Analisis Perbandingan Performansi Penguat Edfa Dan Soa Pada Teknologi Xgpon Dengan Format Data Nrz

Devani Juan Herlambang
Universitas Telkom Jakarta
Jakarrta, Indonesia
devanijuanherlambang@student.telkomuniversity.ac.id

Akhmad Hambali
Universitas Telkom Bandung
Bandung, Indonesia
ahambali@telkomuniversity.ac.id

Yus Natali
Universitas Telkom Jakarta
Jakarta, Indonesia
yusnatali@telkomuniversity.ac.id

Teknologi XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network) merupakan pengembangan jaringan akses serat optik yang dirancang untuk mendukung layanan broadband berkapasitas tinggi. Namun, peningkatan jarak transmisi pada sistem ini menimbulkan redaman sinyal yang berdampak pada penurunan daya terima serta kualitas komunikasi optik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan penerapan penguat optik guna mempertahankan performansi jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja penguat Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA) dan Semiconductor Optical Amplifier (SOA) pada jaringan FTTH berbasis XG-PON dengan format modulasi Non-Return to Zero (NRZ). Metode yang digunakan meliputi perancangan serta simulasi jaringan menggunakan perangkat lunak OptiSystem dengan variasi panjang serat optik sebesar 10 km, 30 km, 50 km, dan 100 km. Parameter performansi yang dianalisis mencakup Power Link Budget dan Bit Error Rate (BER) yang mengacu pada standar ITU-T. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa penguat optik, sistem tidak mampu memenuhi kriteria performansi pada jarak tertentu. Penerapan EDFA mampu meningkatkan daya sinyal, namun pada jarak transmisi 100 km nilai daya terima dan BER masih berada di luar batas standar yang ditetapkan. Sebaliknya, penggunaan SOA menghasilkan daya terima yang sesuai dengan standar serta nilai BER yang lebih stabil pada seluruh variasi jarak yang diuji. Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa SOA memberikan performansi yang lebih optimal dan lebih sesuai untuk implementasi jaringan FTTH berbasis XG-PON dengan format data NRZ.

Kata Kunci-- XGPON, EDFA, SOA, Power Link Budget, Bit Eror Rate.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan masyarakat terhadap layanan internet berkecepatan tinggi terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan infrastruktur jaringan yang memiliki kapasitas besar serta mampu mendukung transmisi data secara stabil. Jaringan berbasis tembaga yang sebelumnya banyak digunakan dinilai memiliki keterbatasan dalam menyediakan *bandwidth* tinggi dan kecepatan transmisi yang memadai, sehingga mendorong terjadinya migrasi menuju jaringan serat optik. Teknologi serat optik memanfaatkan media cahaya sebagai pembawa sinyal informasi yang memungkinkan pengiriman data dengan kapasitas lebih besar dan redaman yang relatif kecil dibandingkan media konvensional. Salah satu implementasi jaringan serat optik yang banyak digunakan saat ini adalah *Fiber to The Home* (FTTH), yaitu sistem distribusi jaringan optik yang menjangkau langsung ke pelanggan. FTTH umumnya mengadopsi teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) sebagai standar awal pengembangan jaringan akses optik. Seiring meningkatnya kebutuhan *bandwidth*, teknologi GPON dikembangkan menjadi XG-PON yang mampu menyediakan kapasitas transmisi hingga 10 Gbps dengan kanal *downstream* sekitar 9,953 Gbps dan *upstream* sebesar 2,488 Gbps serta beroperasi pada panjang gelombang 1577 nm untuk arah turun dan 1270 nm untuk arah naik. Pada sistem FTTH berbasis XG-PON, salah satu permasalahan utama yang sering muncul adalah terjadinya penurunan daya sinyal akibat redaman serat optik dan jarak transmisi yang cukup panjang. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan penguat optik guna meningkatkan level daya sinyal yang diterima. Beberapa jenis penguat optik yang umum digunakan antara lain *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA), *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA), dan *Raman Amplifier*. Masing-masing penguat memiliki karakteristik dan performansi yang berbeda, sehingga diperlukan kajian perbandingan untuk menentukan penguat yang paling optimal dalam sistem FTTH berbasis XG-PON.

II. KAJIAN TEORI

A. Fiber Optic

Serat optik merupakan media penghantar sinyal berbasis cahaya yang dibuat dari bahan kaca atau plastik berdiameter sangat kecil. Media ini dirancang untuk mentransmisikan informasi optik dari satu titik ke titik lainnya dengan kecepatan yang sangat tinggi. Ukuran diameter serat optik umumnya berada pada kisaran 120 mikrometer, bahkan lebih tipis dibandingkan helaian rambut manusia. Mekanisme transmisi pada serat optik memanfaatkan prinsip pemantulan internal total dan pembiasan cahaya di dalam inti serat, sehingga sinyal dapat merambat secara efisien dengan

tingkat gangguan yang minimal. Pada sistem komunikasi serat optik, sumber cahaya yang digunakan umumnya berupa laser atau *Light Emitting Diode* (LED), yang dipilih sesuai dengan kebutuhan kapasitas dan karakteristik jaringan. Kombinasi antara kecepatan transmisi yang tinggi serta redaman sinyal yang rendah menjadikan teknologi serat optik sebagai infrastruktur utama dalam sistem telekomunikasi modern, khususnya dalam pengembangan jaringan akses *broadband* seperti *Fiber to The Home* (FTTH).

B. Fiber to The Home (FTTH)

Fiber to The Home (FTTH) merupakan arsitektur jaringan berbasis serat optik yang terminasi layanannya berada langsung di sisi pelanggan melalui perangkat *Optical Network Terminal* (ONT). Implementasi FTTH berkembang pesat seiring kemajuan teknologi serat optik yang mampu menggantikan media transmisi konvensional berbasis tembaga yang memiliki keterbatasan kapasitas. Pengembangan jaringan FTTH juga didorong oleh kebutuhan akan layanan terpadu atau *triple play service* yang mencakup akses internet berkecepatan tinggi, layanan suara seperti telepon PSTN, serta distribusi layanan video atau televisi kabel dalam satu infrastruktur jaringan pelanggan. Penerapan FTTH tidak hanya meningkatkan kualitas layanan, tetapi juga mampu menekan biaya operasional jaringan dalam jangka panjang sehingga lebih efisien bagi penyedia layanan. (Fiber to the Home) adalah jaringan optik yang dimana jaringan tersebut berakhir di rumah pelanggan pada perangkat ONT. Perkembangan FTTH ini tidak terlepas dari kemajuan perkembangan teknologi serat optik yang dapat mengganti kabel konvensional atau biasa di sebut kabel tembaga. Dan juga di dorong untuk mendapatkan layanan *Triple Play Service* yaitu layanan akses internet yang cepat, suara (jaringan telepon, PSTN) dan video (TV Kabel) dalam satu infrastruktur pada unit pelanggan. Penghantaran teknologi FTTH ini dapat menghemat biaya operasi dan memberikan pelayanan yang lebih baik kepada pelanggan.

C. XGPON (10-Gigabit-capable passive optical network)

XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network) merupakan salah satu teknologi jaringan akses berbasis *Passive Optical Network* yang termasuk dalam pengembangan NG-PON1. Teknologi ini dirancang untuk menyediakan kapasitas transmisi tinggi dengan laju data minimal mencapai 10 Gbps pada arah *downstream*. Kapasitas tersebut dibagikan kepada seluruh pengguna yang terhubung dalam satu jalur PON yang sama, sementara pada arah *upstream* disediakan kecepatan sekitar 2,5 Gbps dengan memanfaatkan teknik multiplexing untuk mengatur lalu lintas data antar pengguna. Pada sisi pelanggan, perangkat jaringan berfungsi mengonversi sinyal optik menjadi sinyal elektrik yang dapat digunakan pada media komunikasi seperti jaringan *Ethernet* serta layanan telepon analog. Secara spesifik, XG-PON memiliki kapasitas *downstream* sebesar 9,953 Gbps dan *upstream* sebesar 2,488 Gbps, dengan panjang gelombang operasi masing-masing 1577 nm untuk arah turun dan 1270 nm untuk arah naik. Salah satu keunggulan utama XG-PON terletak pada kemampuannya untuk memanfaatkan infrastruktur *Optical Distribution Network* (ODN) FTTH yang telah ada, termasuk penggunaan splitter optik yang sama. Namun, agar sistem dapat beroperasi secara optimal, perangkat *Optical Line Terminal* (OLT) dan *Optical Network Terminal* (ONT) perlu disesuaikan atau ditingkatkan agar kompatibel dengan teknologi XG-PON.

D. Penguat Optik

Penguat optik merupakan perangkat yang berfungsi meningkatkan daya sinyal cahaya secara langsung tanpa melalui proses konversi dari sinyal optik ke sinyal elektrik. Karakteristik ini menjadikan penguat optik sebagai komponen krusial dalam sistem komunikasi serat optik, khususnya pada jaringan transmisi jarak jauh yang membutuhkan kestabilan daya sinyal sepanjang jalur komunikasi. Beberapa jenis penguat optik yang umum digunakan dalam jaringan optik meliputi *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA), *Fiber Raman Amplifier* (FRA), serta *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA), yang masing-masing memiliki prinsip kerja dan karakteristik performansi yang berbeda sesuai dengan kebutuhan sistem.

E. EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)

Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) merupakan salah satu jenis *Optical Fiber Amplifier* (OFA) yang memanfaatkan *ion erbium* sebagai bahan doping pada inti serat optik. Penguat ini dikenal memiliki tingkat penguatan yang tinggi, derau (noise) yang relatif rendah, serta tidak sensitif terhadap perubahan polarisasi cahaya. EDFA mampu memperkuat sinyal optik secara efektif pada pita panjang gelombang sekitar 1,55 µm hingga 1,58 µm, yang merupakan rentang optimal untuk transmisi serat optik dengan redaman minimum. Sebelum teknologi EDFA dikembangkan, sistem komunikasi optik umumnya menggunakan repeater optik yang berfungsi mengonversi sinyal cahaya yang melemah menjadi sinyal elektrik, kemudian memperkuat dan meregenerasinya sebelum dikonversi kembali menjadi sinyal optik. Kemunculan EDFA pada dekade 1990-an membawa terobosan penting karena memungkinkan proses penguatan dilakukan langsung pada domain optik tanpa konversi ke bentuk listrik. Prinsip kerja EDFA didasarkan pada penggunaan serat optik yang didoping *ion erbium* dan dipompa menggunakan sumber cahaya dengan panjang gelombang sekitar 980 nm atau 1480 nm. Ketika sinyal optik pada panjang gelombang sekitar

1550 nm melewati *medium* tersebut, terjadi proses emisi terstimulasi yang meningkatkan daya sinyal tanpa mengubah format data yang dibawa. Dengan karakteristik gain yang besar serta tingkat *noise* yang rendah, EDFA sangat sesuai untuk diaplikasikan pada sistem transmisi optik jarak menengah hingga jarak jauh.

F. SOA (Semiconductor Optical Amplifier)

Semiconductor Optical Amplifier (SOA) merupakan penguat optik berbasis material semikonduktor yang bekerja dengan prinsip emisi terstimulasi. Perangkat ini dikembangkan dengan menghilangkan struktur resonator pada laser semikonduktor serta menerapkan lapisan antirefleksi pada bidang ujungnya, sehingga cahaya dari luar dapat masuk dan diperkuat di dalam medium aktif semikonduktor. Salah satu keunggulan SOA adalah ukurannya yang relatif kecil serta biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan EDFA, sehingga dinilai lebih ekonomis untuk berbagai aplikasi jaringan optik. Pada generasi awal, performa SOA sangat dipengaruhi oleh polarisasi sinyal masukan. Namun, dalam beberapa tahun terakhir telah dilakukan berbagai pengembangan untuk mengurangi sensitivitas terhadap polarisasi, sehingga kinerjanya semakin stabil. Saat ini, SOA mulai banyak dimanfaatkan pada pusat data dan diperkirakan akan semakin luas penggunaannya dalam sistem komunikasi optik di masa mendatang. Prinsip kerja SOA melibatkan pemberian arus listrik pada material semikonduktor untuk menciptakan kondisi inversi populasi. Ketika sinyal optik melewati medium tersebut, terjadi proses emisi terstimulasi yang menyebabkan peningkatan daya sinyal. Meskipun menawarkan fleksibilitas dan ukuran yang kompak, SOA memiliki keterbatasan berupa tingkat noise yang relatif lebih tinggi serta munculnya efek nonlinier yang lebih signifikan dibandingkan penguat EDFA.

G. Format Data NRZ

Non-Return to Zero (NRZ) merupakan salah satu teknik pengkodean sinyal digital yang mempertahankan level tegangan tetap konstan selama interval *bit* tanpa kembali ke kondisi nol di antara transisi data. Skema ini banyak digunakan dalam sistem komunikasi karena sederhana serta efisien dalam pemanfaatan bandwidth.

H. NRZ-L (Non-Return to Zero Level)

NRZ-L adalah metode representasi data biner berdasarkan level tegangan tertentu. Dalam skema ini, *bit* biner 0 direpresentasikan oleh tegangan positif (+V), sedangkan *bit* biner 1 ditunjukkan oleh tegangan negatif (–V). Level tegangan tersebut dipertahankan sepanjang durasi bit selama tidak terjadi perubahan nilai data.

I. NR-I (Non-Return to Zero-Inverted)

NRZ-I merupakan teknik pengkodean yang mengandalkan perubahan level tegangan sebagai indikator data biner. Pada metode ini, setiap kemunculan *bit* bernilai 1 menyebabkan terjadinya pembalikan level tegangan dari kondisi sebelumnya, baik dari +V menjadi –V maupun sebaliknya. Sebaliknya, *bit* bernilai 0 tidak memicu perubahan level tegangan, sehingga sinyal tetap berada pada level sebelumnya.

J. *Power Link Budget* (PLB)

Perhitungan *Power Link Budget* menjadi tahap krusial dalam perancangan serta evaluasi kinerja jaringan serat optik. Proses ini bertujuan untuk menilai apakah kombinasi komponen dan parameter sistem yang digunakan mampu menghasilkan tingkat daya sinyal pada sisi penerima yang memenuhi standar performansi jaringan. Melalui analisis *Power Link Budget*, perancang jaringan dapat menentukan kelayakan konfigurasi transmisi yang dirancang, sekaligus mengidentifikasi kebutuhan penyesuaian terhadap faktor-faktor tertentu, seperti pemilihan penguat optik, panjang jalur serat, maupun jumlah koneksi dan sambungan yang digunakan dalam sistem.

Perhitungan *Power Link Budget* pada sistem jaringan sebelum penambahan penguat optik dapat dilakukan dengan rumus:

$$\boldsymbol{P_R = P_S - (n_c \,.\alpha_C + n.\alpha_{SP} + \alpha_f \,.\, L + \alpha_{Splitter})}$$

Untuk menghitung *Power Link Budget* setelah ada penguat EDFA dapat dihitung dengan rumus:

$$\boldsymbol{P_R = P_S - (n_c \,.\alpha_C + n.\alpha_{SP} + \alpha_f \,.\, L + \alpha_{Splitter} + G_{EDFA})}$$

Untuk menghitung *Power Link Budget* setelah ada penguat SOA dapat dihitung dengan rumus:

$$\boldsymbol{P_R = P_t + G_{SOA} + L_{total}}$$

Untuk menghitung $\boldsymbol{L_{total}}$ dapat dihitung dengan rumus:

$$\boldsymbol{L_{total} = (\alpha_f + L) + (\alpha_{SP} + L_{Splice}) + (n_c + \alpha_C) + M}$$

Untuk menghitung M dapat dihitung dengan rumus:

$$\boldsymbol{LM = P_r - S_r}$$

K. *Bit Eror rate* (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk menilai kualitas transmisi data dalam suatu sistem komunikasi. Nilai BER menunjukkan perbandingan antara jumlah bit yang mengalami kesalahan pada sisi penerima terhadap total *bit* yang dikirimkan. Evaluasi BER dilakukan dengan mencocokkan urutan bit hasil transmisi dengan bit yang diterima, kemudian menghitung jumlah kesalahan yang terjadi selama proses pengiriman data. Secara matematis, nilai *Bit Error Rate* dapat dinyatakan dalam suatu persamaan sebagai berikut:

$$BER = \mathrm{P_e}(\mathrm{Q}) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q}$$

$$BER = \frac{4}{2} Xerfc\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)$$

L. *Optiwave System* (OptiSystem)

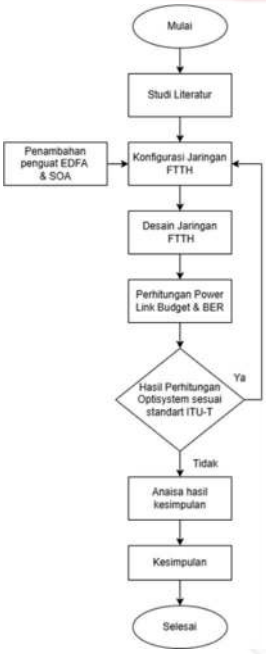
OptiSystem merupakan perangkat lunak simulasi yang dirancang untuk memodelkan sistem komunikasi serat optik secara realistis. Aplikasi ini dilengkapi dengan *Graphical User Interface* (GUI) yang komprehensif, yang mencakup tampilan

perancangan proyek, daftar koneksi komponen (netlist), pemodelan elemen sistem, serta fasilitas visualisasi hasil dalam bentuk grafik. Selain itu, OptiSystem menyediakan pustaka komponen yang terdiri dari berbagai perangkat aktif dan pasif yang dapat disesuaikan berdasarkan parameter panjang gelombang operasinya. Ketersediaan *library* ini memungkinkan pengguna untuk merancang serta menganalisis berbagai konfigurasi jaringan optik secara fleksibel dan mendetail.

III. METODE

A. Diagram Alir

Pada gambar 3.1 adalah diagram alir pengerjaan dan perancangan pada penelitian yang di lakukan dimana setelah memulai untuk pengambilan data di buat nya konfigurasi jaringan FTTH dan pada jaringan tersbut di tambahkannya penguat EDFA dan SOA. Pembuatan konfigurasi di buat pada software *OptiSystem*. Setelah perancangan di buat maka hitung *Power Link Budget* dan *Bit Eror Rate* apakah layak atau tidak sesuai standart ITU-T.



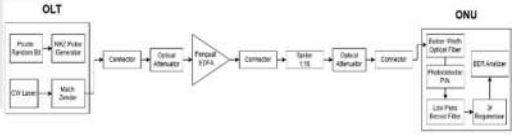
GAMBAR 1
Diagram Alir

B. Lokasi Perancangan

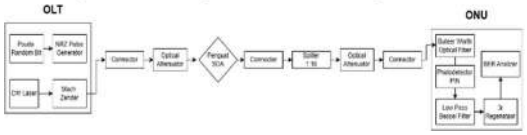
Lokasi perancangan pada tugas akhir ini berada di *Cluster the Gramercy* Alam Sutera yang terletak di Jalan Sutera Utama, Pondok Jagung Timur, Kecamatan Serpong Utara, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten, dengan kode pos 15326. Gambar 3.3 menunjukkan cakupan wilayah perancangan yang akan digunakan sebagai area simulasi pada perangkat lunak *OptiSystem*.

C. Perancangan Jaringan Dengan OptySystem

Perancangan jaringan akses *Fiber to The Home* (FTTH) pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *OptiSystem*. *OptiSystem* digunakan sebagai alat simulasi untuk memodelkan sistem komunikasi optik secara menyeluruh dan mendekati kondisi nyata di lapangan. Melalui perangkat lunak ini, seluruh komponen jaringan optik dapat dirancang, diatur parameternya, serta dianalisis kinerjanya. Tahap awal perancangan diawali dengan pembuatan konfigurasi jaringan FTTH sesuai dengan topologi yang telah ditentukan. Komponen utama yang digunakan dalam perancangan ini meliputi *Optical Line Terminal* (OLT) sebagai pemancar, serat optik sebagai media transmisi, optical splitter, serta *Optical Network Terminal* (ONT) sebagai penerima. Selain itu, pada jaringan ditambahkan penguat optik berupa *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA), *Raman Amplifier*, dan *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) untuk dilakukan perbandingan antara ketiga penguat tersebut dengan tujuan meningkatkan daya sinyal optik dan memperluas jangkauan transmisi. Setiap komponen yang digunakan pada *OptiSystem* disesuaikan dengan parameter teknis yang relevan, seperti panjang gelombang operasi, daya keluaran, redaman serat optik, rasio *splitter*, serta jarak transmisi. Pengaturan parameter ini bertujuan untuk memperoleh hasil simulasi yang mendekati kondisi jaringan FTTH yang sebenarnya. Setelah konfigurasi jaringan selesai dirancang, dilakukan proses simulasi untuk memperoleh parameter kinerja sistem. Hasil simulasi yang dianalisis meliputi nilai *power link budget* dan *Bit Error Rate* (BER). Nilai-nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan standar kelayakan yang ditetapkan oleh ITU-T untuk menentukan apakah jaringan FTTH yang dirancang telah memenuhi persyaratan kualitas layanan. Perancangan jaringan FTTH berbasis XGPON menggunakan perangkat lunak *OptiSystem* dibagi ke dalam dua tahap. Tahap pertama merupakan perancangan jaringan tanpa penambahan penguat optik, yaitu EDFA dan SOA. Tahap kedua adalah perancangan jaringan dengan penambahan penguat optik EDFA dan SOA, sesuai dengan konsep penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.4



GAMBAR 2
Diagram Konfigurasi Perancangan EDFA



GAMBAR 3
Diagram Konfigurasi Perancangan SOA

D. Komponen-komponen dalam simulasi

Dalam proses perancangan simulasi jaringan FTTH berbasis XG-PON, digunakan beberapa komponen utama yang berperan penting dalam membentuk arsitektur jaringan optik. Komponen

pertama adalah *Optical Line Terminal* (OLT), yang berfungsi sebagai titik pusat layanan sekaligus sumber sinyal pada jaringan optik pasif. Selanjutnya, *Optical Distribution Cabinet* (ODC) digunakan sebagai tempat instalasi serta pengelolaan sambungan serat optik. Perangkat ini dilengkapi dengan sistem manajemen serat yang mampu menampung sejumlah jalur fiber dalam jaringan akses PON untuk mendukung distribusi layanan telekomunikasi. *Optical Distribution Point* (ODP) berperan sebagai titik terminasi kabel optik yang dirancang khusus untuk pemasangan di luar ruangan dengan karakteristik tahan terhadap cuaca, korosi, serta gangguan lingkungan. Pada sisi pelanggan digunakan *Optical Network Terminal* (ONT), yaitu perangkat yang berfungsi sebagai penghubung antara jaringan optik dengan peralatan pelanggan atau *Customer Premises Equipment* (CPE). Untuk mendistribusikan sinyal optik dari satu jalur ke beberapa pelanggan, digunakan splitter optik dengan rasio pembagian 1:16 pada perancangan jaringan ini. Selain itu, kabel distribusi serat optik digunakan sebagai media penghubung antara ODC dan ODP dalam sistem jaringan FTTH.

E. Standar Parameter Jaringan

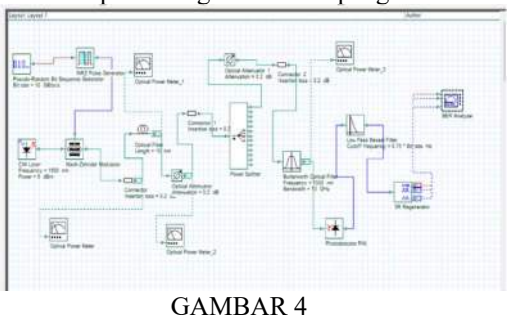
Perhitungan *Power Link Budget* dan *Bit Error Rate* (BER) dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada sejumlah parameter pendukung yang disesuaikan dengan standar ITU-T. Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis performansi jaringan FTTH berbasis XG-PON dan disajikan secara rinci pada Tabel 3.1.

TABEL 1
Parameter perancangan Standar ITU-T G.987

Parameter	Spesifikasi	Satuan
Panjang Link	10, 30, 50, 100	Km
Daya Keluaran Sumber Optik	Uplink: 4 Downlink: 6	dBm
Lamda referensi	1550	Nm
Sensitivitas Daya Maksimal	-27.5	dBm
Redaman Sambungan pada feeder	0.1	dB/splice
Redaman Sambunganpada distribusi	0.1	dB/splice
Redaman Splitter	13	dB/splice
Downstream rate Upstream rate	10 2.5	Gbps

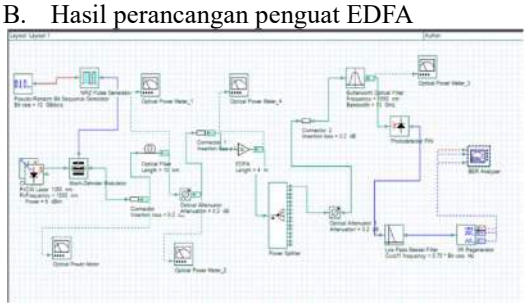
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil perancangan sebelum penguat EDFA



GAMBAR 4
Hasil Perancangan sebelum ada penguat

B. Hasil perancangan penguat EDFA



GAMBAR 5
Hasil Perancangan penguat EDFA

C. Hasil perancangan penguat SOA



GAMBAR 6
Hasil Perancangan penguat SOA

D. Analisa Hasil Perancangan Optisystem

Berdasarkan hasil perhitungan *Power Link Budget* di *Optisystem* sebelum dan sesudah penambahan penguat optik EDFA dan SOA diperoleh hasil untuk jarak serat optik 10 km, 30 km, 50 km, dan 100 km sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut ini.

TABEL 2
Hasil OPM sebelum dan sesudah penambahan penguat optik EDFA dan SOA

No	Jarak Kabel Fiber	Sebelum ada penguat	Penguat EDFA	Penguat SOA
1	10 Km	11.814 dBm	17.414 dBm	19.696 dBm
2	30 Km	15.812 dBm	17.155 dBm	19.498 dBm
3	50 Km	19.810 dBm	16.797 dBm	19.272 dBm
4	100 Km	29.807 dBm	14.766 dBm	18.545 dBm

Berdasarkan tabel hasil pengukuran *Optical Power Meter* (OPM) 4.1, dapat dianalisis bahwa nilai daya terima optik pada sistem FTTH berbasis XGPON mengalami peningkatan setelah diberi penguat optik, baik menggunakan *Erbium-Doped Fiber Amplifier* (EDFA) maupun *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA). Pada kondisi tanpa penguat, nilai daya terima optik menunjukkan penurunan yang signifikan seiring dengan bertambahnya jarak transmisi akibat redaman serat optik dan rugi-rugi komponen jaringan. Setelah diberikan penguat EDFA, nilai daya terima optik meningkat secara lebih stabil pada setiap jarak transmisi. Peningkatan daya yang dihasilkan EDFA mampu mengkompensasi redaman serat optik sehingga nilai daya terima berada di atas batas sensitivitas penerima. Hal ini menunjukkan bahwa EDFA efektif dalam menjaga kestabilan daya sinyal optik dan mendukung transmisi pada jarak yang lebih panjang. Sementara itu, penggunaan penguat

SOA juga menghasilkan peningkatan daya terima optik dibandingkan kondisi tanpa penguat. Namun, peningkatan daya yang dihasilkan SOA relatif lebih rendah dan kurang stabil dibandingkan EDFA, terutama pada jarak transmisi yang lebih panjang. Hal ini disebabkan oleh karakteristik SOA yang memiliki tingkat noise lebih tinggi dan sensitivitas yang lebih besar terhadap variasi daya input. Secara keseluruhan, hasil pengukuran OPM menunjukkan bahwa EDFA memberikan peningkatan daya terima optik yang lebih optimal dibandingkan SOA, sehingga lebih sesuai digunakan untuk sistem FTTH berbasis XGPON dengan kebutuhan jangkauan transmisi yang lebih panjang.

TABEL 3
Hasil BER sebelum dan sesudah penambahan penguat optik EDFA dan SOA

No	Jarak Kabel Fiber	Sebelum ada penguat	Penguat EDFA	Penguat SOA
1	10 Km	$7.65546e^{-24}$	0	$2.652e^{-007}$
2	30 Km	$2.16419e^{-017}$	$1.91838e^{-038}$	1.010723^{-007}
3	50 Km	$6.960468e^{-24}$	$9.87764e^{-031}$	0.00251455
4	100 Km	1	0.000563293	0.0113505

Berdasarkan hasil simulasi *Bit Error Rate* (BER) sesuai dengan table 4.2 dapat dianalisis bahwa peningkatan jarak transmisi pada sistem XGPON dengan format data NRZ menyebabkan terjadinya degradasi kualitas sinyal yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai BER. Pada kondisi tanpa penguat optik, nilai BER cenderung meningkat signifikan seiring bertambahnya panjang kabel serat optik akibat akumulasi redaman dan penurunan daya terima, sehingga sistem tidak mampu mempertahankan kualitas transmisi yang optimal pada jarak yang lebih jauh. Setelah penambahan penguat optik, baik EDFA maupun SOA mampu menurunkan nilai BER dibandingkan kondisi tanpa penguat. Namun, penguat SOA menunjukkan performansi BER yang lebih stabil dan lebih baik pada seluruh variasi jarak transmisi dibandingkan EDFA. Hal ini menunjukkan bahwa SOA lebih efektif dalam menjaga kualitas sinyal dan menekan kesalahan bit pada sistem XGPON yang disimulasikan, sehingga dinilai lebih layak digunakan pada perancangan jaringan FTTH berbasis XGPON dengan format data NRZ.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, dan analisis jaringan FTTH berbasis XGPON dengan format data NRZ menggunakan *software OptiSystem*, dapat disimpulkan bahwa sistem dapat dirancang dengan menyusun komponen utama seperti *transmitter*, serat optik, penguat optik EDFA dan SOA, serta *receiver* sehingga mampu merepresentasikan karakteristik jaringan FTTH secara akurat pada berbagai jarak transmisi. Hasil perhitungan *Power Link Budget* dan analisis BER menunjukkan bahwa peningkatan jarak transmisi menyebabkan bertambahnya redaman yang berdampak pada penurunan daya terima dan peningkatan nilai BER, namun penggunaan penguat optik terbukti efektif dalam meningkatkan daya sinyal dan menjaga nilai BER tetap dalam batas standar. Selain itu, hasil perbandingan performansi menunjukkan bahwa EDFA memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan SOA, khususnya dalam meningkatkan daya terima dan menjaga kestabilan sinyal pada jarak menengah hingga panjang, sementara SOA cenderung mengalami penurunan performansi akibat *noise* yang lebih tinggi, sehingga EDFA lebih direkomendasikan untuk jaringan FTTH berbasis XGPON dengan kebutuhan jangkauan transmisi yang lebih jauh.

REFERENSI

[1] D. J. Herlambang, “DESIGN SIMULATION OF EDFA AMPLIFIACTION XGPON SYSTEM WITH NRZ,” 2021.

[2] T. N. Barawasi, “ANALISIS PERFORMANSI TEKNOLOGI DWDM DENGAN PENGUAT OPTIK HYBRID ROA-EDFA BERBASIS SOLITON,” 2025.

[3] K. T. Rendi, “SKRIPSI ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMANSI POSISI PENGUAT OPTIK HYBRID SOA EDFA DENGAN RAMAN EDFA PADA SISTEM DWDM,” 2022.

[4] A. M. M. Pungo, P. J. P. Cerón, and G. A. G. Agredo, “Performance of optical amplifiers with regard to the power penalties of a DWDM XGS-PON Network Environment,” Ingeniería Solidaria, vol. 16, no. 2, Feb. 2020, doi: 10.16925/2357-6014.2020.02.04.

[5] R. B. Aryandhika, A. F. Isnawati, and D. Zulherman, “Performance analysis of erbium-doped fiber amplifier (EDFA) and hybrid optical amplifier in NG-PON2 based on TWDM-PON system,” in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/982/1/012027.

[6] T. Akbar, I. A. Hambali, and B. Pamukti, “ANALASIS PERFORMANSI BER PADA JARINGAN OPTIK DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING MENGGUNAKAN PENGUAT HYBRID RAMAN EDFA BER PERFORMANCES ANALYSIS OF OPTICAL NETWORK DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING SYSTEM USING HYBRID RAMAN EDFA AMPLIFIER,” 2019.

[7] A. M. M. Pungo, P. J. P. Cerón, and G. A. G. Agredo, Performance of Raman Fiber Amplifiers (RFA) in a Next Generation Optical Network XGS-PON. IEEE, 2020.

[8] S. Kumar, Payal, and P. Sharma, “Performance comparison of different optical amplifiers in mitigating the attenuation effects in FSOC,” Journal of Optics (India), vol. 53, no. 2, pp. 1264–1272, Apr. 2024, doi: 10.1007/s12596-023-01238-2.

[9] K. A. Mohammed and B. M. Younis, "Comparative performance of optical amplifiers: Raman and EDFA," Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), vol. 18, no. 4, pp. 1701–1707, 2020, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V18I4.15706.

[10] A. Tussupov, N. I. Listopad, A. T. Tokhmetov, and L. N. Gumilyov, "OPTICAL AMPLIFIERS FOR REACH EXTENSION OF PASSIVE OPTICAL NETWORK FOR RURAL SETTLEMENTS," J. Theor. Appl. Inf. Technol., vol. 31, no. 10, 2021.

[11] Y. Fang, Y. Zeng, Y. Qin, O. Xu, J. Li, and S. Fu, "Design of Ring-Core Few-Mode-EDFA with the Enhanced Saturation Input Signal Power and Low Differential Modal Gain," IEEE Photonics J., vol. 13, no. 4, Aug. 2021, doi: 10.1109/JPHOT.2021.3095123.