

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah menunjukkan keberhasilan penerapan GPON di berbagai wilayah. (Yustini et al., 2021) membahas tentang penggunaan jaringan FTTH di area perkotaan dan menganalisis implementasi dan performansi dari sisi layanan dan pemeliharaan. (Ridho et al., 2020) merancang jaringan FTTH untuk kawasan urban dan menyoroti pentingnya pemilihan rute kabel serta titik-titik distribusi (ODP-ODC) untuk mengurangi kerugian daya sinyal. (Fani & Octamilanov, 2024) membahas tentang pengujian dan kelayakan jaringan FTTH dengan fokus pada standar nilai redaman. Penelitian ini menyimpulkan bahwa FTTH dengan konfigurasi 1:4 dan 1:8 masih dapat memenuhi syarat layak teknis meskipun belum mengukur performa jaringan dari sisi pengguna secara menyeluruh seperti parameter QoS. (Wismiana, Evyta Kamil, Fauzan Zuhdi, 2021) memberikan gambaran umum tentang desain jaringan optik di lingkungan perumahan. Tidak secara spesifik membahas implementasi dan performansi GPON secara mendalam atau pengujian QoS komprehensif. (Ramadhan et al., 2019) fokus pada perancangan jaringan FTTH di perumahan dan simulasi jaringan menggunakan *OptiSystem*, tidak melakukan uji performansi nyata.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Perbedaan
1.	(Yustini et al., 2021)	Implementasi dan Performansi Jaringan <i>Fiber To The Home</i> dengan Teknologi GPON	Pada penelitian (Yustini et al., 2021) berlokasi di daerah perkotaan dengan pengguna padat. Perbedaan: Pada penelitian penulis dilakukan di wilayah

No.	Penulis	Judul	Perbedaan
2.	(Ridho et al., 2020)	Perancangan Jaringan <i>Fiber To The Home</i> (FTTH) pada Perumahan di Daerah Urban	pedesaan dengan persebaran pelanggan rendah. pada penelitian (Ridho et al., 2020) menyoroti perancangan jaringan FTTH di kawasan urban, menekankan pentingnya pemilihan rute kabel dan titik distribusi. Perbedaan: Pada penelitian penulis melakukan uji performansi jaringan termasuk QoS dari pengguna.
3.	(Fani & Octamilanov, 2024)	Implementasi Jaringan Dan Uji Kelayakan <i>Fiber To The Home</i> (FTTH) Pada <i>Cluster</i> Renata	Pada Penelitian (Fani & Octamilanov, 2024) fokus pada kelayakan redaman menggunakan konfigurasi splitter. Perbedaan: Pada penelitian penulis menambahkan pengujian parameter QoS (<i>throughput, delay, jitter, packet loss</i>).
4.	(Wismiana, Evyta Kamil, Fauzan Zuhdi, 2021)	Perencanaan Penjaluran Jaringan Fiber Optik Pada Kluster Perumahan	Pada penelitian (Wismiana, Evyta Kamil, Fauzan Zuhdi, 2021) fokus pada perencanaan penjaluran jaringan fiber optik di kluster perumahan. Perbedaan: Pada penelitian penulis berfokus pada analisis QoS yang

No.	Penulis	Judul	Perbedaan
			komprehensif (<i>throughput, delay, packet loss, jitter</i>) pada berbagai aktivitas pengguna dan kondisi waktu berbeda.
5.	(Ramadhan et al., 2019)	Perancangan Jaringan FTTH Dengan Teknologi GPON Menggunakan Simulasi <i>OptiSystem</i> Studi Kasus: Perumahan Permata Air Dingin Kota Padang	Pada penelitian (Ramadhan et al., 2019) hanya berbasis simulasi, belum implementasi nyata Perbedaan: Pada penelitian penulis melakukan pengujian performansi secara langsung terhadap pelanggan.

B. Landasan Teori

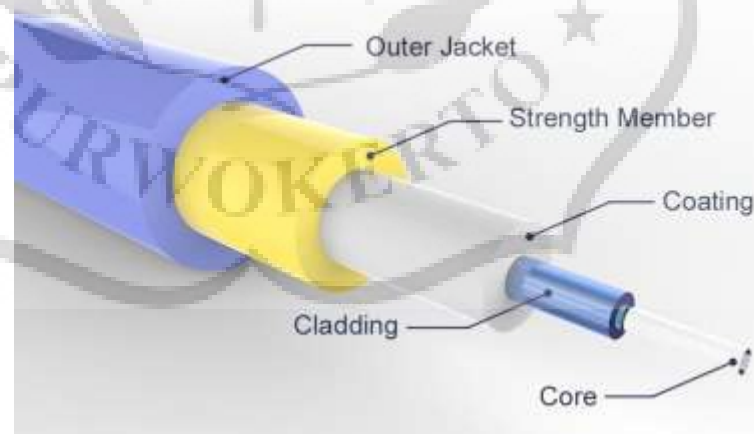
1. Fiber Optik

Fiber optik merupakan salah satu teknologi transmisi yang menggunakan media serat kaca atau plastik dengan diameter sangat kecil, dirancang untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari satu titik ke titik lainnya secara efisien. Teknologi ini bekerja berdasarkan prinsip pantulan total internal, di mana cahaya dipandu sepanjang inti serat tanpa keluar dari jalur transmisi. Mekanisme ini memungkinkan sinyal untuk tetap stabil dan tidak mudah terganggu oleh interferensi elektromagnetik atau perubahan kondisi cuaca yang umumnya mempengaruhi media konvensional seperti kabel tembaga dan koaksial (Hafiza, 2019).

Penggunaan fiber optik telah banyak diterapkan dalam berbagai aplikasi, terutama di bidang jaringan komunikasi data karena kemampuannya dalam mengirimkan data berkecepatan tinggi dan berkapasitas besar. Fiber optik mampu membawa informasi dalam

bentuk pulsa cahaya yang dikonversi menjadi sinyal listrik oleh transduser optoelektronik di sisi penerima. Proses ini melibatkan komponen utama seperti laser diode sebagai pemancar dan photodiode sebagai penerima. Dalam jalur transmisi yang panjang, redaman sinyal tetap terjadi akibat sambungan, konektor, dan karakteristik kabel itu sendiri. Oleh karena itu, diperlukan perangkat repeater atau amplifier untuk menjaga kualitas sinyal tetap optimal (Dunggio et al., 2021).

Keunggulan utama dari kabel fiber optik terletak pada tingkat redaman yang sangat rendah, kemampuan transmisi data pada *bandwidth* tinggi, serta tingkat keamanan yang lebih baik karena sinyal cahaya lebih sulit untuk disadap. Selain itu, kabel ini juga memiliki ketahanan terhadap interferensi dan mampu beroperasi dengan andal dalam lingkungan yang keras. Dalam sistem jaringan modern seperti *Fiber To The Home* (FTTH), fiber optik menjadi fondasi utama karena mampu menyediakan koneksi langsung dari pusat layanan ke rumah pelanggan dengan kecepatan simetris yang jauh melampaui teknologi tembaga (Mahjud et al., 2022). Berikut adalah kabel fiber optik seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Fiber Optik

Serat optik terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu: *core* (inti), *cladding* (jaket), dan *coating* (mantel), *strength member* dan *outer jacket*.

a. *Core* (Inti)

Core merupakan pusat utama dalam serat optik tempat terjadinya perambatan cahaya. Bagian ini biasanya terbuat dari material kaca (silika) berkualitas tinggi atau plastik optik khusus, dan memiliki diameter antara 8 hingga 125 mikrometer tergantung pada jenis seratnya (*single-mode* atau *multi-mode*). *Core* memiliki indeks bias yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan sekitarnya agar cahaya dapat dipantulkan secara total internal dan tetap berada dalam jalur transmisi. Karakteristik *core* seperti ukuran dan jenis material sangat berpengaruh terhadap kualitas transmisi dan kemampuan jarak jangkauan jaringan (Hidayat et al., 2022).

b. *Cladding* (Jaket)

Cladding adalah lapisan optik yang mengelilingi *core* dan berfungsi untuk menjaga agar cahaya yang masuk ke dalam *core* tetap berada di dalamnya melalui prinsip pantulan total internal. Hal ini dimungkinkan karena *cladding* memiliki indeks bias yang lebih rendah dibandingkan *core*. Biasanya, diameter *cladding* adalah sekitar 125 mikrometer. Tanpa lapisan ini, cahaya bisa keluar dari *core*, sehingga menyebabkan hilangnya sinyal secara signifikan. Hubungan antara indeks bias *core* dan *cladding* menjadi kunci utama dalam efisiensi pemantulan cahaya di dalam serat (A. Pratama, F. Imansyah, 2020).

c. *Coating* (Mantel)

Coating merupakan lapisan pelindung luar yang membungkus *cladding* dan *core*. Fungsinya adalah untuk melindungi serat optik dari tekanan fisik, goresan, kelembapan, serta kerusakan akibat tarikan atau tekukan. *Coating* biasanya dibuat dari bahan polimer elastis seperti *acrylate*, dan diberikan warna berbeda untuk menandai urutan *core* sesuai standar internasional TIA/EIA-598. Pelapis ini tidak berpengaruh

terhadap propagasi cahaya secara langsung, namun sangat penting dalam memastikan umur panjang serat dan kemudahan instalasi di lapangan.

d. *Strength Member*

Di luar *coating*, terdapat bagian yang disebut *strengthening member*, yaitu serat-serat penguat yang biasanya terbuat dari bahan kevlar, benang kaca, atau bahan sejenis lainnya. Tujuannya adalah untuk memberikan kekuatan tarik tambahan sehingga kabel tidak mudah putus saat dipasang atau ditarik. Penggunaan elemen ini sangat penting dalam instalasi lapangan, khususnya di lingkungan ekstrem. Kabel yang dilengkapi dengan penguat internal memiliki ketahanan mekanis lebih tinggi terhadap tarikan dan lenturan berulang (Fani & Octamilanov, 2024).

e. *Outer Jacket*

Lapisan paling luar dari kabel fiber optik disebut *outer jacket* atau jaket. Jaket berfungsi sebagai pelindung seluruh bagian dalam kabel dari faktor lingkungan seperti air, debu, tekanan fisik, dan bahan kimia. Jaket biasanya terbuat dari bahan seperti *polyethylene* (PE) atau *polyvinyl chloride* (PVC) yang tahan terhadap panas dan abrasi. Selain itu, jaket juga dilengkapi dengan tanda pengenal atau kode warna yang memudahkan teknisi dalam proses instalasi dan pemeliharaan. Pemilihan material jaket yang sesuai akan menentukan sejauh mana daya tahan kabel terhadap kondisi lingkungan eksternal.

2. Jenis-jenis Kabel FO

Secara umum, kabel fiber optik diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan ukuran inti dan cara cahaya merambat di dalamnya, yaitu *single-mode* dan *multi-mode*. Keduanya memiliki karakteristik fisik dan fungsi yang berbeda dalam sistem transmisi data.

a. *Single-Mode*

Serat optik tipe *single-mode* memiliki diameter inti yang sangat kecil, sekitar 9 mikrometer, dan dirancang untuk mentransmisikan hanya satu jalur cahaya (*mode*) pada satu waktu. Jalur cahaya ini berjalan sejajar secara lurus di tengah serat, sehingga menghasilkan tingkat dispersi sinyal yang sangat rendah. Karena minimnya dispersi, *single-mode* mampu mengirimkan data pada jarak yang sangat jauh dengan kecepatan tinggi dan sedikit degradasi sinyal. Jenis serat ini biasanya digunakan untuk mentransmisikan cahaya laser inframerah dengan panjang gelombang antara 1300 hingga 1550 nanometer, menjadikannya sangat cocok untuk jaringan *backbone* dan komunikasi jarak jauh.

b. *Multi-Mode*

Berbeda dengan *single-mode*, *multi-mode* memiliki diameter inti yang jauh lebih besar, yaitu sekitar 62,5 mikrometer. Ukuran ini memungkinkan cahaya merambat dalam berbagai sudut (*multi-mode*), sehingga memungkinkan banyak sinyal untuk ditransmisikan secara bersamaan dalam satu serat. Sumber cahaya yang digunakan pada jenis serat ini umumnya berupa LED dengan panjang gelombang berkisar antara 850 hingga 1300 nanometer. Meskipun *multi-mode* memiliki kapasitas transmisi besar, jarak jangkauannya terbatas karena terjadinya dispersi antar *mode* yang lebih tinggi. Oleh karena itu, serat ini umumnya digunakan untuk instalasi jaringan lokal (LAN) atau antar gedung dalam jarak pendek hingga menengah.

3. *Fiber To The Home (FTTH)*

Fiber To The Home (FTTH) merupakan salah satu bentuk implementasi teknologi jaringan akses optik yang dirancang untuk menghubungkan layanan dari pusat operator langsung ke rumah

pelanggan menggunakan media transmisi serat optik. Teknologi ini merupakan bagian dari konsep *Fiber To The X* (FTTX), yaitu teknologi jaringan optik yang berbeda berdasarkan titik akhir pemasangan kabel serat optik. FTTH merupakan varian paling lengkap dalam kelompok FTTX karena fiber optik menjangkau langsung ke kediaman pelanggan, tidak seperti *Fiber To The Building* (FTTB), *Fiber To The Curb* (FTTC), atau *Fiber To The Node* (FTTN) yang titik akhirnya lebih dekat ke pusat distribusi.

Keunggulan utama dari FTTH adalah kemampuannya dalam menyediakan layanan *triple play* secara simultan, yaitu layanan data (internet berkecepatan tinggi), suara (telepon PSTN), dan video (TV kabel atau IPTV). Layanan tersebut dapat didistribusikan dalam satu infrastruktur serat optik yang sama, sehingga lebih efisien, fleksibel, dan ekonomis. FTTH memberikan keunggulan dalam aspek stabilitas koneksi, karena media serat optik tidak terpengaruh oleh interferensi elektromagnetik atau gangguan cuaca sebagaimana halnya kabel tembaga atau koaksial. FTTH kini menjadi pilihan utama dalam pengembangan infrastruktur jaringan akses modern, khususnya untuk mendukung kebutuhan layanan digital berbasis *cloud* dan multimedia.

Keunggulan FTTH yang lain meliputi kemudahan ekspansi layanan, fleksibilitas desain arsitektur jaringan, dan keandalan tinggi dalam penyampaian layanan. Penyedia layanan dapat dengan mudah menambah kapasitas pelanggan tanpa perlu melakukan perubahan besar pada infrastruktur fisik yang telah ada. Selain itu, minimnya penggunaan perangkat aktif di jalur distribusi mengurangi biaya pemeliharaan dan risiko kegagalan perangkat.

Arsitektur jaringan fiber optik, khususnya dalam konteks Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf), umumnya terdiri dari dua perangkat optoelektronik yang berfungsi sebagai perangkat aktif. Satu perangkat terletak di sisi pusat, sementara yang lainnya berada di sisi pelanggan, yang dikenal sebagai titik konversi optik (TKO).

Penempatan TKO ini akan mempengaruhi berbagai modus arsitektur Jarlokaf. Sinyal optik yang ditransmisikan menggunakan panjang gelombang yang berbeda, yaitu 1490 nm untuk *downstream* (data yang mengalir dari pusat ke pelanggan), 1310 nm untuk *upstream* (data dari pelanggan ke pusat), dan 1550 nm untuk sinyal video. Teknologi ini menjamin bahwa semua layanan dapat diterima secara bersamaan tanpa saling mengganggu.

Arsitektur jaringan fiber optic yang digunakan dalam FTTH yaitu *Passive Optical Network* (PON). PON merupakan sistem *point-to-multipoint* yang menggunakan splitter pasif untuk mendistribusikan sinyal tanpa catu daya eksternal. *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) sebagai salah satu standar PON, mendukung hingga 64 pelanggan per port OLT dan jarak jangkauan maksimum hingga 20 km. Teknologi ini dinilai paling efisien dalam skala besar karena hemat energi, mudah dikelola, dan memiliki biaya operasional yang rendah.

4. *Gigabit Passive Optical Network* (GPON)

Gigabit Passive Optical Network (GPON) adalah teknologi akses broadband berbasis fiber optik yang menggunakan arsitektur *point-to-multipoint* dengan komponen pasif seperti splitter dalam jaringan distribusinya. GPON dikembangkan dan distandarisasi oleh *International Telecommunication Union* (ITU) melalui rekomendasi ITU-T G.984.2, yang mendefinisikan berbagai spesifikasi teknis, kecepatan transmisi dan batasan redaman. Standar ini menetapkan bahwa total redaman pada jaringan GPON tidak boleh melebihi 28 dB untuk menjaga kualitas transmisi dari *Optical Line Terminal* (OLT) ke *Optical Network Terminal* (ONT) (ITU-T, 2019).

GPON memberikan banyak keunggulan, antara lain: fleksibilitas dalam mendukung layanan *triple play* (suara, video, dan data), transparansi terhadap format data dan kecepatan bit, efisiensi biaya operasional, serta kemudahan instalasi dan pengembangan kapasitas jaringan. Sistem ini juga lebih hemat kabel karena satu fiber

optik dapat digunakan untuk banyak pelanggan. GPON juga memberikan efisiensi tinggi pada sisi pusat layanan (OLT) karena penggunaan port yang lebih sedikit.

GPON merupakan evolusi dari teknologi sebelumnya yaitu BPON dan APON. Teknologi ini tidak hanya menawarkan kecepatan transmisi lebih tinggi, tetapi juga pengamanan data yang lebih baik dengan enkripsi downstream hingga 128 bit. Selain itu, konfigurasi GPON memungkinkan ONT untuk menyesuaikan daya transmisi berdasarkan perintah dari OLT, sehingga kualitas sinyal dapat tetap stabil meskipun terjadi variasi redaman di lapangan.

Secara keseluruhan, teknologi GPON telah menjadi standar industri yang banyak digunakan oleh penyedia layanan internet di seluruh dunia karena keandalannya dalam mendukung konektivitas skala besar, efisiensi biaya, dan kemudahan pengelolaan jaringan. GPON juga merupakan fondasi utama dari implementasi FTTH yang saat ini berkembang pesat di kawasan perumahan dan komersial.

Komponen-komponen pada teknologi GPON antara lain yaitu:

a. *Optical Line Terminal* (OLT)

Optical Line Terminal (OLT) merupakan perangkat utama yang berada di sisi penyedia layanan (ISP). OLT bertugas untuk mengirim dan menerima data dari pusat, kemudian mendistribusikannya ke banyak pelanggan melalui jaringan fiber optik.

Salah satu fungsi utama OLT adalah mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik, yang selanjutnya dikirimkan melalui media fiber optik ke pelanggan. Sebaliknya, sinyal optik yang diterima dari pelanggan akan dikonversi kembali menjadi sinyal elektrik untuk diproses atau diteruskan ke jaringan layanan.

OLT juga bertanggung jawab dalam mengalokasikan bandwidth, menyinkronkan transmisi, serta mengatur topologi

point-to-multipoint yang menghubungkan banyak pelanggan melalui splitter pasif.

b. *Optical Distribution Cabinet (ODC)*

Optical Distribution Cabinet (ODC) merupakan salah satu perangkat pasif dalam sistem jaringan FTTH berbasis GPON yang ditempatkan di antara titik ujung kabel *feeder* dan awal kabel distribusi. Umumnya, ODC diinstalasi di luar ruangan (*outdoor*), tetapi dalam beberapa kondisi juga dapat ditempatkan di ruang dalam (*indoor*) tergantung kebutuhan dan kondisi lapangan.

ODC berperan sebagai titik sambung utama antara kabel berkapasitas besar (*feeder*) dengan kabel berkapasitas lebih kecil (distribusi), sehingga fungsi utamanya adalah sebagai media distribusi dan terminasi jaringan optik.

c. *Optical Distribution Point (ODP)*

Optical Distribution Point (ODP) adalah salah satu perangkat pasif dalam sistem jaringan FTTH yang berfungsi sebagai titik distribusi terakhir sebelum kabel drop terhubung langsung ke perangkat pelanggan (ONT). ODP menjadi penghubung antara kabel distribusi dari ODC dan saluran akses ke rumah pelanggan melalui kabel drop.

ODP biasanya berbentuk kotak kecil dan ditempatkan secara *outdoor*, terutama pada tiang. Secara umum, ODP memiliki beberapa fungsi utama, yaitu sebagai titik terminasi dari kabel distribusi dan sebagai titik awal dari kabel drop yang menuju pelanggan dan sebagai titik pembagi sinyal optik dari satu jalur distribusi menjadi beberapa jalur akses ke pelanggan.

d. *Optical Network Terminal (ONT)*

Optical Network Terminal (ONT) adalah perangkat aktif yang ditempatkan di sisi pelanggan dan berfungsi sebagai titik akhir jaringan fiber optik sekaligus antarmuka antara infrastruktur

jaringan operator dengan perangkat pelanggan seperti *router*, telepon, atau televisi berbasis IP. Perangkat ini merupakan bagian penting dari sistem FTTH karena bertanggung jawab untuk mengonversi sinyal optik yang dikirim dari OLT menjadi sinyal listrik yang dapat digunakan oleh perangkat pelanggan.

ONT juga berperan sebagai titik terminasi dari kabel drop optik, dan sering kali terintegrasi dengan fitur manajemen seperti pengaturan VLAN, *firewall*, serta pengaturan *Quality of Service* (QoS) untuk memastikan stabilitas dan prioritas lalu lintas jaringan.

Karena berfungsi sebagai *interface* ke perangkat pelanggan, ONT sangat berpengaruh terhadap kualitas pengalaman pengguna akhir, terutama dalam layanan *triple play* yang membutuhkan kestabilan koneksi dan *bandwidth* tinggi. Keandalan dan konfigurasi perangkat ONT turut menentukan performa keseluruhan layanan yang diterima oleh pengguna.

e. *Splitter Pasive*

Merupakan perangkat optik pasif yang berfungsi untuk membagi sinyal optik dari satu sumber menjadi beberapa keluaran. Tipe pembagiannya bervariasi, seperti 1:2 (3,70 dB), 1:4 (7,25 dB), 1:8 (10,38 dB), hingga 1:16 (14,10 dB), tergantung pada kebutuhan distribusi jaringan (Sitohang & Setiawan, 2018) (ITU-T, 2019).

5. *Link Power Budget*

Dalam sistem komunikasi serat optik, salah satu aspek krusial yang menentukan keberhasilan transmisi adalah perhitungan *Link Power Budget*. *Link Power Budget* merujuk pada proses perhitungan total redaman (*loss*) dalam suatu jalur transmisi optik, mulai dari titik pemancar di sisi OLT hingga ke perangkat penerima di sisi pelanggan (ONT). Proses ini penting untuk memastikan bahwa daya optik yang diterima cukup untuk menjamin performansi jaringan. *Link Power*

Budget berfungsi sebagai pendekatan analitis untuk menentukan kelayakan jaringan optik, dengan menghitung semua jenis redaman seperti redaman serat, konektor, sambungan, dan splitter.

Berdasarkan standar ITU-T G.984.2 dan juga kebijakan dari penyedia layanan seperti PT. Telkom Indonesia, batas maksimum redaman dalam sistem GPON adalah 28 dB dengan jarak transmisi maksimal sejauh 20 km. Oleh karena itu, dalam desain jaringan optik, nilai total redaman harus selalu berada di bawah ambang ini untuk memastikan sinyal optik tetap dapat diterima dengan baik.

Untuk menghitung total redaman (*loss*) suatu jaringan digunakan rumus persamaan 1 sebagai berikut:

$$\alpha_{tot} = L \cdot \alpha_{serat} + N_c \cdot \alpha_c + N_s \cdot \alpha_s + S_p \quad (1)$$

Dimana:

α_{tot} = Total redaman (dB)

L = Panjang serat optik (dalam Kilometer)

α_{serat} = Redaman serat optik (dB/Km)

N_c = Jumlah konektor

α_c = Redaman konektor (dB)

N_s = Jumlah sambungan

α_s = Redaman Sambungan (dB)

S_p = Redaman Splitter (dB)

Melalui rumus di atas, dapat diperkirakan nilai total redaman dalam satu jalur komunikasi optik. Bila hasil perhitungan menunjukkan bahwa total redaman di bawah 28 dB, maka jaringan dianggap layak untuk dioperasikan secara optimal (Yustini et al., 2021).

Selain metode perhitungan, pengukuran aktual *Link Power Budget* juga dapat dilakukan di lapangan menggunakan alat seperti *Optical Power Meter* (OPM) untuk memastikan sinyal optik tidak mengalami penurunan daya yang berlebihan.

6. *Optical Power Meter (OPM)*

Optical Power Meter (OPM) adalah perangkat yang berfungsi mengukur tingkat daya optik dalam jaringan serat optik. Alat ini digunakan untuk menilai redaman atau kehilangan daya pada jaringan, serta memastikan bahwa daya sinyal yang diterima masih dalam batas aman, sehingga transmisi data tetap dapat berjalan dengan baik (Putra et al., 2024).

Cara kerja OPM adalah dengan mengukur daya yang masuk dan dibandingkan dengan daya yang dipancarkan, lalu hasilnya ditampilkan dalam satuan *Decibel-milliwatt (dBm)*.

7. ITU-T G.984

ITU-T G.984.2 adalah bagian dari seri standar G.984 yang ditetapkan oleh *International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)*, yang secara khusus mengatur tentang spesifikasi lapisan media fisik (*Physical Media Dependent / PMD*) pada teknologi GPON.

Standar ini mengatur penggunaan panjang gelombang optik, jenis serat, dan batasan performa teknis jaringan, termasuk batas redaman maksimal. Dalam G.984.2, ditetapkan bahwa sistem GPON menggunakan panjang gelombang 1490 nm untuk *downstream*, 1310 nm untuk *upstream*, dan 1550 nm untuk layanan video. Selain itu, standar ini juga menentukan bahwa total redaman sinyal dalam jaringan tidak boleh melebihi 28 dB untuk jarak maksimal 20 km. Ketentuan ini menjadi acuan penting dalam perhitungan *Link Power Budget* untuk memastikan sinyal dapat diterima dengan baik oleh ONT (ITU-T, 2019).

8. *Quality of Service (QoS)*

Dalam konteks jaringan telekomunikasi, *Quality of Service* atau QoS merupakan ukuran performa layanan yang diberikan oleh jaringan kepada penggunanya. QoS mencerminkan sejauh mana

jaringan mampu mengirimkan data secara andal, cepat, dan stabil, sesuai kebutuhan pengguna akhir. Pada jaringan FTTH menggunakan teknologi GPON, pengukuran QoS menjadi indikator penting untuk mengevaluasi keberhasilan implementasi infrastruktur jaringan tersebut, terutama dalam memberikan layanan *triple play* seperti internet, suara, dan video.

Standar kualitas layanan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON) yang dikeluarkan oleh *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). TIPHON menetapkan kategori performansi jaringan berdasarkan ambang batas tertentu untuk setiap parameter QoS (ETSI, 1999). Terdapat empat parameter utama yang digunakan dalam evaluasi QoS, yakni *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*.

- 1) *Throughput*: Merupakan parameter yang mengukur kecepatan efektif transfer data dalam satuan *bit per second* (bps). Besarnya *throughput* dihitung dari jumlah total paket yang diterima selama rentang waktu tertentu, dibagi dengan lamanya waktu tersebut. Besarnya *throughput* dapat diklasifikasikan pada Table 2.2.

Tabel 2.2 Parameter *Throughput*

No.	Kategori	<i>Throughput</i> (kbps)	Indeks
1.	Sangat Bagus	>2100	4
2.	Bagus	1200 – 2100	3
3.	Sedang	700 – 1200	2
4.	Buruk	337 – 700	1

Untuk mendapatkan nilai *throughput* dapat menggunakan rumus:

$$\textit{Throughput} = \frac{\textit{total data yang dikirim}}{\textit{waktu pengiriman}} \quad (2)$$

- 2) *Packet loss*: Merupakan parameter yang menggambarkan kondisi hilangnya sejumlah paket data selama proses transmisi, yang umumnya disebabkan oleh tabrakan data (*collision*) atau

kepadatan lalu lintas jaringan (*congestion*). Berikut adalah parameter *packet loss* seperti pada Table 2.3.

Tabel 2.3 Parameter *Packet Loss*

No.	Kategori	<i>Packet Loss</i> (%)	Indeks
1.	Sangat Bagus	0	4
2.	Bagus	3	3
3.	Sedang	15	2
4.	Buruk	>25	1

Untuk mendapatkan nilai *packet loss* dapat menggunakan rumus:

$$Packet\ Loss = \frac{packet\ data\ dikirim - packet\ data\ diterima}{packet\ data\ dikirim} \times 100 \quad (3)$$

- 3) *Delay*: Merupakan waktu jeda yang dibutuhkan oleh suatu paket data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. *Delay* dapat dipengaruhi oleh panjang lintasan, kecepatan transmisi, dan beban jaringan. Berikut adalah parameter *delay* seperti pada Table 2.4.

Tabel 2.4 Parameter *Delay*

No.	Kategori	<i>Delay</i> (ms)	Indeks
1.	Sangat Bagus	<150	4
2.	Bagus	150 – 300	3
3.	Sedang	300 – 450	2
4.	Buruk	>450	1

Untuk mendapatkan nilai *delay* dapat menggunakan rumus:

$$Rata - rata\ Delay = \frac{total\ delay}{total\ paket\ diterima} \quad (4)$$

- 4) *Jitter*: merupakan variasi dari *delay* yang berkaitan dengan *latency*. Dalam aplikasi *real-time* seperti *video streaming* atau panggilan suara berbasis protokol UDP, nilai *jitter* yang tinggi dapat menyebabkan gangguan yang signifikan. Berikut adalah parameter *jitter* seperti pada Table 2.5.

Tabel 2.5 Parameter *Jitter*

No.	Kategori	<i>Jitter</i> (ms)	Indeks
1.	Sangat Bagus	0	4
2.	Bagus	0 – 75	3

No.	Kategori	Jitter (ms)	Indeks
3.	Sedang	75 – 125	2
4.	Buruk	125 – 225	1

Untuk mendapatkan nilai *jitter* dapat menggunakan rumus:

$$\text{Rata – rata Jitter} = \frac{\text{total variasi delay}}{\text{total paket diterima}} \quad (5)$$

Berdasarkan standar TIPHON, dapat disimpulkan bahwa parameter QoS memiliki peranan penting dalam menilai keberhasilan suatu jaringan optik. Pengukuran terhadap parameter ini tidak hanya menjadi acuan teknis, tetapi juga menjadi dasar dalam meningkatkan mutu layanan kepada pengguna akhir.

