



Analisis Performa Sistem Transmisi Data Menggunakan Fiber Optik Pada Jaringan Metropolitan Area Network (MAN)

Harry Pribadi Fitrian*, Rajip Nur Arasi Muntaha, Muhammad Hanif Hidayat, Baden Nugraha, Agis Rido Priatna, Aditya Alfathi Arifin

Universitas Teknologi Digital

Abstrak: Pertumbuhan kebutuhan bandwidth yang besar pada jaringan perkotaan menuntut infrastruktur transmisi data yang handal dan berkecepatan tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa sistem transmisi data menggunakan fiber optik pada Metropolitan Area Network (MAN) melalui kajian komparatif berbasis simulasi OptiSystem. Parameter yang dievaluasi meliputi throughput, latency, Bit Error Rate (BER), serta faktor-faktor yang mempengaruhi performa sistem. Metode penelitian menggunakan studi literatur dengan menganalisis dua jurnal implementasi fiber optik: jaringan FTTH-GPON dengan bit rate 2.4 Gbps untuk jarak hingga 4.285 km, dan jaringan multimode OM4 dengan bit rate 10.5 Gbps untuk jarak maksimal 143.8 m. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua sistem mampu mencapai throughput target dengan nilai BER berkisar 10^{-81} hingga 10^{-103} , jauh melebihi standar komunikasi optik (10^{-9}). Nilai Q-Factor yang diperoleh berkisar 19.05-21.57, melampaui standar minimum (6). Rise Time Budget menunjukkan nilai 0.029 ns dengan propagasi delay $< 50 \mu\text{s}$ untuk jarak < 10 km, sangat suitable untuk aplikasi real-time. Faktor kritis yang mempengaruhi performa meliputi Power Link Budget (margin minimum 9 dB), redaman total (< 15 dB), dispersi kromatik dan modal, konfigurasi komponen pasif, panjang gelombang operasi, serta faktor environmental. Validasi menunjukkan deviasi simulasi OptiSystem dengan pengukuran lapangan < 0.3 dB, membuktikan akurasi tool sebesar 98.7%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa fiber optik dengan proper design dapat memenuhi Quality of Service (QoS) untuk aplikasi mission-critical pada jaringan MAN dengan reliabilitas tinggi, scalability optimal, dan error correction overhead minimal.

Kata Kunci: Fiber Optik, Metropolitan Area Network (MAN), OptiSystem, Bit Error Rate (BER), Throughput, Latency, Power Link Budget, Quality of Service (QoS)

DOI:

<https://doi.org/10.53697/jkomitek.v6i1.3603>

*Correspondence: Harry Pribadi Fitrian

Email:

harrypribadi@digitechuniversity.ac.id

Received: 08-04-2026

Accepted: 08-05-2026

Published: 08-06-2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The growing need for large bandwidth in urban networks demands reliable and high-speed data transmission infrastructure. This study aims to analyze the performance of data transmission systems using optical fiber in Metropolitan Area Networks (MAN) through a comparative study based on OptiSystem simulation. The parameters evaluated include throughput, latency, Bit Error Rate (BER), and factors that affect system performance. The research method uses a literature study by analyzing two journals on optical fiber implementation: an FTTH-GPON network with a bit rate of 2.4 Gbps for a distance of up to 4,285 km, and an OM4 multimode network with a bit rate of 10.5 Gbps for a maximum distance of 143.8 m. The results of the analysis show that both systems are able to achieve the target throughput with BER values ranging from 10^{-81} to 10^{-103} , far exceeding the optical communication standard (10^{-9}). The Q-Factor values obtained range from 19.05 to 21.57, exceeding the minimum standard (6). The rise time budget is 0.029 ns with a propagation delay of $< 50 \mu\text{s}$ for distances of < 10 km, making it highly suitable for real-time applications. Critical factors affecting performance include the Power Link Budget (minimum margin of 9 dB), total attenuation (< 15 dB), chromatic and modal dispersion, passive component configuration, operating wavelength, and environmental factors. Validation shows a deviation of < 0.3 dB between OptiSystem simulations and field measurements, demonstrating a tool accuracy of 98.7%. This study concludes that properly designed optical fiber can meet Quality of Service (QoS) for mission-critical applications in MAN

networks with high reliability, optimal scalability, and minimal error correction overhead.

Keywords: *Fiber Optics, Metropolitan Area Network (MAN), OptiSystem, Bit Error Rate (BER), Throughput, Latency, Power Link Budget, Quality of Service (QoS)*

Pendahuluan

Jaringan METROPOLITAN (MAN) adalah sistem jaringan yang beroperasi dalam suatu wilayah kota, menawarkan transfer data dengan kecepatan tinggi, dan menghubungkan berbagai tempat seperti universitas, kantor, pemerintah, dan lain-lain. Jaringan MAN juga dikenal sebagai kombinasi dari beberapa LAN (Rismawati & Femy Mulya, 2020). Kenaikan pesat dalam kebutuhan bandwidth mengharuskan adanya infrastruktur jaringan yang dapat mengakomodasi permintaan tersebut.

Teknologi Serat Optik memainkan peranan utama dalam penerapan MAN karena manfaatnya dalam kapasitas bandwidth, kecepatan transmisi yang lebih baik dibandingkan dengan kabel tradisional yang masih bergantung pada kabel tembaga seperti UTP, Coaxial, dan lainnya. Serat optik memberikan bandwidth yang lebih besar, kecepatan transmisi yang lebih tinggi, serta ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik.

Namun, penerapan serat optik dalam MAN perlu dilakukan analisis kinerja untuk memastikan sistem dapat memenuhi standar Quality of Service (QoS) yang dibutuhkan oleh aplikasi. Indikator yang menunjukkan efektivitas dalam transmisi data mencakup throughput, latency, kehilangan paket, dan pemanfaatan bandwidth.

Rumusan Masalah

- Bagaimana performa throughput pada sistem transmisi data fiber optic pada jaringan MAN?
- Berapa nilai latency yang di hasilkan dalam transmisi data melalui fiber optic?
- Seberapa bersih Bit Error Rate yang terjadi pada sistem transmisi?
- Faktor apa saja yang memengaruhi performa sistem transmisi fiber optic pada MAN?

Tujuan Penelitian

- Memahami performa throughput pada sistem transmisi fiber optic
- Mengetahui nilai latency yang dihasilkan dalam transmisi data melalui fiber optic.
- Menganalisis Bit Error rate yang pada sistem transmisi data fiber optic.
- Mengenal faktor yang mempengaruhi performa sistem transmisi fiber optic pada MAN

Manfaat Penelitian

- Untuk mengetahui manfaat penerapan sistem transmisi data menggunakan fiber optic Pada jaringan MAN.

- Untuk mengetahui nilai latency yang dihasilkan dalam proses transmisi data melalui Fiber optic sehingga dapat menjadi acuan dalam peningkatan performa jaringan.
- BER menunjukkan seberapa bersih atau akurat transmisi data dari pengirim ke penerima.
- Untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi performa sistem transmisi fiber Optic pada jaringan MAN, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam upaya optimasi dan perbaikan sistem jaringan.

Kajian Pustaka

Fiber Optic

Serat optik adalah saluran transmisi yang terdiri dari kabel yang terbuat dari bahan kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dibandingkan dengan sehelai rambut. Sinyal yang bisa dikirim melalui serat optik adalah sinyal yang berupa cahaya, yang dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya. Ada dua jenis kabel serat optik berdasarkan jenis gelombang cahaya, yaitu single mode dan multi mode. (Putra Maharddhika et al., 2022).

Efisiensi dari serat optik dipengaruhi oleh tingkat kepastian bahan baku kaca. Ketika bahan kaca yang dipakai semakin murni, jumlah cahaya yang diserap oleh serat optik akan berkurang. (Rahmatulloh et al., 2023).

Cahaya yang ada di dalam fiber optik tidak keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara, karena laser mempunyai spektrum yang sangat sempit. Kecepatan transmisi fiber optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran komunikasi. Click or tap here to enter text.. Cahaya yang melewati kabel fiber optik dipantulkan ke dalam jaringan kabel dan menghasilkan refleksi internal total, di mana cahaya dipantulkan pada sudut yang kecil. Click or tap here to enter text.

MAN (Metropolitan Area Network)

Metropolitan Area Network (MAN) adalah suatu konsep jaringan komputer yang digunakan untuk area yang luas seperti kota, baik dengan menggunakan kabel maupun tanpa kabel. MAN dirancang untuk melayani area geografis sebesar kota dengan jarak koneksi maksimal 10 km. Ketika diterapkan dalam area yang lebih luas, MAN dapat menjangkau wilayah hingga 100 km. Salah satu contoh dari standar teknis untuk MAN tanpa kabel yang dapat memberikan akses dengan kecepatan tinggi adalah IEEE 802. 16, yang dikenal juga sebagai WiMAX. (Agung Nugroho et al., n.d.).

Berdasarkan standar IEEE 802. 6, Jaringan Area Metropolitan (MAN) didukung oleh DQDB (Distributed Queue Dual Bus), yang terdiri dari dua kabel unidirectional yang terhubung ke setiap jaringan yang terintegrasi. Hal ini memungkinkan transmisi data dengan kecepatan tinggi, bahkan pada kondisi traffic yang sibuk. (Barkah & Zulfin, n.d.).

Bit Error Rate (BER)

Bit error rate bisa diartikan sebagai frekuensi kesalahan yang terjadi per jumlah total bit yang dikirim dalam suatu sistem digital. Jika N_E adalah jumlah kesalahan bit dan N_T adalah jumlah total bit yang dikirim, maka nilai BER dapat dituliskan dengan rumus (1) dan (2).

$$BER = N_E / N_T \quad (1)$$

Nilai bit error rate (BER) dapat dinyatakan dalam Q-factor dengan menggunakan persamaan (2).

$$BER = Pe \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} (e^{-Q^2/2}) \left(\frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \right) \quad (2)$$

Nilai BER pada sistem komunikasi optik mencapai 10^{-9} , sementara nilai Q-factor minimum yang diperlukan untuk sistem komunikasi serat optik adalah 6. Semakin kecil nilai bit error rate, semakin baik keadaan jaringan telekomunikasi tersebut (Nyoman Putra Maharddhika et al., n.d.-a).

Latency

Latensi adalah ukuran yang menghitung seberapa lama waktu yang dibutuhkan oleh sebuah data untuk berpindah dari pengirim ke penerima. Dalam fiber optik, terdapat perbedaan antara kecepatan cahaya dan kecepatan cahaya yang ada di ruang hampa. Oleh karena itu, terdapat berbagai jenis serat optik yang berbeda untuk kecepatan cahaya yang dapat dilewati. (Susanto et al., 2024).

Kualitas throughput sangat dipengaruhi oleh latensi. Latensi yang tinggi akan mengurangi jumlah waktu yang sebenarnya digunakan untuk mengirim data. Oleh karena itu, throughput yang besar tidak akan menghasilkan kecepatan transfer yang baik jika nilai latensinya juga tinggi (Rifki Wardana & Santoso, 2023)

Power Link Budget

Power Link Budget adalah keseluruhan loss atau keuntungan dalam sebuah link yang diakibatkan oleh semua komponen dalam link optik. Komponen tersebut meliputi; kabel, konektor, sambungan attenuator, daya rata-rata dari cahaya yang dipancarkan, sensitivitas penerima, daya optik yang diterima, serta margin.. Click or tap here to enter text..

Tujuan utama dari perhitungan power link budget adalah untuk memastikan bahwa daya optik yang diterima oleh alat penerima berada dalam batas sensitivitas yang tepat. Power link budget sangat krusial dalam menetapkan jarak maksimum yang dapat dicapai oleh jaringan FTTH..Click or tap here to enter text..

Throughput

Throughput merupakan indikator kinerja dari jaringan atau sistem komunikasi dalam proses pengiriman dan penerimaan data selama kurun waktu tertentu. Throughput adalah ukuran total data yang berhasil dikirimkan dalam periode waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam bit per detik (bps). Throughput sering diartikan sebagai kinerja nyata

atau kecepatan aktual dari sebuah jaringan dalam mentransfer data, yang berbeda dari bandwidth. Throughput adalah salah satu ukuran penting dalam Quality of Service (QoS). Click or tap here to enter text..

Tingkat throughput yang baik sangat mempengaruhi kinerja aplikasi pengguna, berpengaruh pada waktu pemuatan halaman web, streaming video, transfer file berukuran besar, dan interaksi secara real-time. Hal ini menjadi perhatian utama dalam pengembangan serta pemeliharaan infrastruktur teknologi informasi. (Fatih Zahir et al., 2025).

Optisystem

Optisystem adalah sebuah program simulasi yang berfungsi untuk merancang jaringan serat optik sebelum diterapkan di lapangan secara nyata. Program ini dilengkapi dengan Graphical User Interface(GUI) yang komprehensif, yang mencakup Tata Letak Proyek, Daftar Komponen, Model Komponen, dan Tampilan Grafis. Optisystem adalah perangkat lunak yang dapat dijalankan di komputer pribadi untuk mensimulasikan jaringan serat optik dari pusat (OLT) hingga pengguna akhir (ONT). Selain digunakan untuk simulasi jaringan serat optik, Optisystem juga mampu melakukan pengukuran jaringan seperti power link budget, Rise time budget, dan bit error rate. (Agus Pratama et al., n.d.)

Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review), yaitu metode yang dilakukan dengan cara mengumpulkan, menelaah, serta menganalisis berbagai sumber referensi seperti jurnal ilmiah dan artikel yang relevan dengan topik analisis performa sistem transmisi data menggunakan fiber optik pada jaringan Metropolitan Area Network (MAN). Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai performa jaringan MAN berbasis fiber optik berdasarkan hasil penelitian terdahulu tanpa melakukan eksperimen atau simulasi langsung.

Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini adalah literatur sekunder berupa:

1. Jurnal ilmiah nasional yang membahas tentang jaringan MAN
2. Jurnal yang membahas implementasi fiber optic dan routing protokol
3. Artikel yang membahas performa sistem transmisi data
4. Penelitian terdahulu yang relevan dengan topik

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tahapan:

1. Identifikasi Sumber: Mencari dan mengidentifikasi jurnal-jurnal ilmiah yang membahas tentang performa sistem transmisi data pada jaringan MAN
2. Seleksi Literatur: Memilih literatur yang relevan dengan tujuan penelitian, fokus pada penelitian yang membahas throughput, latency, bit error rate, dan faktor yang mempengaruhi performa.

3. Ekstraksi Data: Mengumpulkan data dan informasi penting dari setiap literatur yang telah dipilih
4. Dokumentasi: Mencatat dan mendokumentasikan data yang diperoleh secara sistematis

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan metode:

1. Analisis Deskriptif: Mendeskripsikan temuan-temuan dari literatur terkait performa throughput, latency, dan packet loss pada sistem transmisi fiber optic MAN
2. Analisis Komparatif: Membandingkan hasil penelitian dari berbagai sumber literatur untuk menemukan pola dan konsistensi data
3. Analisis Sintesis: Mensintesis informasi dari berbagai sumber untuk menjawab pertanyaan penelitian dan mencapai tujuan penelitian
4. Analisis Tematik: Mengidentifikasi tema-tema utama terkait faktor-faktor yang mempengaruhi performa sistem transmisi fiber optic pada MAN

Hasil dan Pembahasan

Analisis Performa Throughput pada Sistem Transmisi Fiber Optic pada jaringan MAN

Throughput merupakan parameter kritis yang menentukan kapasitas aktual data yang dapat ditransmisikan melalui jaringan fiber optic. Berdasarkan analisis komparatif kedua jurnal, performa throughput pada jaringan MAN sangat dipengaruhi oleh teknologi dan konfigurasi sistem yang digunakan.

Pada jurnal pertama (Fitri et al., 2021), implementasi teknologi GPON untuk jaringan FTTH di Kelurahan Surau Gadang menggunakan bit rate 2.4 Gbps. Hasil simulasi OptiSystem menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan throughput yang stabil dengan daya terima berkisar antara -18.250 dBm hingga -18.277 dBm untuk jarak transmisi maksimal 4.2 km (feeder) dengan total jarak hingga pelanggan terjauh mencapai 4.285 km. Teknologi GPON yang digunakan mampu mengatur trafik layanan dengan bit rate informasi lebih dari 1 Gigabit per detik, yang sangat sesuai untuk aplikasi triple play services pada jaringan akses metropolitan.

Sementara itu, jurnal kedua (Nyoman Putra Maharddhika et al., n.d.-a) mengimplementasikan jaringan fiber optic di RSUD Wangaya dengan bit rate yang lebih tinggi yaitu 10.5 Gbps menggunakan kabel multimode OM4. Meskipun jarak transmisi lebih pendek (maksimal 143.8 m antar gedung), sistem ini dirancang untuk mendukung bandwidth yang sangat besar guna mengakomodasi berbagai layanan simultan seperti SIMRS, internet data, IPTV, CCTV, dan IP phone. Total bandwidth yang dibutuhkan pada gedung dengan trafik tertinggi (Gedung 7) mencapai 2037.5 Mbps, menunjukkan kebutuhan throughput yang sangat besar untuk aplikasi Metropolitan Area Network di lingkungan institusi kesehatan.

Untuk aplikasi jaringan MAN, kedua studi menunjukkan bahwa pemilihan teknologi transmisi harus disesuaikan dengan kebutuhan throughput spesifik. Jaringan GPON dengan single mode fiber lebih cocok untuk distribusi layanan ke area geografis yang luas dengan throughput menengah (1-2.4 Gbps), sedangkan multimode OM4 dengan bit rate 10.5 Gbps lebih optimal untuk backbone MAN dengan jarak pendek hingga

menengah (< 2 km) yang memerlukan throughput sangat tinggi. Hasil simulasi OptiSystem pada kedua penelitian membuktikan bahwa sistem dapat mencapai throughput target dengan nilai BER yang memenuhi standar ($< 10^{-9}$), mengindikasikan efisiensi transmisi data yang tinggi.

Analisis Nilai Latency pada Transmisi Data Fiber Optic pada jaringan MAN.

Latency atau delay propagasi merupakan faktor penting dalam menentukan responsivitas sistem transmisi data pada jaringan MAN. Parameter Rise Time Budget dalam kedua jurnal dapat dijadikan indikator kualitas temporal sistem yang berkaitan erat dengan latency.

Jurnal (Fitri et al., 2021) melaporkan nilai Rise Time Budget sebesar 0.029 ns yang jauh lebih kecil dari standar kelayakan maksimal 0.219 ns. Rise time transmitter dan receiver yang digunakan masing-masing 0.02083 ns menghasilkan sistem dengan respons temporal yang sangat baik. Perhitungan rise time fiber optik untuk pelanggan terjauh (pelanggan 8) menunjukkan nilai 0.005151471189 ns. Dengan total jarak transmisi mencapai 4.285 km, propagasi delay dapat dihitung sekitar 21.4 μ s (menggunakan kecepatan cahaya dalam fiber $\sim 2 \times 10^8$ m/s), yang sangat cocok untuk aplikasi real-time pada jaringan MAN seperti VoIP dan video conferencing.

Pada jurnal kedua ((Nyoman Putra Maharddhika et al., n.d.-b) meskipun tidak secara eksplisit menyebutkan rise time budget, penggunaan rise time transmitter dan receiver masing-masing 0.028 ns dengan jarak maksimal 143.8 m menghasilkan propagasi delay yang sangat rendah, diperkirakan < 1 μ s. Hal ini sangat ideal untuk aplikasi yang membutuhkan latency ultra-rendah seperti sistem informasi rumah sakit real-time, telemedicine, dan streaming video berkualitas tinggi.

Analisis komparatif menunjukkan bahwa untuk jaringan MAN, latency dapat dioptimalkan melalui:

1. Pemilihan komponen dengan rise time rendah: Kedua penelitian menggunakan komponen dengan rise time < 0.03 ns
2. Minimalisasi panjang link: Desain topologi star pada RSUD Wangaya dengan jarak pendek menghasilkan latency minimal
3. Pengurangan jumlah komponen pasif: Jurnal pertama menggunakan konfigurasi split 1:4 dan 1:8, yang menambah delay namun tetap dalam batas acceptable
4. Penggunaan modulasi NRZ: Kedua penelitian menggunakan modulasi Non-Return to Zero yang memiliki efisiensi bandwidth dan karakteristik temporal yang baik

Untuk aplikasi jaringan MAN yang mencakup area geografis lebih luas, hasil simulasi OptiSystem pada jurnal pertama menunjukkan bahwa dengan proper design, latency dapat dijaga tetap rendah (< 50 μ s untuk jarak < 10 km) yang masih sangat suitable untuk semua aplikasi metropolitan termasuk cloud computing dan IoT.

Analisis Bit Error Rate pada Sistem Transmisi Data Fiber Optic pada jaringan MAN.

Bit Error Rate (BER) merupakan parameter fundamental yang menggambarkan kualitas dan reliabilitas sistem transmisi data. Standar internasional untuk sistem komunikasi optik menetapkan nilai BER maksimal sebesar 10^{-9} .

Hasil Simulasi OptiSystem - Jurnal 1 (Fitri et al., 2021):

Sistem FTTH dengan teknologi GPON menghasilkan nilai BER yang sangat excellent. Untuk 8 pelanggan yang disimulasikan, nilai BER berkisar antara:

- Pelanggan 1: 2.47433×10^{-88}
- Pelanggan 2: 1.64125×10^{-102}
- Pelanggan 3: 1.18163×10^{-77}
- Pelanggan 4: 7.1354×10^{-96}
- Pelanggan 5: 1.56491×10^{-86}
- Pelanggan 6: 3.29914×10^{-101}
- Pelanggan 7: 2.04193×10^{-89}
- Pelanggan 8: 3.26053×10^{-87}

Semua nilai BER jauh lebih kecil dari standar 10^{-9} , dengan margin yang sangat besar (lebih dari 78 order of magnitude). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki reliabilitas transmisi yang luar biasa tinggi, bahkan untuk pelanggan dengan jarak terjauh (4.285 km).

Hasil Simulasi OptiSystem - Jurnal 2 (Nyoman Putra Maharddhika et al., n.d.-a):

Implementasi fiber optic multimode OM4 di RSUD Wangaya juga menunjukkan performa BER yang exceptional:

- Jarak 46.4 m: BER = 1.74514×10^{-103}
- Jarak 126.1 m: BER = 3.12072×10^{-86}
- Jarak 140.8 m: BER = 4.28541×10^{-82}
- Jarak 85.7 m: BER = 1.61967×10^{-96}
- Jarak 143.8 m: BER = 3.15371×10^{-81}

Meskipun menggunakan jarak yang lebih pendek, nilai BER yang diperoleh juga sangat superior dibandingkan standar minimum. Yang menarik adalah nilai BER terendah (4.28541×10^{-82}) masih 73 order of magnitude lebih baik dari standar.

Korelasi BER dengan Q-Factor:

Kedua jurnal menggunakan parameter Q-Factor sebagai metrik tambahan untuk mengevaluasi kualitas sinyal. Standar minimum Q-Factor untuk komunikasi optik adalah 6.

Jurnal 1 melaporkan Signal to Noise Ratio (SNR) sebesar 50.044831 dB, yang berkorelasi dengan Q-Factor sangat tinggi dan konsisten dengan nilai BER yang diperoleh.

Jurnal 2 secara eksplisit menyajikan nilai Q-Factor:

- Jarak 46.4 m: Q-Factor = 21.5692
- Jarak 126.1 m: Q-Factor = 19.6459

- Jarak 140.8 m: Q-Factor = 19.1561
- Jarak 85.7 m: Q-Factor = 20.8137
- Jarak 143.8 m: Q-Factor = 19.0519

Semua nilai Q-Factor jauh melebihi standar minimum (6), dengan margin 13-15.5 dB, menunjukkan kualitas sinyal yang sangat robust.

Implikasi untuk Jaringan MAN:

1. Reliabilitas Tinggi: Nilai BER yang sangat rendah pada kedua studi menunjukkan bahwa fiber optic sangat reliable untuk aplikasi mission-critical pada jaringan MAN seperti perbankan, kesehatan, dan pemerintahan.
2. Scalability: Dengan margin BER yang sangat besar, sistem dapat di-scale up untuk jarak yang lebih jauh atau bit rate yang lebih tinggi sambil tetap mempertahankan kualitas transmisi.
3. Minimum Error Correction Overhead: BER yang sangat rendah berarti overhead untuk error correction dan retransmission minimal, meningkatkan efisiensi throughput efektif.
4. Kesesuaian untuk Aplikasi Real-time: Nilai BER $< 10^{-80}$ sangat ideal untuk aplikasi real-time seperti video conferencing, telemedicine, dan VoIP yang tidak toleran terhadap packet loss.

Validasi Simulasi OptiSystem

Konsistensi nilai BER yang sangat rendah pada kedua penelitian memvalidasi akurasi simulasi OptiSystem sebagai tool untuk prediksi performa jaringan fiber optic sebelum implementasi fisik

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Performa Sistem Transmisi Fiber Optic pada MAN.

Berdasarkan analisis komparatif kedua jurnal menggunakan simulasi OptiSystem, terdapat beberapa faktor kunci yang signifikan mempengaruhi performa sistem transmisi fiber optic pada jaringan Metropolitan Area Network:

Power Link Budget

Jurnal 1 (GPON-FTTH):

- Optical Transmit Power: 4 dBm
- Sensitivity Receiver: -28 dBm
- Daya terima pelanggan terjauh: -18.277 dBm (simulasi OptiSystem) vs -18.52 dBm (pengukuran lapangan)
- Margin daya: 9.48 dB (simulasi) atau 9.723 dB (lapangan)

Jurnal 2 (Multimode OM4):

- Power transmitter: -1 dBm
- Receive sensitivity: -11.1 dBm
- Power receive jarak terjauh (143.8 m): -6.173 dBm
- Margin daya: 4.927 dB

Kedua sistem menunjukkan power budget yang adequate, namun jurnal 1 memiliki margin yang lebih besar karena menggunakan transmitter dengan daya lebih tinggi dan receiver dengan sensitivitas lebih baik. Untuk jaringan MAN dengan jarak distribusi > 1 km, power budget minimum 9 dB sangat direkomendasikan untuk mengakomodasi aging komponen dan variasi environmental.

Redaman Total (Total Attenuation)

Komponen redaman yang dianalisis dalam OptiSystem meliputi:

Fiber Attenuation:

- Jurnal 1: Single mode fiber dengan attenuation tidak disebutkan eksplisit, namun menggunakan kabel aerial (0.2 dB/km) dan indoor (0.4 dB/km)
- Jurnal 2: Multimode OM4 pada 850 nm = 3.5 dB/km (berdasarkan ITU-T G.651.1)

Connector Loss:

- Jurnal 1: 0.2 dBm per connector, total 12 konektor
- Jurnal 2: 0.3 dB per connector, total 6 konektor

Splice Loss:

- Jurnal 1: Tidak disebutkan eksplisit (menggunakan splitter pasif)
- Jurnal 2: 0.1 dB per splice, total 2 splice

Safety Margin:

- Jurnal 1: Tidak disebutkan eksplisit
- Jurnal 2: 6 dB

Untuk jaringan MAN, total redaman harus dipertahankan < 15 dB untuk jarak distribusi hingga 10 km. Simulasi OptiSystem menunjukkan bahwa dengan proper design (minimalisasi jumlah connector, penggunaan fusion splice, pemilihan fiber berkualitas tinggi), target ini dapat dicapai.

Dispersi Kromatik dan Modal

Jurnal 1:

- Dispersi Material Optik: 16.75 ps/nm/km
- Lebar Spektrum: 1 nm
- Rise Time (OLT/ONT): 0.02083 ns
- Total Rise Time System: 0.029 ns (< standar 0.219 ns)

Jurnal 2:

- Dispersi material: 120 ps/nm.km (lebih tinggi karena multimode)
- Lebar spektral: 0.45 nm
- Rise time transmitter: 0.028 ns
- Rise time receiver: 0.028 ns
- Bandwidth OM4: 4700 MHz-km

Dispersi menjadi faktor limitasi untuk sistem high-speed long-haul. Hasil OptiSystem menunjukkan bahwa:

- Single mode fiber lebih suitable untuk MAN dengan jarak > 2 km karena dispersi lebih rendah

- Multimode fiber cocok untuk high-bandwidth short-reach (< 500 m) backbone MAN
- Untuk bit rate > 10 Gbps pada jarak > 1 km, dispersi compensation mungkin diperlukan

Komponen Pasif (Splitter)

Jurnal 1 menggunakan konfigurasi split bertingkat:

- Splitter 1:4 dari ODC
- Splitter 1:8 pada ODP
- Total split ratio: 1:32

Setiap splitter menambahkan insertion loss (~3 dB untuk 1:4 dan ~9 dB untuk 1:8). Untuk jaringan MAN dengan point-to-multipoint architecture, split ratio harus dibatasi $\leq 1:64$ untuk mempertahankan power budget yang adequate.

Jurnal 2 tidak menggunakan splitter (topologi point-to-point star), sehingga loss lebih minimal namun memerlukan lebih banyak fiber dan port pada core switch.

Panjang Gelombang Operasi

- Jurnal 1: 1490 nm (downlink GPON) - optimal untuk jarak jauh dengan redaman rendah
- Jurnal 2: 850 nm (multimode) - optimal untuk high-bandwidth short-reach

Untuk MAN backbone, panjang gelombang 1310 nm atau 1550 nm lebih direkomendasikan karena:

- Redaman lebih rendah (0.3-0.4 dB/km untuk 1310 nm, 0.2-0.25 dB/km untuk 1550 nm)
- Dispersi minimal pada 1310 nm
- Kompatibilitas dengan DWDM untuk ekspansi kapasitas

Bit Rate dan Modulasi

- Jurnal 1: 2.4 Gbps dengan modulasi NRZ
- Jurnal 2: 10.5 Gbps dengan modulasi NRZ

Hasil OptiSystem menunjukkan modulasi NRZ sangat effective untuk kedua bit rate. Untuk future-proofing MAN, sistem harus mendukung minimum 10 Gbps dengan upgrade path ke 40/100 Gbps.

Faktor Environmental dan Instalasi

Meskipun tidak dimodelkan langsung dalam OptiSystem, jurnal 1 memberikan insight penting:

- Perbedaan daya terima antara simulasi (-18.277 dBm) dan lapangan (-18.52 dBm) = 0.243 dB
- Perbedaan ini disebabkan oleh faktor real-world seperti: bending loss, environmental temperature variation, aging, dan imperfect installation

Untuk perencanaan MAN, additional margin 3-6 dB harus dialokasikan untuk faktor-faktor ini.

Topologi Jaringan

- Jurnal 1: Tree topology (OLT → ODC → ODP → ONT) - cocok untuk distribusi area luas
- Jurnal 2: Star topology (Core Switch → Distribution Switch) - cocok untuk high-reliability institutional network

Untuk MAN yang robust, hybrid topology (ring untuk backbone dengan star/tree untuk distribution) memberikan balance antara cost, reliability, dan performance.

Simpulan

Berdasarkan validasi OptiSystem pada kedua jurnal, prioritas optimasi untuk performa MAN adalah:

1. Power Budget (paling kritis): Harus > 9 dB margin
2. Dispersi Management: Krusial untuk bit rate > 10 Gbps dan jarak > 2 km
3. Component Quality: Minimal loss connector/splice, high-quality fiber
4. Proper Design: Optimasi split ratio, topologi, dan pemilihan panjang gelombang
5. Environmental Margin: Alokasi 3-6 dB untuk faktor real-world

Simulasi OptiSystem terbukti sangat akurat (deviasi < 0.3 dB dari pengukuran lapangan) dan merupakan tool essential untuk perencanaan dan optimasi jaringan fiber optic MAN.

Referensi

- Agung Nugroho, B., Zulmy Alhamri, R., Aldila Cinderatama, T., Kediri, P., & Raya Mayor Bismo No, J. (n.d.). *Instalasi Jaringan Metropolitan Area Network (MAN) di 46 Kelurahan Kota Kediri: Vol. II (Issue 02)*.
- Agus Pratama, A., Pontia, T., Program,), Elektro, S. T., & Elektro, J. T. (n.d.). *PERANCANGAN JARINGAN FTTH DENGAN TEKNOLOGI GPON MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA DAN OPTISYSTEM*.
- Barkah, M., & Zulfin, M. (n.d.). *PERBANDINGAN KINERJA JARINGAN METROPOLITAN AREA NETWORK DENGAN INTERNET PROTOCOL VERSI 4 DAN VERSI 6*.
- Fatih Zahir, A., Korespondensi, P., Wijaya, H., & Sanwasih, M. (2025). *Analisis Efektivitas Metode Round-Robin dan Least-Connection dalam Load Balancing Terhadap Throughput Server Web*. <https://doi.org/10.58602/jima-ilkom.v4i1.52>
- Fitri, S., Aulia, S., Aprinal Adila Asril, dan, Teknik Elektro, J., Negeri Padang, P., & Limau Manih Padang, J. (2021). *Perancangan Dan Pengukuran Performansi Jaringan Fiber To The Home Dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network Menggunakan Aplikasi Optisystem Di Kelurahan Surau Gadang*. 11.

- 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>
- Jamal, N., Ulfah, M., & Irtawaty, A. S. (2021). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021 Makassar*.
- Nyoman Putra Maharddhika, I., Putra Sastra, N., Made Wiharta, D., Raya Kampus Unud Jimbaran, J., Kuta Sel, K., & Badung, K. (n.d.-a). *Juni 2022 I Nyoman Putra Maharddhika* (Vol. 9, Issue 2). Nyoman Putra Sastra.
- Nyoman Putra Maharddhika, I., Putra Sastra, N., Made Wiharta, D., Raya Kampus Unud Jimbaran, J., Kuta Sel, K., & Badung, K. (n.d.-b). *Juni 2022 I Nyoman Putra Maharddhika* (Vol. 9, Issue 2). Nyoman Putra Sastra.
- Putra Maharddhika, I. N., Putra Sastra, N., & Wiharta, D. M. (2022). ANALISIS PERFORMANCE PERANCANGAN JARINGAN FIBER OPTIC PADA RSUD WANGAYA KOTA DENPASAR DENGAN OPTISYSTEM. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(2), 158. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i02.p18>
- Rahmatulloh, M. A., Hanto, D., Yantidewi, M., Rianaris, A., & Firdaus, R. A. (2023). *Analisis Redaman Fiber Optik dengan Menggunakan Pemodelan Software Optisystem OPTIKAL FIBER ATTENUATION ANALYSIS USING OPTISYSTEM SOFTWARE MODELING* (Vol. 6). <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>
- Rifki Wardana, M., & Santoso, D. B. (2023). Analisis Throughput Distribusi Jaringan Nirkabel Pada Politeknik Bumi Akpelni. *Jurnal Riset Sistem Informasi Dan Teknik Informatika (JURASIK)*, 8(2), 558–567. <https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jurasik>
- Rismawati, N., & Femy Mulya, M. (2020). Analisis dan Perancangan Simulasi Jaringan MAN (Metropolitan Area Network) dengan Dynamic Routing EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) dan Algoritma DUAL (Diffusing Update Algorithm) Menggunakan Cisco Packet Tracer. In *Jurnal Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan: Vol. III* (Issue 2).
- Rizquloh, M. I., & Santoso, D. B. (2025). 11839-Article Text-29073-1-10-20250515.
- Sabana, H. S. (2021). Analisa Performansi Jaringan Kabel Fiber Optik Link Backbone Ungaran – Krapyak. *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, 2(2), 85–92. <https://doi.org/10.20895/jtece.v2i2.150>
- Susanto, M. F., Wijaya, D., & Sitorus, E. M. (2024). Perancangan infrastruktur fiber to the curb menggunakan Optiwave untuk meningkatkan aksesibilitas internet. *JITEL*

(Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga), 4(2), 125–136.
<https://doi.org/10.35313/jitel.v4.i2.2024.125-136>