
DESIGN OF REAL-TIME OLT MONITORING FOR GPON CONGESTION DETECTION

Hari Jalsa Marpaung¹, Andrew Ramadhani², Indra Ramadona Harahap³

¹Rekayasa Perangkat Lunak, Universitas Royal

²Sistem Komputer, Universitas Royal

³Sistem Informasi, Universitas Royal

Email: ¹hari.marpaung@gmail.com, ²andrewrmdhn@gmail.com,

³indraramadonaharahap@gmail.com

Abstract: *This research aims to design and implement a web-based Optical Line Terminal (OLT) network monitoring system to detect congestion in real-time on Gigabit Passive Optical Network (GPON) architecture. The main problem in GPON networks is the increase in customer traffic which causes bandwidth bottlenecks and decreases Quality of Service (QoS). The research methodology includes analysis of OLT performance parameters (throughput, utilization, packet loss, latency), design of a system architecture based on SNMP and REST API, development of a monitoring dashboard using a web framework, and testing in an operational network environment. The developed system is able to display PON port status, bandwidth utilization level, and automatic notification when the congestion threshold is exceeded. The test results show that the system can detect an increase in utilization above 80% with a response time of less than 5 seconds. The implementation of this system increases the effectiveness of network monitoring and speeds up the troubleshooting process by administrators.*

Keywords: *Network Monitoring; OLT; GPON; Congestion; Real-Time.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring jaringan Optical Line Terminal (OLT) berbasis web untuk mendeteksi congestion secara real-time pada arsitektur Gigabit Passive Optical Network (GPON). Permasalahan utama pada jaringan GPON adalah meningkatnya trafik pelanggan yang menyebabkan bottleneck bandwidth dan penurunan Quality of Service (QoS). Metodologi penelitian meliputi analisis parameter performa OLT (throughput, utilization, packet loss, latency), perancangan arsitektur sistem berbasis SNMP dan REST API, pengembangan dashboard monitoring menggunakan framework web, serta pengujian pada lingkungan jaringan operasional. Sistem yang dikembangkan mampu menampilkan status port PON, tingkat utilisasi bandwidth, dan notifikasi otomatis ketika threshold congestion terlampaui. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi kenaikan utilisasi di atas 80% dengan waktu respons kurang dari 5 detik. Implementasi sistem ini meningkatkan efektivitas monitoring jaringan serta mempercepat proses troubleshooting oleh administrator.

Kata Kunci: Monitoring Jaringan; OLT; GPON; Congestion; Real-Time.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan trafik broadband berbasis serat optik meningkat signifikan dalam tiga tahun terakhir seiring ekspansi layanan FTTH dan kebutuhan aplikasi berlatensi rendah seperti video streaming 4K, cloud computing, dan real-time communication. Arsitektur Gigabit

Passive Optical Network (GPON) menjadi tulang punggung akses last-mile karena efisiensi bandwidth dan skalabilitasnya dalam mendistribusikan trafik ke banyak pelanggan melalui mekanisme downstream broadcast dan upstream Time Division Multiple Access (TDMA) (Memon et al., 2025; Zhang et al., 2023). Namun, peningkatan jumlah

Optical Network Unit (ONU) aktif pada satu port PON menyebabkan lonjakan utilisasi bandwidth agregat yang berpotensi memicu congestion dan degradasi Quality of Service (QoS), khususnya pada parameter throughput, packet delay, dan packet loss (Anitha et al., 2024; Buenrostro-Mariscal et al., 2023). Studi performansi GPON terbaru menunjukkan bahwa kondisi utilisasi di atas 75–80% secara konsisten berkorelasi dengan peningkatan latency dan jitter akibat keterbatasan alokasi grant upstream pada mekanisme Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) (Kumar & Lee, 2024; Rahman et al., 2023).

Dalam praktik operasional, proses monitoring OLT pada banyak penyedia layanan masih bergantung pada sistem vendor-based Network Management System (NMS) atau inspeksi manual berbasis log perangkat. Pendekatan ini bersifat reaktif dan tidak menyediakan integrasi visualisasi real-time berbasis web yang fleksibel untuk analisis historis dan deteksi dini anomali trafik (Al-Hraishawi et al., 2023; Silva et al., 2024). Secara teknis, parameter trafik pada OLT dapat diakses melalui protokol Simple Network Management Protocol (SNMP) dengan memanfaatkan Management Information Base (MIB) seperti `ifInOctets` (1.3.6.1.2.1.2.2.1.10) dan `ifOutOctets` (1.3.6.1.2.1.2.2.1.16) untuk menghitung laju throughput dan tingkat utilisasi interface (Fernandez et al., 2023; Li et al., 2024). Namun, sebagian besar implementasi monitoring belum mengintegrasikan pengambilan data SNMP secara periodik dengan mekanisme threshold-based congestion detection dan sistem notifikasi otomatis berbasis web service. Ketiadaan sistem monitoring terintegrasi tersebut menciptakan gap penelitian dan kebutuhan praktis di lingkungan jaringan GPON skala menengah maupun besar.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring OLT berbasis web yang mampu melakukan pengumpulan

data trafik secara real-time melalui SNMP polling, menghitung utilisasi bandwidth berdasarkan selisih counter `ifInOctets` dan `ifOutOctets` terhadap kapasitas port, serta menerapkan algoritma deteksi congestion berbasis threshold adaptif. Sistem dirancang untuk menampilkan visualisasi dashboard, status port PON (normal, warning, congested), serta notifikasi otomatis ketika utilisasi melebihi ambang batas yang ditentukan. Evaluasi dilakukan dengan skenario pembebanan terkontrol guna mengukur akurasi deteksi dan waktu respons sistem. Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi monitoring berbasis web dengan pendekatan threshold operasional yang dapat meningkatkan efektivitas troubleshooting dan menjaga stabilitas QoS pada arsitektur GPON (Memon et al., 2025; Silva et al., 2024).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan perancangan sistem monitoring real-time berbasis web yang mengintegrasikan pengambilan data trafik OLT melalui protokol Simple Network Management Protocol (SNMP), pengolahan data time-series, serta algoritma deteksi congestion berbasis threshold adaptif dan prediksi regresi.

Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari lima komponen utama:

1. Optical Line Terminal (OLT) sebagai SNMP Agent
2. Monitoring Server (SNMP Poller + Processing Engine)
3. Database Time-Series
4. Web Application Server
5. Client Dashboard Interface



Gambar 1. Alur Data Sistem

SNMP polling dilakukan terhadap interface PON menggunakan MIB standar IF-MIB:

- ifInOctets (1.3.6.1.2.1.2.2.1.10)
- ifOutOctets (1.3.6.1.2.1.2.2.1.16)
- ifSpeed (1.3.6.1.2.1.2.2.1.5)

Server monitoring dibangun menggunakan Python (FastAPI) dengan asynchronous SNMP polling untuk meminimalkan latency pengambilan data. Database menggunakan PostgreSQL dengan indeks time-series untuk optimasi query historis.

Mekanisme SNMP Polling

Polling dilakukan secara periodik dengan interval $\Delta t = 5$ detik. Nilai counter SNMP bersifat kumulatif (counter32/counter64), sehingga throughput dihitung berdasarkan selisih dua pembacaan berturut-turut:

$$Throughput_{in}(t) = \frac{(ifInOctets_t - ifInOctets_{t-1}) \times 8}{\Delta t}$$

$$Throughput_{out}(t) = \frac{(ifOutOctets_t - ifOutOctets_{t-1}) \times 8}{\Delta t}$$

dengan:

- Δt = interval polling (detik)
- hasil dalam bit per second (bps)

Untuk konversi ke Mbps:

$$Throughput(Mbps) = \frac{Throughput(bps)}{10^6}$$

Perhitungan Utilisasi Bandwidth

Utilisasi interface dihitung dengan:

$$Utilization(t) = \frac{Throughput(t)}{InterfaceCapacity} \times 100\%$$

InterfaceCapacity diperoleh dari objek ifSpeed.

Klasifikasi kondisi:

- Normal : $U < 70\%$
- Warning : $70\% \leq U < 80\%$
- Congested : $U \geq 80\%$

Adaptive Moving Average Threshold

Untuk meningkatkan akurasi deteksi dan mengurangi false alarm akibat spike sesaat, digunakan pendekatan Moving Average (MA):

$$MA_n(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} U(t-i)$$

dengan:

n = window size (misal 6 sampel = 30 detik)

Threshold dinamis ditentukan dengan:

$$Threshold_{adaptive}(t) = \mu + k\sigma$$

dimana:

- μ = rata-rata historis utilisasi
- σ = standar deviasi historis
- k = faktor sensitivitas (1.5 – 2)

Kondisi congestion ditetapkan jika:

$$MA_n(t) > Threshold_{adaptive}(t)$$

Pendekatan ini membuat sistem adaptif terhadap pola trafik harian dan mengurangi alarm palsu saat burst sementara.

Prediksi Congestion Berbasis Regresi Time-Series

Untuk prediksi dini, digunakan model regresi linear sederhana terhadap data time-series:

$$U(t) = \alpha + \beta t$$

Parameter α dan β diperoleh menggunakan metode Least Squares:

$$\beta = \frac{n \sum tU - \sum t \sum U}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

$$\alpha = U - \beta t$$

Prediksi utilisasi pada waktu mendatang:

$$U^{\wedge}(t + \Delta) = \alpha + \beta(t + \Delta)$$

Jika:

$$U^{\wedge}(t + \Delta) \geq 80\%$$

maka sistem mengeluarkan Early Congestion Alert sebelum threshold aktual terlampaui. Pendekatan ini memungkinkan administrator melakukan redistribusi beban atau capacity planning lebih awal.



Gambar 2. Diagram Alur Sistem

Lingkungan Pengujian

Pengujian dilakukan pada:

- 1 unit OLT GPON kapasitas 2.5 Gbps downstream
- 1 server monitoring (8 GB RAM, 4 vCPU)
- 32–64 ONU aktif
- Simulasi trafik menggunakan traffic generator

Parameter evaluasi:

- Waktu respons sistem (deteksi delay)
- Akurasi deteksi (%)
- False alarm rate
- CPU usage server monitoring

Parameter Evaluasi Kinerja

1. Detection Latency:

$$Delay = t_{alert} - t_{actual}$$

2. Akurasi

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

3. Precision dan Recall untuk validasi prediksi congestion.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada satu port PON berkapasitas 2.5 Gbps dengan 48 ONU aktif dan interval polling SNMP 5 detik selama 30 menit. Trafik dinaikkan secara bertahap untuk mensimulasikan kondisi normal hingga peak load.

Hasil Throughput dan Utilisasi

Perhitungan throughput berbasis selisih counter SNMP menunjukkan peningkatan utilisasi yang signifikan pada fase high load.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Throughput dan Utilisasi Port PON

| Waktu (menit) | Throughput (Mbps) | Utilisasi (%) | Status Threshold Statis |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------------|
| 5 | 820 | 32.8 | Normal |
| 10 | 1,240 | 49.6 | Normal |
| 15 | 1,720 | 68.8 | Normal |
| 20 | 1,930 | 77.2 | Warning |
| 25 | 2,080 | 83.2 | Congested |
| 30 | 2,160 | 86.4 | Congested |

Terlihat bahwa ketika utilisasi melebihi 80%, sistem mendeteksi kondisi congestion sesuai definisi threshold statis.

Detection latency rata-rata tercatat 3.8 detik, masih di bawah satu interval polling (5 detik), menunjukkan sistem responsif terhadap lonjakan trafik.

Evaluasi Adaptive Moving Average Threshold

Untuk mengurangi false alarm akibat lonjakan sesaat (burst traffic), diterapkan Moving Average dengan window 6 sampel (30 detik).

Tabel 2. Perbandingan Threshold Statis dan Adaptive

| Skenario Burst 10 Detik | Utilisasi Puncak (%) | Status Statis | Status Adaptive |
|-------------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Burst 1 | 82 | Congeste | Warning |

| Skenario Burst 10 Detik | Utilisasi Puncak (%) | Status Statis | Status Adaptive |
|-------------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| | | d | |
| Burst 2 | 85 | Congested | Warning |
| Sustained Load | 83 (≥60 detik) | Congested | Congested |

Hasil menunjukkan bahwa threshold adaptif mampu menyaring lonjakan sesaat sehingga false alarm rate turun dari 12.5% menjadi 3.1%.

Nilai parameter statistik historis:

- μ (rata-rata utilisasi) = 64.3%
- σ (standar deviasi) = 7.2%
- $k = 2$

Sehingga threshold adaptif:

$$\text{Threshold}_{\text{adaptive}} = 64.3 + 2(7.2) = 78.7\%$$

Pendekatan ini membuat sistem lebih stabil terhadap variasi trafik harian.

Evaluasi Prediksi Congestion Berbasis Regresi

Model regresi dihitung dari 60 sampel awal (5 menit pertama). Diperoleh:

- $\alpha = 28.4$
- $\beta = 0.95$ (% per menit)

Sehingga model prediksi:

$$U(t) = 28.4 + 0.95t$$

Prediksi pada menit ke-28:

$$U(28) = 28.4 + 0.95(28) = 55.0\%$$

Pada fase peningkatan beban cepat (menit 15–25), diperoleh slope lebih tinggi:

$$\beta = 2.8 \text{ (% per menit)}$$

Prediksi 2 menit sebelum threshold tercapai:

$$U(t+2) = 81.6\%$$

Sistem berhasil mengeluarkan Early Congestion Alert rata-rata 92 detik sebelum threshold aktual 80% terlampaui.

Evaluasi Kinerja Sistem

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Deteksi

| Parameter | Nilai |
|---------------------------|-----------|
| Detection Accuracy | 96.4% |
| Precision | 94.8% |
| Recall | 97.2% |
| False Alarm Rate | 3.1% |
| Rata-rata Detection Delay | 3.8 detik |
| CPU Usage Server | 27% |
| Memory Usage | 1.3 GB |

Hasil menunjukkan bahwa integrasi adaptive threshold dan regresi time-series meningkatkan kemampuan sistem dalam:

1. Mengurangi alarm palsu
2. Memberikan peringatan dini
3. Menjaga respons sistem tetap ringan

Implementasi Antarmuka Web Monitoring

Antarmuka web dikembangkan berbasis RESTful API dengan pembaruan data real-time sesuai interval polling 5 detik. Dashboard menampilkan metrik utama berupa throughput, utilisasi bandwidth, dan status port PON dalam grafik time-series serta indikator warna untuk klasifikasi kondisi jaringan. Informasi moving average dan hasil prediksi regresi turut ditampilkan untuk mendukung interpretasi tren trafik.

Ketika nilai utilisasi melampaui threshold adaptif atau terdeteksi potensi congestion, sistem secara otomatis memperbarui indikator visual dan mengaktifkan notifikasi. Desain UI menekankan hierarki informasi dan kejelasan visual sehingga parameter kritis dapat diidentifikasi secara cepat, mendukung respons operasional yang lebih efektif dalam manajemen jaringan GPON.



Gambar 3. UI WEB Sistem Monitoring

SIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan dan mengimplementasikan kerangka monitoring OLT berbasis web untuk deteksi congestion pada arsitektur GPON yang mengintegrasikan pengambilan data SNMP, analisis time-series, serta mekanisme threshold adaptif dan prediksi regresi. Kontribusi utama penelitian terletak pada pendekatan analitik yang menggabungkan perhitungan utilisasi berbasis counter interface dengan adaptive moving average dan model regresi linear untuk menghasilkan deteksi yang lebih stabil dan kemampuan peringatan dini. Pendekatan ini memperluas fungsi monitoring konvensional dari sekadar visualisasi menjadi sistem berbasis analisis data yang mendukung pengambilan keputusan operasional dan manajemen kapasitas.

Kerangka yang dikembangkan menunjukkan potensi sebagai fondasi menuju sistem monitoring akses fiber yang lebih cerdas, adaptif, dan berorientasi pada peningkatan kualitas layanan jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Hraishawi, H., Alresheedi, M., & Elmoghani, J. (2023). Traffic monitoring and congestion mitigation in next-generation passive optical networks. *IEEE*

Access, 11, 88234–88248. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3298123>

Anitha, P., Vimala, H. S., & Shreyas, J. (2024). Comprehensive review on congestion detection and control mechanisms in communication networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 221, 103749. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2023.103749>

Buenrostro-Mariscal, R., Santana-Mancilla, P. C., Montesinos-López, O. A., Vázquez-Briseño, M., & Nieto-Hipólito, J. I. (2023). Prioritization-driven congestion control in network systems. *Sensors*, 23(2), 923. <https://doi.org/10.3390/s23020923>

Fernandez, E., Torres, J., & Molina, A. (2023). SNMP-based real-time network traffic monitoring architecture for high-capacity access networks. *Computer Communications*, 205, 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2023.02.015>

Kumar, S., & Lee, J. (2024). Performance evaluation of dynamic bandwidth allocation in GPON under heavy traffic conditions. *Optical Switching and Networking*, 52, 100765. <https://doi.org/10.1016/j.osn.2024.100765>

Li, H., Zhao, Y., & Wang, T. (2024). Web-based network monitoring system using SNMP and RESTful API integration. *Future Internet*, 16(3), 118. <https://doi.org/10.3390/fi16030118>

Memon, K. A., Jaffer, S. S., Qureshi, M. A., & Qureshi, K. K. (2025). Dynamic bandwidth allocation in time division multiplexed passive

- optical networks: Dual-standard analysis. *PeerJ Computer Science*, 11, e2863. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2863>
- Rahman, M., Islam, S., & Chowdhury, M. (2023). Congestion impact analysis on GPON-based broadband access networks. *IEEE Communications Letters*, 27(9), 2411–2415. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2023.3292011>
- Silva, R., Pereira, L., & Costa, D. (2024). Real-time dashboard monitoring system for fiber access networks. *IEEE Access*, 12, 33421–33433. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3356678>
- Zhang, X., Liu, Y., & Chen, L. (2023). Traffic load analysis and performance modeling in GPON-based FTTH networks. *Optics Communications*, 545, 129567. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2023.129567>