

Analisis QoS Jaringan 4 Play Berbasis FTTH-GPON dengan Segmentasi VLAN (QoS Analysis of a 4-Play Network Based on FTTH-GPON with VLAN Segmentation)

Muhammad Taufik¹ dan Nicodemus Firman River Hutabarat²

^{1,2} Telecommunication Network Engineering, Electrical Engineering, Medan State Polytechnic

*Corresponding author, e-mail: muhammadtaufik@students.polmed.ac.id¹

Received: August 2nd, 2026. Revised: August 29th, 2026. Accepted: September 3rd, 2026

Available online: September 9th, 2026. Published: September 9th, 2026.

Abstract— This study aims to analyze the feasibility of a Fiber To The Home (FTTH) infrastructure based on Gigabit Passive Optical Network (GPON), evaluate the performance of a 4 Play network integrating Internet, Internet Protocol Television (IPTV), Voice over Internet Protocol (VoIP), and Internet of Things (IoT), and examine the effect of Virtual Local Area Network (VLAN) implementation on service quality. An experimental method was employed by implementing an FTTH-GPON network with three Optical Network Terminals (ONTs). Link feasibility was analyzed using the Link Power Budget, while service performance was evaluated based on throughput, delay, jitter, and packet loss using iPerf3 and Ping under network conditions with and without VLAN. The measured optical power at the three ONTs ranged from -6.63 to -6.33 dBm and remained within the GPON device sensitivity limit. Adding IoT traffic to the network without VLAN reduced the performance of several services. VLAN implementation increased VoIP throughput from 57.6 to 95.4 Mbps and Internet throughput from 95.3 to 99.8 Mbps. VLAN also reduced jitter by up to 95.8% for IoT and 89.1% for IPTV, while IPTV packet loss decreased from 56% to 3.5% and VoIP from 1.2% to 0%. The testing was limited to a specific network configuration and environment. The findings indicate that VLAN can provide an effective traffic-segmentation strategy for maintaining the stability and quality of 4 Play services under simultaneous traffic conditions.

Keywords: FTTH, GPON, 4-Play, QoS, VLAN.

Abstrak— Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan infrastruktur Fiber To The Home (FTTH) berbasis Gigabit Passive Optical Network (GPON), mengevaluasi performansi jaringan 4 Play yang mengintegrasikan Internet, Internet Protocol Television (IPTV), Voice over Internet Protocol (VoIP), dan Internet of Things (IoT), serta menganalisis pengaruh Virtual Local Area Network (VLAN) terhadap kualitas layanan. Penelitian menggunakan metode eksperimen melalui implementasi jaringan FTTH-GPON dengan tiga Optical Network Terminal (ONT). Kelayakan jalur dianalisis menggunakan Link Power Budget, sedangkan performansi layanan diuji berdasarkan throughput, delay, jitter, dan packet loss menggunakan iPerf3 dan Ping pada kondisi tanpa VLAN dan dengan VLAN. Daya optik terukur pada tiga ONT berada pada rentang $-6,63$ hingga $-6,33$ dBm dan memenuhi batas sensitivitas perangkat GPON. Penambahan trafik IoT pada jaringan tanpa VLAN menurunkan performansi beberapa layanan. Penerapan VLAN meningkatkan throughput VoIP dari 57,6 menjadi 95,4 Mbps dan Internet dari 95,3 menjadi 99,8 Mbps. VLAN juga menurunkan jitter hingga 95,8% pada IoT dan 89,1% pada IPTV serta menurunkan packet loss IPTV dari 56% menjadi 3,5% dan VoIP dari 1,2% menjadi 0%. Pengujian terbatas pada konfigurasi dan lingkungan jaringan tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa VLAN dapat menjadi strategi segmentasi trafik untuk menjaga stabilitas dan kualitas layanan 4 Play ketika beberapa layanan berjalan secara simultan.

Kata Kunci: FTTH, GPON, 4-Play, QoS, VLAN.

Copyright (c) 2026. Muhammad Taufik and Nicodemus Firman River Hutabarat.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan jaringan di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Medan tidak lagi berhenti pada akses internet, tetapi berkembang menuju konektivitas yang mampu melayani IoT, komunikasi suara, dan multimedia. Observasi awal menunjukkan bahwa jangkauan jaringan nirkabel belum optimal pada lantai 3 Gedung C, komunikasi perangkat IoT dengan broker MQTT mengalami delay dan ketidakstabilan ketika beberapa perangkat aktif, serta infrastruktur belum mendukung integrasi VoIP dan

IPTV. Kondisi lokal ini merefleksikan persoalan global dalam pengembangan jaringan akses: heterogenitas layanan menuntut kapasitas besar, konektivitas stabil, dan pengelolaan trafik yang mampu mempertahankan kualitas layanan. FTTH berbasis GPON dipilih karena kapasitasnya tinggi dan mendukung beragam layanan melalui infrastruktur optik yang sama (Abdellaoui et al., 2021; Shabaneh & Melhem, 2022; Yuhaneef et al., 2023).

Pada tingkat global, persoalannya bukan sekadar menyediakan bandwidth, melainkan

mempertahankan QoS ketika trafik heterogen berbagi sumber daya yang sama. Pengujian GPON menunjukkan bahwa peningkatan beban agregat dapat memengaruhi throughput dan kualitas layanan multimedia (Trubák et al., 2026), sedangkan pendekatan multi-tenancy pada PON menegaskan perlunya pengelolaan trafik yang mampu memenuhi kebutuhan delay, jitter, throughput, dan packet loss secara bersamaan (Pakpahan & Hwang, 2023). Di sisi lain, kapasitas optik yang memadai tidak otomatis menjamin kualitas layanan karena kelayakan jalur fisik dan kualitas transmisi tetap harus diverifikasi (Adiati et al., 2022; Sibuea et al., 2023; Ibrahim et al., 2025). Perdebatan ini memperlihatkan kontras antara peningkatan kapasitas dan pengelolaan trafik. Dengan demikian, persoalan utamanya bukan hanya apakah FTTH-GPON layak, tetapi bagaimana jaringan yang layak secara fisik mempertahankan QoS ketika beberapa layanan berjalan simultan.

Secara teoretis, QoS perlu dipahami melalui throughput, delay, jitter, dan packet loss karena merepresentasikan dimensi berbeda dari keberhasilan transmisi. Nafea et al. (2021) menunjukkan bahwa karakteristik trafik berhubungan dengan perubahan parameter QoS, sedangkan Merayo et al. (2021) memperlihatkan pentingnya pengelolaan layanan berbasis kebutuhan QoS dan bandwidth. Pada sisi segmentasi, VLAN memisahkan domain trafik sehingga pengelolaan jaringan menjadi lebih terstruktur dan kompetisi trafik dapat ditekan (Ubaidillah et al., 2021). Namun, VLAN bukan jaminan QoS yang berdiri sendiri; efektivitasnya harus dibuktikan melalui pengukuran aktual, terutama pada VoIP, IPTV, dan IoT yang memiliki karakteristik trafik berbeda.

Dalam konteks lokal, kebutuhan pendekatan terintegrasi menjadi semakin jelas. Masalah cakupan konektivitas, ketidakstabilan komunikasi IoT, dan belum terintegrasinya VoIP serta IPTV menunjukkan bahwa pengembangan jaringan tidak cukup dilakukan melalui perluasan akses. Studi FTTH menunjukkan bahwa desain dan implementasi harus mempertimbangkan kelayakan link, redaman, serta performansi jaringan pada kondisi operasional (Nugroho et al., 2023; Yuhane et al., 2023), sementara konfigurasi distribusi dapat memengaruhi kualitas sinyal pengguna (Rahayu et al., 2025). Karena itu, lingkungan Teknik Elektro membutuhkan infrastruktur FTTx yang layak secara optik sekaligus mampu mengelola trafik multi-layanan.

Berdasarkan telaah tersebut, kami menemukan bahwa penelitian terdahulu lebih banyak membahas kelayakan FTTH-GPON, analisis redaman, atau QoS pada layanan tertentu, sedangkan studi VLAN banyak dilakukan pada LAN dengan jenis trafik yang lebih terbatas (Ubaidillah et al., 2021). Kajian tentang

pengelolaan layanan GPON telah berkembang menuju konfigurasi dinamis dan multi-tenancy (Merayo et al., 2021; Pakpahan & Hwang, 2023), tetapi bukti empiris mengenai integrasi Internet, IPTV, VoIP, dan IoT dalam satu FTTH-GPON, disertai perbandingan 3 Play dan 4 Play serta pengujian VLAN pada trafik simultan, masih terbatas. Celah ini kami isi melalui implementasi jaringan 4 Play pada lingkungan Teknik Elektro melalui pengujian Link Power Budget dan QoS.

Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan jalur optik, mengevaluasi performansi layanan 4 Play, serta menguji pengaruh VLAN terhadap kualitas layanan ketika seluruh layanan berjalan bersamaan. Pertanyaan penelitian kami adalah: (1) apakah infrastruktur FTTH-GPON memenuhi kelayakan Link Power Budget; (2) bagaimana performansi 4 Play berdasarkan throughput, delay, jitter, dan packet loss pada kondisi trafik berbeda; dan (3) sejauh mana VLAN memengaruhi kualitas layanan ketika seluruh trafik 4 Play dijalankan secara simultan?

II. METODE

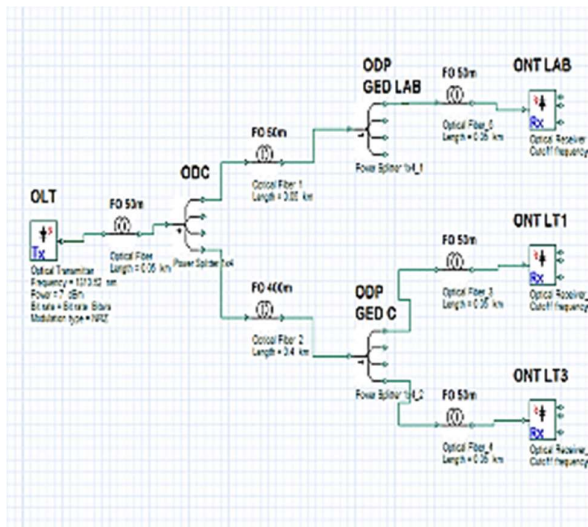
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan secara bertahap, meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan dan implementasi jaringan 4 Play berbasis Fiber To The Home (FTTH), pengujian performansi jaringan, serta analisis hasil pengujian. Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Analisis QoS Jaringan 4 Play Berbasis FTTH-GPON dengan Segmentasi VLAN (QoS Analysis of a 4-Play Network Based on FTTH-GPON with VLAN Segmentation)

Penelitian dilaksanakan melalui implementasi jaringan Fiber To The Home (FTTH) berbasis Gigabit Passive Optical Network (GPON) pada lingkungan Jurusan Teknik Elektro. Infrastruktur jaringan menghubungkan perangkat Optical Line Terminal (OLT) dengan beberapa Optical Network Terminal (ONT) melalui jalur serat optik. Jaringan dirancang untuk mengintegrasikan empat jenis layanan, yaitu Internet, Internet Protocol Television (IPTV), Voice over Internet Protocol (VoIP), dan Internet of Things (IoT). Infrastruktur utama yang digunakan terdiri atas satu OLT, tiga ONT, router MikroTik RB450Gx3, switch manageable, tiga Raspberry Pi sebagai server layanan, Optical Power Meter (OPM), serta kabel serat optik jenis drop core. Implementasi jaringan mencakup jalur dengan panjang total sekitar 500 m, termasuk jalur distribusi menuju Gedung Laboratorium dan Gedung C. Arsitektur infrastruktur FTTH yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Topologi tersebut menunjukkan hubungan antara OLT, ODC, ODP, ONT, router, switch, dan perangkat layanan yang digunakan untuk membangun jaringan 4 Play.

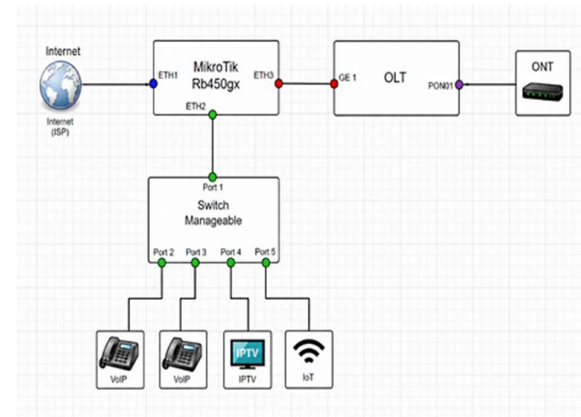


Gambar 2. Desain infrastruktur FTTH untuk jaringan 4 Play.

Pengujian dilakukan dalam tiga tahapan utama. Tahap pertama adalah pengujian kelayakan infrastruktur optik melalui pengukuran daya terima pada setiap ONT menggunakan Optical Power Meter dan pemantauan nilai daya optik pada perangkat ONT. Nilai hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan Link Power Budget untuk menentukan kelayakan jalur transmisi. Tahap kedua adalah pengujian Quality of Service (QoS) yang meliputi throughput, delay, jitter, dan packet loss. Pengujian throughput, jitter, dan packet loss dilakukan menggunakan iPerf3 dengan protokol UDP, sedangkan delay diukur menggunakan utilitas

Ping. Setiap layanan diberikan beban maksimum 100 Mbps selama 30 detik pada pengujian trafik simultan.

Tahap ketiga adalah pengujian pengaruh Virtual Local Area Network (VLAN) terhadap performansi jaringan. Pengujian dilakukan pada empat kondisi, yaitu jaringan 3 Play tanpa VLAN, jaringan 3 Play dengan VLAN, jaringan 4 Play tanpa VLAN, dan jaringan 4 Play dengan VLAN. Segmentasi trafik pada jaringan 4 Play diterapkan dengan membedakan setiap layanan berdasarkan VLAN. Konfigurasi segmentasi jaringan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 2, dengan VLAN 10 untuk Internet, VLAN 20 untuk VoIP, VLAN 30 untuk IPTV, dan VLAN 40 untuk IoT. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui perubahan performansi akibat penambahan layanan IoT serta efektivitas VLAN dalam mempertahankan kualitas layanan ketika seluruh layanan beroperasi secara bersamaan.



Gambar 3. Konfigurasi segmentasi VLAN pada jaringan 4 Play

Data hasil pengukuran dianalisis berdasarkan tiga aspek. Analisis pertama dilakukan terhadap Link Power Budget dengan membandingkan daya optik hasil pengukuran dan perhitungan terhadap batas sensitivitas penerimaan perangkat GPON. Analisis kedua dilakukan terhadap parameter QoS pada setiap layanan. Analisis ketiga dilakukan dengan membandingkan nilai throughput, delay, jitter, dan packet loss pada kondisi tanpa VLAN dan dengan VLAN. Perubahan nilai setiap parameter digunakan sebagai dasar untuk menentukan pengaruh segmentasi trafik terhadap kualitas layanan jaringan 4 Play.

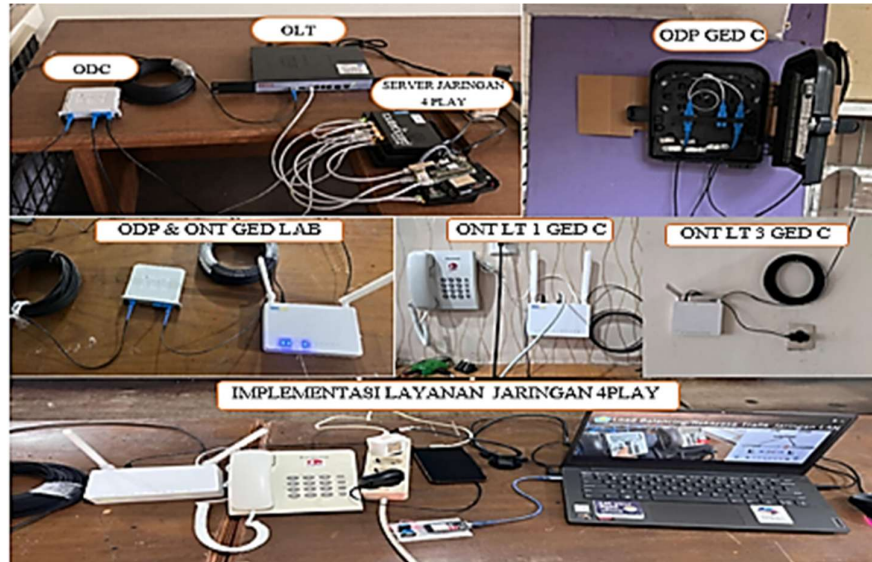
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Link Power Budget

Implementasi jaringan 4 Play berbasis FTTH dilakukan pada Gedung Laboratorium dan Gedung C

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Medan. Infrastruktur yang diimplementasikan meliputi server layanan, OLT, ODC, ODP, dan ONT yang terhubung melalui jaringan serat optic. Pengujian Power Link Budget dilakukan dengan membandingkan nilai

redaman total dan daya terima hasil perhitungan pada setiap titik jaringan, yaitu ODC, ODP Gedung Laboratorium, ODP Gedung C, ONT Gedung Laboratorium, serta ONT lantai 1 dan lantai 3 Gedung C.



Gambar 4. Implementasi Server, OLT, dan ODC

Perangkat utama jaringan ditempatkan di Gedung Laboratorium, sedangkan ODP dan ONT tambahan diimplementasikan pada lantai 1 dan lantai 3 Gedung C. Hasil implementasi infrastruktur jaringan 4 Play ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 5. Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran Link Power Budget

Hasil pengukuran dan perhitungan pada setiap titik jaringan disajikan dalam Gambar 5. Daya terima pada tiga ONT hasil pengukuran berada pada rentang -6,63 hingga -6,33 dBm, sedangkan hasil perhitungan berada pada rentang -8,85 hingga -8,40 dBm. Seluruh nilai masih memenuhi batas sensitivitas jaringan GPON sehingga jalur optik dinyatakan layak digunakan. Berdasarkan hasil konfigurasi yang dapat dilihat pada Gambar 5, berhasil dibuat beberapa interface VLAN yaitu VLAN10, VLAN20, VLAN30, VLAN40, dan

VLAN99. VLAN10 digunakan untuk layanan internet, VLAN20 digunakan untuk layanan VoIP, VLAN30 digunakan untuk layanan IPTV, VLAN40 digunakan untuk jaringan sensor IoT, sedangkan VLAN99 digunakan sebagai VLAN manajemen perangkat jaringan.

Perhitungan redaman mempertimbangkan panjang serat optik, jumlah konektor, jumlah sambungan, dan redaman splitter. Persamaan yang digunakan adalah:

$$A_{total} = (L \times A_{serat}) + (N_c \times A_c) + (N_s \times A_s) + A_{sp}$$

Sedangkan daya optik terima dihitung menggunakan:

$$P_r = P_t - A_{total}$$

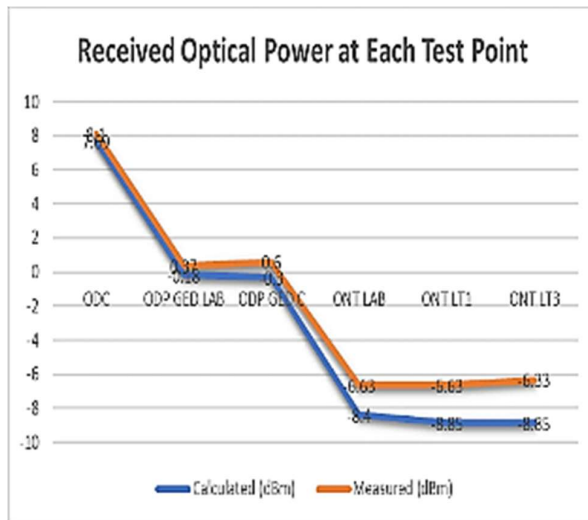
Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai redaman dan daya optik terima sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Power Link Budget

Titik Pengukuran	Panjang Serat (m)	Redaman Total (dB)	Daya Terima (P _r) (dBm)
ODC	50	0,41	7,69
ODP Gedung Laboratorium	100	8,28	-0,18
ODP Gedung C	450	8,40	-0,30
ONT Gedung Laboratorium	150	16,15	-8,40
ONT LT 1 Gedung C	500	16,95	-8,85
ONT LT 3 Gedung C	500	16,95	-8,85

Analisis QoS Jaringan 4 Play Berbasis FTTH-GPON dengan Segmentasi VLAN (QoS Analysis of a 4-Play Network Based on FTTH-GPON with VLAN Segmentation)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan panjang jalur dan jumlah komponen pasif menyebabkan redaman total meningkat dan daya optik terima menurun. Redaman berkisar 0,41–16,95 dB, dengan nilai tertinggi pada ONT lantai 1 dan lantai 3 Gedung C, sedangkan daya optik terima berkisar 7,69 hingga -8,85 dBm. ONT Gedung Laboratorium memiliki redaman 16,15 dB dan daya terima -8,40 dBm. Selanjutnya, hasil perhitungan dibandingkan dengan pengukuran menggunakan Optical Power Meter dan nilai Rx Optical Power pada ONT untuk mengetahui kesesuaian kondisi teoritis dan aktual jaringan.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Power Link Budget

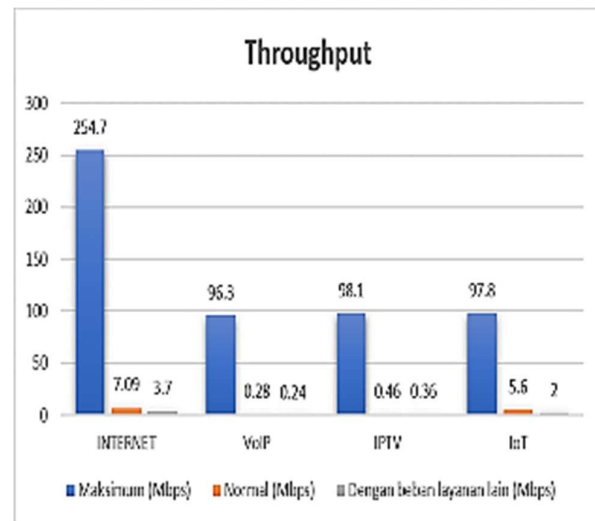
Dapat dilihat pada Gambar 6, daya optik yang diterima terukur pada ketiga ONT berkisar antara -6,33 hingga -6,63 dBm, sedangkan hasil perhitungan Link Power Budget berkisar antara sekitar -8,85 hingga -8,94 dBm. Hasil pengukuran menunjukkan nilai yang lebih baik daripada hasil perhitungan, yang mengindikasikan bahwa kondisi jaringan aktual mendekati spesifikasi desain. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk rugi penyisipan splitter, kualitas kabel dan konektor serat optik prakonversi, koneksi serat optik, dan toleransi instrumen pengukuran. Oleh karena itu, redaman aktual jaringan yang diimplementasikan lebih rendah daripada estimasi teoritis.

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran, daya optik yang diterima pada semua ONT tetap berada dalam batas toleransi jaringan GPON, dengan rugi jalur optik maksimum 28 dB menurut ITU-T G.984.2. Ini menunjukkan bahwa rugi-rugi di sepanjang jalur serat optik dan komponen pasif tetap berada dalam batas yang dapat diterima dan tidak secara signifikan memengaruhi penerimaan sinyal optik pada ONT. Dengan demikian, infrastruktur

FTTx yang diimplementasikan dapat dianggap sesuai untuk mendukung layanan 4 Play dan dapat dilanjutkan ke evaluasi Kualitas Layanan (QoS) selanjutnya.

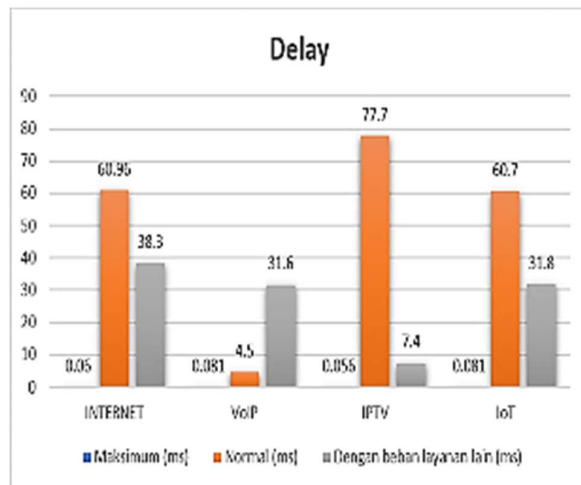
B. Hasil Pengujian QoS Jaringan 4 Play

Pengujian Quality of Service (QoS) dilakukan terhadap Internet, VoIP, IPTV, dan IoT menggunakan parameter throughput, delay, jitter, dan packet loss. Data hasil pengujian diolah dengan membandingkan kondisi trafik maksimum, normal, dan normal dengan beban layanan lain. Ringkasan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7–10.



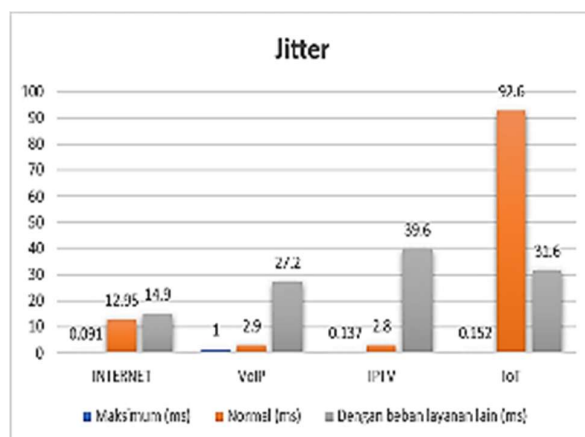
Gambar 7. Perbandingan throughput layanan 4 Play

Terlihat bahwa nilai throughput setiap layanan mengalami perubahan pada tiga kondisi pengujian, yaitu kondisi trafik maksimum, kondisi trafik normal, dan kondisi trafik normal dengan beban trafik layanan lain. Pengujian pada kondisi trafik maksimum menunjukkan kapasitas maksimum yang mampu dicapai oleh masing-masing layanan, sedangkan pengujian pada kondisi trafik operasional dan kondisi operasional dengan beban layanan lain menggambarkan performansi jaringan pada kondisi penggunaan sebenarnya.. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa throughput pada kondisi trafik normal jauh lebih rendah dibandingkan kondisi trafik maksimum karena setiap layanan hanya menggunakan bandwidth sesuai kebutuhan aplikasinya. Meskipun demikian, setiap layanan masih mampu beroperasi sesuai karakteristik kebutuhannya, sehingga implementasi jaringan 4 Play masih mampu mendukung layanan Internet, VoIP, IPTV, dan IoT secara bersamaan.



Gambar 8. Perbandingan delay layanan 4 Play

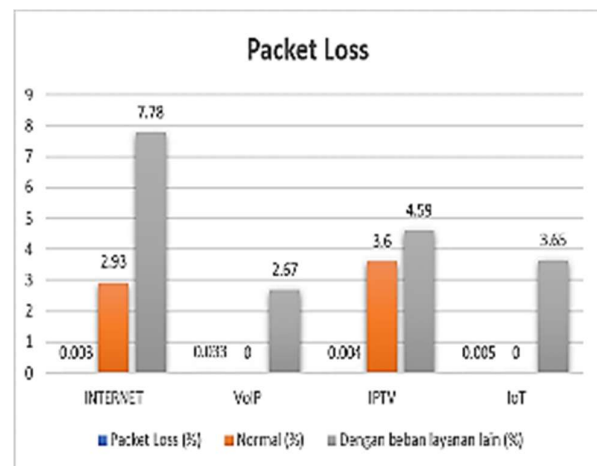
Nilai delay pada setiap layanan menunjukkan perbedaan pada tiga kondisi pengujian, yaitu kondisi trafik maksimum, trafik normal, dan trafik normal dengan beban layanan lain. Pada layanan Internet, delay pada kondisi trafik maksimum sebesar 0,06 ms. Ketika layanan dijalankan pada kondisi trafik normal, nilai delay meningkat menjadi 60,96 ms. Setelah tiga layanan lainnya diberikan beban trafik maksimum, delay justru menurun menjadi 38,3 ms, atau mengalami reduksi sebesar 37,17% dibandingkan kondisi trafik normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun jaringan melayani beberapa layanan secara bersamaan, waktu tunda pengiriman paket Internet masih dapat dipertahankan pada nilai yang lebih rendah dibandingkan kondisi normal. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi trafik maksimum menghasilkan nilai delay paling rendah karena pengiriman paket dilakukan secara kontinu menggunakan iperf3 tanpa dipengaruhi karakteristik aplikasi.



Gambar 9. Perbandingan jitter layanan 4 Play

Nilai jitter meningkat dari 0,091 ms pada kondisi trafik maksimum menjadi 12,95 ms pada

kondisi trafik normal, kemudian kembali meningkat menjadi 14,9 ms ketika layanan lain diberikan beban trafik, atau mengalami kenaikan sekitar 15,06% dibandingkan kondisi trafik normal. Pada layanan VoIP, jitter meningkat dari 1 ms menjadi 2,9 ms, kemudian kembali meningkat menjadi 27,2 ms atau sekitar 837,93%. Layanan IPTV juga mengalami peningkatan jitter dari 0,137 ms menjadi 2,8 ms, kemudian meningkat menjadi 39,6 ms, atau sekitar 1.314,29% dibandingkan kondisi trafik normal. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan beban trafik layanan lain cenderung meningkatkan nilai jitter pada layanan Internet, VoIP, dan IPTV, sedangkan pada layanan IoT terjadi penurunan nilai jitter. Meskipun demikian, seluruh layanan masih dapat beroperasi dengan baik selama nilai jitter yang dihasilkan masih berada dalam batas toleransi sesuai kebutuhan masing-masing layanan.



Gambar 10. Perbandingan packet loss layanan 4 Play

Nilai packet loss pada setiap layanan menunjukkan perbedaan pada kondisi trafik maksimum, trafik normal, dan trafik normal dengan beban layanan lain. Pada kondisi trafik maksimum, seluruh layanan menghasilkan nilai packet loss yang sangat kecil, yaitu 0,003% pada Internet, 0,033% pada VoIP, 0,004% pada IPTV, dan 0,005% pada IoT. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi ideal jaringan mampu mentransmisikan paket data dengan tingkat kehilangan paket yang sangat rendah.

Pada kondisi trafik normal, layanan Internet mengalami packet loss sebesar 2,93%, sedangkan VoIP tidak mengalami kehilangan paket (0%). Layanan IPTV menghasilkan packet loss sebesar 3,6%, sementara layanan IoT juga tidak mengalami kehilangan paket (0%). Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi penggunaan normal sebagian besar layanan masih mampu mempertahankan kualitas transmisi data dengan baik.

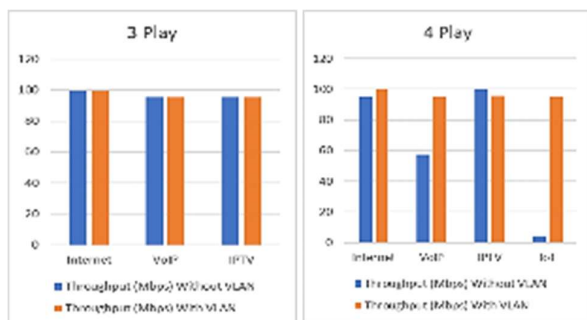
Analisis QoS Jaringan 4 Play Berbasis FTTH-GPON dengan Segmentasi VLAN (QoS Analysis of a 4-Play Network Based on FTTH-GPON with VLAN Segmentation)

Ketika jaringan diberikan beban trafik dari layanan lain, seluruh layanan mengalami peningkatan nilai packet loss. Layanan Internet meningkat dari 2,93% menjadi 7,78%, atau mengalami kenaikan sekitar 165,53%. Layanan VoIP meningkat dari 0% menjadi 2,67%, sedangkan layanan IPTV meningkat dari 3,6% menjadi 4,59%, atau sekitar 27,50% lebih tinggi dibandingkan kondisi trafik normal. Pada layanan IoT, packet loss meningkat dari 0% menjadi 3,65% ketika tiga layanan lainnya diberikan beban trafik maksimum. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kompetisi penggunaan bandwidth menyebabkan sebagian paket tidak dapat diterima dengan sempurna pada sisi penerima.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan beban trafik dari layanan lain memberikan pengaruh terhadap meningkatnya nilai packet loss pada seluruh layanan. Meskipun terjadi peningkatan kehilangan paket, nilai yang diperoleh masih menunjukkan bahwa jaringan tetap mampu melayani komunikasi data pada implementasi jaringan 4 Play, meskipun kualitas layanan mulai mengalami penurunan ketika seluruh layanan aktif secara bersamaan.

C. Pengaruh VLAN terhadap QoS

Pengaruh VLAN dianalisis dengan membandingkan jaringan 4 Play tanpa VLAN dan dengan VLAN pada parameter throughput, delay, jitter, dan packet loss. Hasil perbandingan disajikan pada Gambar 11 – 13.



Gambar 11. Perbandingan QoS jaringan 4 Play tanpa VLAN dan dengan VLAN

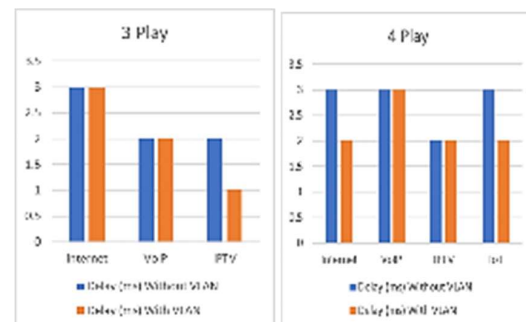
Terlihat pada Gambar 11 bahwa penambahan layanan Internet of Things (IoT) dari implementasi jaringan 3 Play menjadi 4 Play pada kondisi tanpa VLAN menyebabkan perubahan nilai throughput pada beberapa layanan. Layanan Internet dan IPTV masih mampu mempertahankan nilai throughput yang relatif tinggi dengan penurunan yang tidak terlalu signifikan. Namun, layanan VoIP mengalami penurunan throughput yang cukup besar, sedangkan

layanan IoT memperoleh nilai throughput paling rendah dibandingkan layanan lainnya.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ketika seluruh layanan dijalankan secara bersamaan tanpa mekanisme segmentasi jaringan, seluruh trafik berada pada domain broadcast yang sama sehingga terjadi kompetisi penggunaan bandwidth antar layanan. Akibatnya, layanan yang bersifat sensitif terhadap kontinuitas aliran data, seperti VoIP, lebih mudah mengalami penurunan performansi dibandingkan layanan lainnya. Dengan demikian, penambahan layanan IoT pada kondisi tanpa VLAN meningkatkan beban trafik jaringan yang berdampak pada menurunnya throughput beberapa layanan utama.

Penerapan VLAN meningkatkan throughput Internet dari 95,3 Mbps menjadi 99,8 Mbps dan VoIP dari 57,6 Mbps menjadi 95,4 Mbps. Peningkatan terbesar terjadi pada VoIP sebesar 65,6%. IoT juga meningkat dari 3,87 Mbps menjadi 95,5 Mbps, sedangkan IPTV berubah dari 99,7 Mbps menjadi 95,6 Mbps. Hasil tersebut menunjukkan bahwa segmentasi trafik mampu mengurangi kompetisi bandwidth dan memberikan distribusi trafik yang lebih terstruktur.

Peningkatan delay pada layanan VoIP menunjukkan bahwa bertambahnya layanan IoT memberikan tambahan beban trafik pada jaringan yang belum menggunakan segmentasi VLAN. Seluruh layanan masih berada pada satu domain broadcast yang sama sehingga terjadi peningkatan antrian paket (queue) ketika beberapa layanan berjalan secara bersamaan.



Gambar 12. Grafik Pengaruh VLAN terhadap kualitas layanan pada jaringan 4 play terhadap Delay

Dapat dilihat pada Gambar 12 parameter delay, terlihat bahwa penambahan layanan Internet of Things (IoT) dari implementasi jaringan 3 Play tanpa VLAN menjadi 4 Play tanpa VLAN menyebabkan peningkatan nilai delay pada layanan VoIP, yaitu dari 2 ms menjadi 3 ms, atau meningkat sekitar 50%. Sementara itu, layanan Internet tetap berada pada nilai 2 ms, sedangkan layanan IPTV tetap berada pada 3 ms, sehingga tidak mengalami perubahan yang

signifikan. Peningkatan delay pada layanan VoIP menunjukkan bahwa bertambahnya layanan IoT memberikan tambahan beban trafik pada jaringan yang belum menggunakan segmentasi VLAN. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap pengaruh penerapan VLAN pada implementasi jaringan 4 Play.

Berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa setelah VLAN diterapkan, nilai delay layanan Internet mengalami penurunan dari 3 ms menjadi 2 ms, sedangkan layanan IoT juga mengalami penurunan dari 3 ms menjadi 2 ms. Penurunan tersebut menunjukkan reduksi delay sekitar 33,3% pada kedua layanan. Sementara itu, layanan VoIP dan IPTV tetap memiliki nilai delay sebesar 3 ms dan 2 ms, sehingga tidak mengalami perubahan. Penurunan delay pada layanan Internet dan IoT menunjukkan bahwa penerapan VLAN mampu mengurangi kepadatan lalu lintas data melalui proses segmentasi jaringan. Dengan dipisahkannya trafik berdasarkan jenis layanan, proses transmisi paket menjadi lebih teratur sehingga waktu tempuh paket menuju tujuan menjadi lebih singkat. Walaupun penurunan delay tidak terjadi pada seluruh layanan, hasil pengujian menunjukkan bahwa VLAN tetap memberikan kontribusi positif terhadap efisiensi proses komunikasi data pada implementasi jaringan 4 Play.

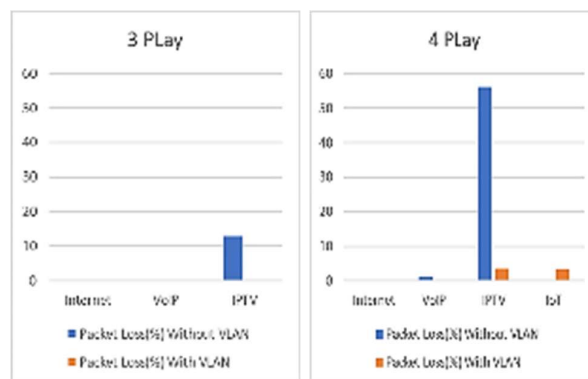
Perubahan tersebut menunjukkan bahwa setelah VLAN diterapkan, penambahan layanan IoT tidak menyebabkan peningkatan delay yang signifikan pada layanan utama. Nilai delay seluruh layanan masih berada pada kisaran 1–3 ms, yang menunjukkan bahwa waktu pengiriman paket tetap stabil meskipun jaringan berkembang dari implementasi 3 Play menjadi 4 Play. Pengaruh terbesar terlihat pada packet loss IPTV yang turun dari 56% menjadi 3,5% dan VoIP dari 1,2% menjadi 0%. Internet tetap 0%, sedangkan IoT berubah dari 0% menjadi 3,4%. Secara keseluruhan, VLAN memberikan peningkatan performansi terutama pada layanan utama VoIP dan IPTV. Hasil ini memperkuat penelitian mengenai penggunaan VLAN sebagai mekanisme segmentasi trafik untuk meningkatkan pengelolaan jaringan.

Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui pengaruh penerapan VLAN terhadap implementasi jaringan 4 Play. Berdasarkan Gambar 13 terlihat bahwa penerapan VLAN mampu menurunkan packet loss secara signifikan pada layanan utama. Dapat dilihat pada Gambar 13, terlihat bahwa implementasi jaringan 4 Play tanpa VLAN menyebabkan peningkatan packet loss pada beberapa layanan utama. Layanan Internet tetap menunjukkan nilai packet loss sebesar 0%, sedangkan layanan VoIP mengalami peningkatan dari 0% menjadi 1,2%.

Peningkatan paling signifikan terjadi pada layanan IPTV, yaitu dari 13% menjadi 56%, atau

meningkat sekitar 330,8%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan layanan IoT pada jaringan tanpa VLAN menyebabkan kepadatan packet loss berubah dari 0% pada kondisi tanpa VLAN menjadi 3,4% setelah VLAN diterapkan. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa penerapan VLAN tidak selalu menghasilkan penurunan packet loss pada setiap layanan.

Perbandingan antara implementasi 3 Play menggunakan VLAN dan 4 Play menggunakan VLAN menunjukkan bahwa penambahan layanan IoT tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap packet loss layanan utama. Layanan Internet dan VoIP tetap mempertahankan nilai packet loss sebesar 0%, sedangkan layanan IPTV hanya mengalami peningkatan menjadi 3,5%.



Gambar 13. Grafik Pengaruh VLAN terhadap kualitas layanan pada jaringan 4 play terhadap Packet Loss

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, jaringan tanpa VLAN masih mampu memberikan performansi yang baik ketika jumlah layanan yang dijalankan relatif sedikit, seperti pada implementasi 3 Play. Kondisi ini sejalan dengan penelitian (Bayu dkk., 2021) yang menyatakan bahwa jaringan tanpa VLAN masih dapat memberikan performansi yang baik selama jumlah perangkat dan trafik jaringan belum terlalu tinggi. Namun, ketika jumlah perangkat atau layanan yang aktif meningkat, performansi jaringan mulai menurun akibat bertambahnya broadcast traffic sehingga penerapan VLAN menjadi lebih efektif.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi jaringan 4 Play berbasis FTTH dengan teknologi GPON di lingkungan Jurusan Teknik Elektro berhasil memenuhi tujuan penelitian. Hasil pengujian Link Power Budget menunjukkan bahwa daya optik terukur pada tiga ONT berada pada rentang -6,63 hingga -6,33 dBm, sehingga seluruh jalur masih memenuhi batas sensitivitas perangkat

GPON dan dinyatakan layak digunakan. Dari sisi QoS, pengujian menunjukkan bahwa penambahan trafik IoT pada jaringan tanpa VLAN dapat menurunkan performansi beberapa layanan utama. Penerapan VLAN memberikan perbaikan terutama pada throughput VoIP yang meningkat dari 57,6 Mbps menjadi 95,4 Mbps, serta Internet dari 95,3 Mbps menjadi 99,8 Mbps. VLAN juga menurunkan jitter pada seluruh layanan dan memberikan perbaikan paling nyata pada packet loss IPTV dan VoIP.

Kontribusi penelitian ini terletak pada penyajian bukti eksperimental bahwa integrasi Internet, IPTV, VoIP, dan IoT dalam satu infrastruktur FTTH-GPON dapat dilakukan dengan mempertahankan kualitas komunikasi melalui segmentasi trafik. Implikasi praktisnya, VLAN dapat digunakan sebagai strategi pengelolaan trafik ketika jumlah layanan dan beban jaringan meningkat, khususnya untuk melindungi layanan yang sensitif terhadap perubahan kualitas transmisi.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena pengujian dilakukan pada lingkungan dan konfigurasi jaringan yang spesifik, dengan tiga ONT dan jalur implementasi sekitar 500 m serta durasi pengujian trafik simultan 30 detik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menguji jaringan pada jumlah pengguna, jarak, variasi beban, dan durasi trafik yang lebih besar serta mempertimbangkan mekanisme pengelolaan trafik lain agar efektivitas VLAN dapat dibandingkan secara lebih komprehensif.

REFERENSI

- Abdellaoui, Z., Dieudonne, Y., & Aleya, A. (2021). Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON. *Array*, 10, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>
- Adiati, R. F., Kusumawardhani, A., & Setijono, H. (2022). Design and analysis of an FTTH-GPON in a residential area. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 8(2), 228–237. <https://doi.org/10.29303/jpft.v8i2.4233>
- Bayu, K., Nurcahyo, A., & Prihanto, A. (2021). ANALISIS QUALITY OF SERVICE (QOS) PADA JARINGAN VLAN (VIRTUAL LOCAL AREA NETWORK). 03, 62–70.
- Ibrahim, M. Y., & Nawaningtyas, N. (2025). Evaluasi Kinerja Jaringan FTTH Berbasis ODC dan GPON Berdasarkan Power Link Budget di RT 015 Tanjung Duren Utara. *sudo Jurnal Teknik Informatika*, 4(2), 112–123. <https://doi.org/10.56211/sudo.v4i2.945>
- Ibrahim, S. K., Ali, G. M., & Jasim, A. K. (2025). Evaluation of effectiveness of FTTX-GPON technology-based narrowband direct modulation using shared WDM-SAC-OCMDA system. *Results in Optics*, 21, 100841. <https://doi.org/10.1016/j.rio.2025.100841>
- Merayo, N., de Pintos, D., Aguado, J. C., de Miguel, I., Durán, R. J., Fernández, P., Lorenzo, R. M., & Abril, E. J. (2021). An experimental OpenFlow proposal over legacy GPONs to allow real-time service reconfiguration policies. *Applied Sciences*, 11(3), 903. <https://doi.org/10.3390/app11030903>
- Nafea, H. B., Aboelezz, Z. A., & Zaki, F. W. (2021). Quality of service (QoS) for LTE network based on adaptive neuro fuzzy inference system. *IET Communications*, 15(5), 683–694. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12099>
- Nugroho, A. A., Pranindito, D., & Wahyudi, E. (2023). Implementasi dan analisis jaringan Fiber to The Tower dengan menggunakan teknologi GPON. *Dinamika Rekayasa*, 19(2), 119–129. <https://doi.org/10.20884/1.dr.2023.19.2.1463>
- Pakpahan, A. F., & Hwang, I.-S. (2023). Flexible access network multi-tenancy using NFV/SDN in TWDM-PON. *IEEE Access*, 11, 42937–42948. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3271142>
- Rahayu, Y., Azhary, M. R., Ngah, R., & Ali, A. (2025). Signal quality comparison of customer base and branching methods in fiber to the home network design. *SINERGI*, 29(1), 129–142. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2025.1.012>

- Shabaneh, A. A., & Melhem, M. L. (2022). Execution simulation design of fiber-to-the-home (FTTH) device ingress networks using GPON with FBG based on OptiSystem. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 68(4), 783–791. <https://doi.org/10.24425/ijet.2022.143886>
- Sibuea, S., Sinaga, F. B. N. M., Setiadi, D., & Widodo, Y. B. (2023). Perancangan dan analisis redaman pada jaringan Fiber To The Home dengan menggunakan OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, 9(2), 1159–1175. <https://doi.org/10.37012/jtik.v9i2.1858>
- Trubák, K., Látal, J., Štípal, J., Šiška, P., Nedoma, J., & Vojtěch, J. (2026). Performance evaluation and aggregation curve modelling for multimedia services in the GPON. *Photonics*, 13(2), 196. <https://doi.org/10.3390/photonics13020196>
- Ubaidillah, A., Koko, J., Iqbal, B. M., & Kholida, S. I. (2021). Enhancement of computer network performance with VLAN. *E3S Web of Conferences*, 328, 02004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132802004>
- Yuhanef, A., Asril, A. A., & Yanti, D. O. (2023). Perancangan dan analisis kinerja jaringan Fiber To The Home (FTTH) dengan teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) menggunakan Software OptiSystem. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(2), 482–489. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.407>