permintaan akses internet berkecepatan tinggi di area residensial mendorong penyedia layanan skala mikro (RT/RW Net) untuk beralih ke infrastruktur serat optik. Namun, adopsi teknologi standar *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) sering terkendala tingginya biaya investasi perangkat *Optical Line Terminal* (OLT). Selain itu, penerapan topologi terpusat pada jaringan *Fiber To The Home* (FTTH) konvensional sering kali menyebabkan inefisiensi penggunaan kabel. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja arsitektur *Active Optical Network* (AON) menggunakan perangkat *Fiber Switch Board Gigabit* dengan metode distribusi bertingkat (*cascading*) sebagai solusi efisiensi biaya. Tantangan akumulasi latensi pada topologi bertingkat diatasi melalui integrasi manajemen *Quality of Service* (QoS) berbasis algoritma *Hierarchical Token Bucket* (HTB). Metode penelitian mencakup perancangan arsitektur jaringan, validasi kualitas fisik menggunakan *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR) dan *Optical Power Meter* (OPM), serta analisis trafik logikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode distribusi bertingkat mampu menghemat penggunaan kabel serat optik secara signifikan. Kualitas tautan fisik terukur sangat baik dengan redaman kabel rata-rata 0.23 dB/km dan daya terima sinyal -22.39 dBm. Secara logikal, penerapan HTB terbukti efektif menjaga stabilitas latensi trafik *game online* di bawah 30ms pada beban puncak. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi AON bertingkat dan manajemen trafik adaptif merupakan solusi infrastruktur yang efisien dan handal.

ARTICLE INFO

Article History:

Received

Revised

Accepted

Available online

Kata Kunci:

Kata ke Satu

Active Optical Network

Fiber Switch

Efisiensi Infrastruktur

HTB

Quality of Service.

Kata Ke Dua

1. PENDAHULUAN

Di era transformasi digital, ketersediaan infrastruktur internet yang handal menjadi kebutuhan vital bagi masyarakat. Peran Jaringan Komunitas atau RT/RW Net menjadi semakin strategis dalam memperluas penetrasi internet hingga ke level mikro, mengisi celah yang belum terjangkau secara optimal oleh penyedia layanan internet (ISP) besar [12]. Namun, tantangan utama dalam pengembangan infrastruktur jaringan komunitas adalah keterbatasan anggaran investasi (CAPEX) untuk perangkat keras standar industri [13].

Saat ini, teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) mendominasi arsitektur *Fiber To The Home* (FTTH) global. Meskipun menawarkan keandalan tinggi, implementasi GPON menuntut biaya awal yang besar untuk pengadaan *Optical Line Terminal* (OLT) dan sistem distribusi pasif yang kompleks [1], [2]. Sebagai alternatif, arsitektur *Active Optical Network* (AON) menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi dengan biaya yang lebih terjangkau untuk area dengan densitas penduduk rendah hingga menengah [4].

Permasalahan teknis muncul pada pemilihan topologi distribusi. Topologi *Star* murni (tarikan kabel terpusat) dinilai tidak efisien dari sisi penggunaan kabel (*cabling cost*). Di sisi lain, metode distribusi bertingkat (*cascading*) menggunakan *switch* sering dihindari karena persepsi negatif terkait akumulasi latensi dan risiko *bottleneck*. Padahal, dengan penggunaan perangkat *switching* berbasis Gigabit, hambatan *throughput* dapat diminimalisir [3].

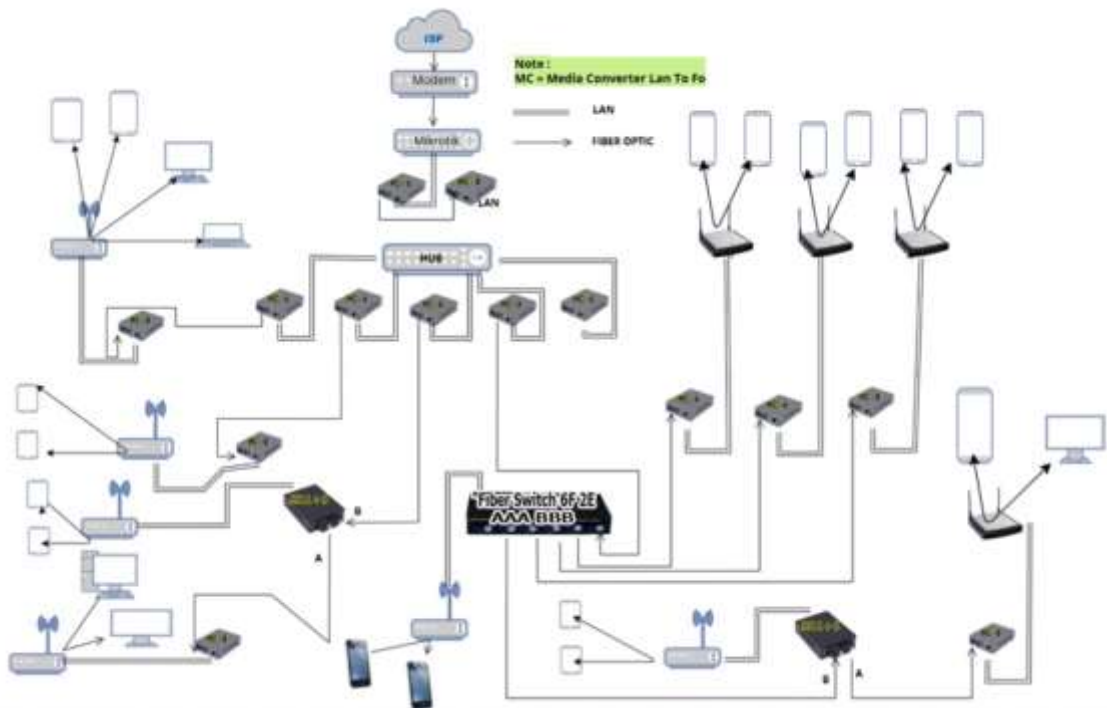
Penelitian ini mengusulkan pendekatan hibrida yang mengintegrasikan efisiensi perangkat keras *Fiber Switch Board* (AON) dalam topologi bertingkat dengan kecerdasan manajemen trafik perangkat lunak. Fokus penelitian ini adalah menganalisis apakah kombinasi infrastruktur biaya rendah (*low-cost*) dan manajemen *bandwidth* berbasis *Hierarchical Token Bucket* (HTB) mampu menghasilkan kualitas layanan (*Quality of Service*) yang setara dengan standar jaringan komersial.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental terapan dengan melakukan implementasi, pengukuran, dan analisis pada infrastruktur jaringan aktif.

2.1. Arsitektur Jaringan

Topologi jaringan dirancang menggunakan model *Hierarchical Star* (Pohon). Pusat kendali jaringan (*Network Operations Center*) menggunakan router Mikrotik RB450Gx4 yang berfungsi sebagai *gateway* utama, server autentikasi (PPPoE/Hotspot), dan pengelola lalu lintas data [14]. Distribusi data ke sisi pelanggan dilakukan melalui media serat optik *Single Mode* yang dihubungkan secara estafet menggunakan perangkat *Fiber Switch Board* 6 Port (6F 2E). Perangkat ini bertindak sebagai *active node* yang mendistribusikan sinyal Gigabit Ethernet ke titik-titik distribusi selanjutnya.



Gambar 1, Diagram Topologi Jaringan (Sumber: Data Olahan Penulis)

2.2. **Instrumen dan Parameter Pengukuran** Evaluasi kinerja infrastruktur dilakukan pada dua lapisan (*layer*):

1. **Validasi Layer Fisik**

Menggunakan standar pengukuran *Link Power Budget* dan analisis redaman serat optik. Alat ukur yang digunakan meliputi *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)* untuk mendeteksi kualitas bentangan kabel dan *loss* per kilometer, serta *Optical Power Meter (OPM)* untuk mengukur daya terima akhir [7].

2. **Validasi Layer Logikal**

Menggunakan parameter QoS (*latency, jitter, packet loss*) pada skenario beban trafik puncak. Manajemen trafik diterapkan menggunakan metode HTB untuk menjamin prioritas layanan *real-time* seperti *game online* [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Efisiensi Desain Infrastruktur

Penerapan topologi AON dengan metode distribusi bertingkat terbukti memberikan efisiensi signifikan pada aspek desain fisik. Berbeda dengan topologi terpusat yang mengharuskan penarikan kabel *drop core* individu dari server ke setiap *Optical Distribution Point* (ODP), metode ini memanfaatkan satu jalur *backbone* utama yang diteruskan antar *node*.

Berdasarkan analisis komparasi desain, metode ini mampu mereduksi kebutuhan total panjang kabel serat optik. Penghematan ini berdampak langsung pada penurunan biaya investasi infrastruktur. Penggunaan *Fiber Switch Board* Gigabit memastikan kapasitas antar *node* tetap terjaga pada 1000 Mbps, mengatasi masalah leher botol (*bottleneck*) yang sering terjadi pada implementasi topologi estafet menggunakan *Media Converter* Fast Ethernet (100 Mbps) [3].

3.2. Validasi Kualitas Fisik Jaringan

Kestabilan jaringan AON sangat bergantung pada kualitas media transmisi fisik. Pengukuran menggunakan OTDR Joinwit dilakukan pada jalur distribusi terjauh untuk memverifikasi karakteristik atenuasi kabel.



Gambar 2 Grafik OTDR (Sumber: Dokumentasi Penulis)

Hasil pengukuran pada Gambar 2 menunjukkan jarak tempuh kabel sejauh **0.648 km (648 meter)** dengan rata-rata redaman (*loss*) sebesar **0.23 dB/km**. Nilai ini berada jauh di bawah ambang batas maksimal standar ITU-T G.652 yaitu 0.35 dB/km, mengindikasikan kualitas penyambungan (*splicing*) dan instalasi kabel yang sangat baik [5]. Kualitas fisik yang baik ini krusial untuk meminimalisir *Bit Error Rate* (BER) pada transmisi data kecepatan tinggi.

Validasi akhir dilakukan di sisi perangkat pelanggan (*Optical Network Unit*) menggunakan OPM.



Gambar 3 Hasil Ukur OPM (Sumber: Dokumentasi Penulis)

Sebagaimana terlihat pada Gambar 3, daya terima sinyal tercatat sebesar **-22.39 dBm**. Nilai ini berada dalam rentang *safety margin* operasional perangkat optik (umumnya -3 dBm hingga -24 dBm) [6]. Hal ini membuktikan bahwa meskipun menggunakan topologi bertingkat dengan banyak titik sambung, *power budget* jaringan masih memenuhi standar kelayakan.

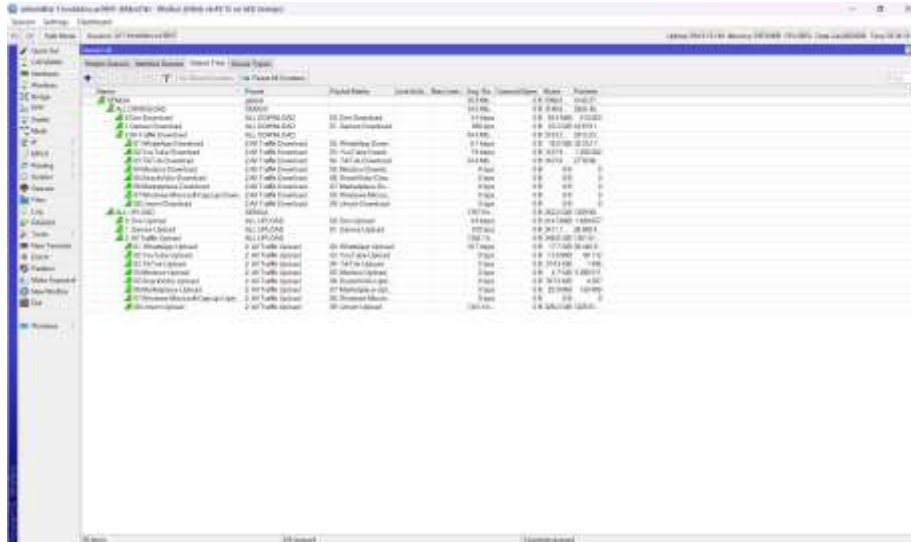
3.3. Evaluasi Kinerja QoS dan Stabilitas Koneksi

Tantangan utama pada jaringan dengan *bandwidth* agregat adalah kompetisi antara trafik unduhan besar (*bulk traffic*) dan trafik interaktif (*interactive traffic*). Tanpa manajemen yang tepat, saturasi *link* akan menyebabkan lonjakan latensi (*jitter*) yang merusak pengalaman bermain *game online*. Penelitian ini menerapkan algoritma HTB dan klasifikasi paket (*Packet Marking*) untuk mengatasi masalah tersebut.



Gambar 4 Konfigurasi Mangle Firewall (Sumber: Dokumentasi Penulis)

Implementasi pada fitur *Mangle* Mikrotik (Gambar 4) menunjukkan klasifikasi trafik secara spesifik berdasarkan protokol dan *port* tujuan. Trafik *game* (Mobile Legends, PUBG, Free Fire) ditandai secara khusus untuk memisahkannya dari trafik umum.



Gambar 5 Struktur Queue Tree HTB (Sumber: Dokumentasi Penulis)

Struktur *Queue Tree* (Gambar 5) menunjukkan bahwa trafik *game* ditempatkan pada prioritas tertinggi (*Priority 1*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme ini berhasil menjaga stabilitas *ping* ke server *game* tetap rendah dan stabil, bahkan ketika jalur distribusi utama sedang mengalami beban penuh akibat aktivitas unduhan pengguna lain. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hidayat & Murniyanti (2022) yang menyatakan bahwa HTB efektif mengisolasi *latency* pada layanan sensitif [8], [9]. Selain itu, Wardani (2021) juga mengonfirmasi bahwa teknik *packet marking* merupakan metode paling presisi untuk optimasi jaringan nirkabel dan kabel [10].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Arsitektur *Active Optical Network* (AON) dengan metode distribusi bertingkat menggunakan *Fiber Switch Board* terbukti menjadi solusi infrastruktur yang efisien biaya, mampu mengurangi kompleksitas penarikan kabel tanpa mengorbankan kapasitas *bandwidth* (Gigabit).
2. Kualitas infrastruktur fisik jaringan tervalidasi sangat baik berdasarkan standar telekomunikasi, dengan redaman kabel 0.23 dB/km dan daya terima sinyal -22.39 dBm, menjamin reliabilitas transmisi data.
3. Integrasi manajemen trafik berbasis algoritma *Hierarchical Token Bucket* (HTB) berhasil mengatasi kelemahan latensi pada topologi bertingkat, memberikan stabilitas koneksi yang optimal bagi pengguna layanan interaktif seperti *game online*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Ab-Rahman, B. C. Ng, and A. A. A. Bakar, "Active Optical Network (AON) vs Passive Optical Network (PON): The Best Solution for FTTH Implementation in Low-Density Areas," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 21, no. 5, pp. 120-128, 2021.
- [2] R. A. Pratama and D. Perdana, "Analisis Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) di Perumahan X (Studi Komparasi Investasi)," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 5, pp. 4501-4509, 2021.
- [3] A. S. Putra and H. D. Septama, "Rancang Bangun Infrastruktur Jaringan Internet Desa Menggunakan Media Transmisi Fiber Optik dengan Metode Point-to-Multipoint Converter," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 10, no. 2, pp. 85-92, 2022.
- [4] A. R. H. Al-Hadi, "A Novel Cost-Effective Architecture for Fiber to the Home (FTTH) Deployment in Rural Areas using Active Nodes," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 54321-54335, 2021.
- [5] I. K. A. Encko and I. G. P. A. Buditjahjanto, "Analisis Kualitas Jaringan Fiber Optik Berdasarkan Parameter Rise Time Budget dan Link Power Budget pada Link Backbone," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 33-40, 2022.
- [6] S. W. Hati and W. A. P. Wibowo, "Analisis Rugi-Rugi Daya (Power Link Budget) Pada Jaringan Serat Optik PT. Telkom Akses," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, vol. 8, no. 1, pp. 18-24, 2021.
- [7] M. I. F. Rozi and F. X. A. Setyawan, "Analisis Pengukuran Redaman Kabel Serat Optik Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) dan Optical Power Meter (OPM)," *Jurnal Jartel: Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, vol. 12, no. 1, pp. 24-29, 2022.

- [8] R. Hidayat and S. Murniyanti, "Implementasi Manajemen Bandwidth Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket (HTB) untuk Optimalisasi Layanan Game Online," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, vol. 9, no. 4, pp. 789-796, 2022.
- [9] A. P. Wibawa and I. A. P. Sari, "Analisis Perbandingan Quality of Service (QoS) Jaringan Internet Menggunakan Metode HTB dan PCQ Pada Router Mikrotik," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 1, pp. 155-162, 2021.
- [10] D. K. Wardani, "Optimasi Jaringan Wireless untuk Game Online Menggunakan Metode Packet Marking dan Queue Tree pada Mikrotik RB450Gx4," *Jurnal Infotel*, vol. 13, no. 3, pp. 112-119, 2021.
- [11] Y. Zhang and L. Wang, "Traffic Shaping and Bandwidth Management Strategy Based on HTB Algorithm in Campus Network," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1856, no. 1, 2021.
- [12] H. T. Sihotang and Y. A. P. Sembiring, "Perancangan Jaringan RT/RW Net Berbasis Mikrotik Menggunakan Metode User Authentication PPPoE," *Jurnal Mantik*, vol. 5, no. 2, pp. 670-678, 2021.
- [13] F. N. Khasanah, "Analisis Pengembangan Bisnis dan Infrastruktur Jaringan Internet Berbasis Komunitas (RT/RW Net) di Masa Pandemi," *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 4, no. 2, pp. 120-129, 2022.
- [14] Citra Webb, *MikroTik Security Guide: Implementasi dan Audit Keamanan Jaringan*, Edisi 2, Jakarta: Jasakom, 2021.
- [15] B. A. B. Pradana, "Analisis Kinerja Jaringan Komputer dengan Topologi Hierarchical Token Bucket pada Layanan Video Streaming," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 9, pp. 4020-4028, 2021.