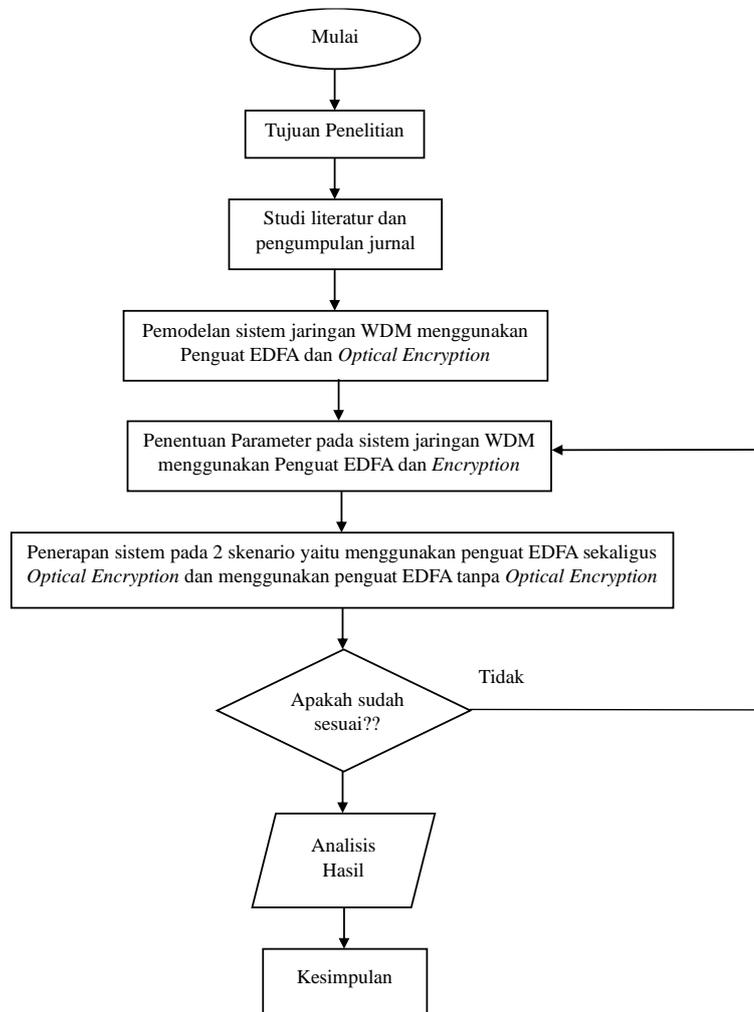


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam suatu penelitian, penting untuk mengatur alur penelitian dengan baik untuk mempermudah pelaksanaan dari penelitian tersebut. Alur penelitian tentang Analisis dan Simulasi *Encryption* Pada Jaringan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) Menggunakan Optisystem pada diagram yang ditunjukkan dengan **Gambar 3.1**



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

Berdasarkan diagram alur penelitian pada **Gambar 3.1** dapat diuraikan langkah penelitian sebagai berikut:

1. Menentukan tujuan penelitian

Langkah awal dalam penelitian ini adalah menentukan tujuan penelitian dengan jelas, karena memiliki tujuan yang jelas sangat penting untuk memulai suatu penelitian. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa performa jaringan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) menggunakan *Optisystem* dan membandingkan performa jaringan WDM pada saat tidak menggunakan *optical encryption* dan pada saat menggunakan *optical encryption*.

2. Studi literatur dan pengumpulan jurnal

Dalam tahap studi literatur dan pengumpulan jurnal, dilakukan pencarian referensi dari berbagai sumber seperti *Google Scholar*, *IEEE*, dan *Science Direct* yang dapat mendukung penelitian dan menjadi bahan bacaan yang penting. Referensi diambil dari jurnal-jurnal yang relevan, baik dari jurnal nasional maupun jurnal internasional yang berkaitan dengan pembahasan judul ini.

3. Pemodelan sistem jaringan WDM menggunakan penguat EDFA dan *Optical Encryption*

Pemodelan sistem jaringan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) yang mengintegrasikan penguat *Erbium-Doped Fiber Amplifier* (EDFA) dan teknologi *optical encryption* menjadi suatu pendekatan yang inovatif dalam meningkatkan keamanan dan kinerja jaringan optik. Dengan memanfaatkan WDM, sistem ini memungkinkan pengiriman dan penerimaan informasi secara bersamaan sejumlah gelombang cahaya pada satu serat optik, meningkatkan kapasitas dan efisiensi penggunaan spektrum. Penguat EDFA digunakan untuk memperkuat sinyal optik, memungkinkan transmisi jarak jauh tanpa degradasi sinyal yang signifikan. Sementara itu, integrasi teknologi *optical encryption* memberikan lapisan keamanan tambahan dengan mengamankan data yang dikirimkan melalui enkripsi optik,

mengurangi risiko potensial terhadap penyadapan. Pemodelan ini menciptakan infrastruktur jaringan optik yang andal, efisien, dan aman menjadikannya solusi yang dapat diandalkan dalam mendukung komunikasi data yang canggih dan terlindungi.

4. Penentuan parameter pada sistem jaringan WDM menggunakan penguat EDFA dan *Optical Encryption*

Dalam hal ini parameter yang akan dicari adalah nilai *Bit Error Ratio* (BER), Q-Factor, dan *Eye diagram*.

Tabel 3. 1 Parameter yang akan dicapai

Parameter	Nilai
<i>Bit Error Ratio</i> (BER)	$\leq 10^{-9}$
Q-Factor	≥ 6
<i>Eye Diagram</i>	Semakin lebar pembukaan mata (bulat)

5. Penerapan sistem pada 2 skenario yaitu menggunakan penguat EDFA sekaligus *Optical Encryption* dan menggunakan penguat EDFA tanpa *Optical Encryption*.

Penerapan sistem pada dua skenario, yakni pertama dengan hanya menggunakan penguat EDFA tanpa *optical encryption*, dan kedua dengan kombinasi penguat EDFA dan *optical encryption*, memberikan perspektif yang menarik dalam konteks pengembangan jaringan optik. Skenario pertama berfokus pada peningkatan kinerja transmisi dan jarak tanpa menyertakan lapisan enkripsi dan deskripsi. Meskipun memberikan kecepatan dan kapasitas yang lebih tinggi, skenario ini mungkin lebih rentan terhadap risiko keamanan.

Di sisi lain, skenario kedua dengan menggabungkan penguat EDFA dan *optical encryption* tidak hanya meningkatkan kapasitas dan jangkauan jaringan, tetapi juga menyediakan lapisan keamanan tambahan melalui teknologi enkripsi optik. Enkripsi optik menjadi sangat penting untuk melindungi data yang dikirimkan melalui jaringan dari potensi ancaman keamanan, seperti penyadapan atau intersepsi data. Dengan demikian,

pemilihan antara kedua skenario ini harus mempertimbangkan kebutuhan spesifik jaringan, dengan memperhatikan keseimbangan antara kinerja, keamanan, dan efisiensi sumber daya.

Dalam konteks pengembangan jaringan optik yang modern, keamanan data menjadi faktor krusial yang tidak dapat diabaikan. Meskipun skenario pertama menawarkan kecepatan dan kapasitas yang lebih tinggi, risiko keamanan yang terkait dapat menjadi isu serius jika data sensitif atau rahasia dilewatkan melalui jaringan tersebut. Oleh karena itu, kombinasi penguat EDFA dan *Optical Encryption* dalam skenario kedua menjadi pilihan yang lebih aman dan komprehensif, terutama untuk jaringan yang menangani data penting atau rahasia.

6. Verifikasi data

Dalam tahap ini data yang diambil akan dan diuji menggunakan *software optisystem 7.0* harus sesuai dengan setiap parameter pengujian dan sesuai dengan urutan serta tata cara pengambilan data.

7. Analisis data

Dalam analisa data ini, dilakukan analisa dari data yang dihasilkan dari proses pengujian menggunakan *software optisystem 7.0*. Data yang dihasilkan meliputi nilai *Bit Error Ratio* (BER), Q-Factor, dan *Eye diagram*. Data tersebut akan dibandingkan menggunakan 2 skenario.

8. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan tahap akhir setelah menyelesaikan seluruh langkah sebelumnya. Pada tahap ini, dilakukan ringkasan dari hasil perancangan hingga analisis data. Hasil penelitian ditunjukkan dan dapat dijadikan referensi atau dikembangkan lebih lanjut.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini penulis melakukan beberapa metode sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Metode pengumpulan data melalui studi literatur dilakukan dengan mencari referensi terkait dengan penelitian yang dilakukan. Sumber-

sumber literatur ini termasuk buku, jurnal, dan hasil penelitian yang telah dilakukan.

2. Observasi

Observasi adalah pengumpulan data diolah menggunakan *software optisystem 7.0*.

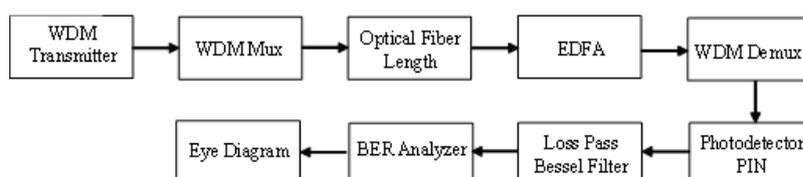
3. Diskusi

Metode pengumpulan data melalui diskusi melibatkan hasil diskusi dan konsultasi secara luring ataupun daring. Diskusi dan konsultasi dilakukan dengan dosen pembimbing.

3.3 Software Pendukung

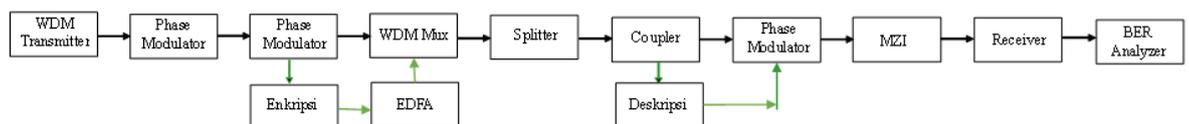
Software pendukung dalam melakukan penelitian adalah sangat penting, dan penggunaan *optisystem 7.0* telah menjadi pilihan yang tepat untuk merancang desain jaringan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) serta melakukan simulasi yang mendalam. Dengan keunggulan fitur dan antarmuka yang canggih, *optisystem 7.0* memfasilitasi penulis dalam membuat model jaringan WDM yang kompleks dan memadukan berbagai parameter, termasuk penggunaan penguat *Erbium-Doped Fiber Amplifier* (EDFA) dan *optical encryption*. Kemampuan simulasi yang akurat dan *real-time* dari *optisystem 7.0* memungkinkan analisis yang mendalam terhadap performa sistem di berbagai kondisi seperti kapasitas, kecepatan, dan keamanan. Dengan demikian, *software* ini tidak hanya mempercepat proses perancangan tetapi juga memberikan wawasan yang berharga untuk pengembangan dan optimalisasi sistem jaringan WDM secara efektif dalam lingkungan simulasi yang terkontrol.

3.4 Model Sistem Simulasi



Gambar 3. 2 Model Sistem Simulasi Skenario 1

Dalam sistem simulasi ini, teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) digunakan untuk mentransmisikan beberapa panjang gelombang optik secara simultan melalui serat optik, sehingga meningkatkan kapasitas dan efisiensi sistem komunikasi optik. Proses dimulai dari *Transmitter* WDM yang berfungsi untuk mengirimkan beberapa panjang gelombang optik melalui serat optik dengan panjang tertentu. Selama perambatan di serat optik, sinyal optik mengalami penurunan akibat redaman dan dispersi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sinyal optik yang telah mengalami penurunan dikuatkan oleh komponen *Erbium-Doped Fiber Amplifier* (EDFA). EDFA berperan sebagai penguat optik yang menggunakan serat optik yang didopingi dengan ion erbium untuk menguatkan sinyal optik, sehingga redaman dan dispersi dapat diatasi. Setelah dikuatkan ini akan diteruskan ke Photodetector PIN yang berfungsi sebagai mendeteksi cahaya yang diterima dan mengonversinya menjadi arus listrik. Lalu akan masuk ke *Low Pass Bessel Filter* yang berfungsi menghilangkan *noise* atau gangguan frekuensi tinggi. Kemudian dianalisis oleh *Bit Error Rate Analyzer* (BER Analyzer) untuk mengevaluasi kualitas sinyal digital yang diterima. BER Analyzer menghasilkan *Eye* diagram yang merupakan representasi visual dari sinyal digital. Diagram mata ini memungkinkan untuk menganalisis karakteristik sinyal seperti tingkat derau, jitter, dan distorsi, sehingga kualitas sinyal digital dapat dievaluasi dengan baik. Dengan menggunakan teknologi WDM dan komponen-komponen pendukung seperti EDFA, WDM Mux, Optical fiber length *length*, Photodetector PIN, *Low Pass Bessel Filter*, BER Analyzer, dan *Eye* diagram, sistem simulasi ini mampu mentransmisikan beberapa panjang gelombang optik secara efisien, sekaligus mengevaluasi kualitas sinyal digital yang diterima dengan akurat.



Gambar 3. 3 Model Sistem Simulasi Skenario 2

Dalam sistem ini, sinyal berawal dari transmitter yang dihubungkan ke phase modulator pertama berfungsi sebagai pembawa sinyal. Dari phase modulator pertama, sinyal diteruskan ke phase modulator kedua yang berperan sebagai pembagi sinyal. Sinyal kemudian diteruskan ke *electrical gain* yang berfungsi sebagai penguat frekuensi dalam bentuk output sinyal elektrik. Setelah sinyal masuk ke *electrical gain*, sinyal diteruskan ke photodetector PIN yang mengubah sinyal dari bentuk elektrik menjadi optik. Sinyal yang pertama masuk ke WDM Mux yang nantinya akan berfungsi sebagai penggabungan dari dua sinyal input. Setelah melewati optical fiber *length* dengan jarak tertentu, sinyal optik kemudian masuk ke *Mach Zehnder Interferometer* (MZI) yang berfungsi untuk mengukur pergeseran fase antara dua jalur sinyal. Setelah melalui MZI, sinyal merambat melalui optical fiber *length*. Kedua sinyal yang melewati optical fiber *length* diteruskan dan keluaran sinyal dari WDM Mux akan diteruskan ke phase modulator.

Setelah sinyal melewati proses enkripsi, sinyal akan dikuatkan terlebih dahulu oleh penguat sinyal EDFA sebelum diteruskan ke WDM Mux. Setelah itu diteruskan untuk masuk ke WDM Mux yang berfungsi untuk penggabungan sinyal. Setelah digabungkan, sinyal masuk ke *splitter* yang berfungsi untuk membagi sinyal sebagai inputan cahaya. Sinyal yang telah dibagi menjadi dua oleh *splitter*, kemudian masuk ke coupler yang berfungsi untuk menggabungkan kembali sinyal. Sinyal yang masuk ke coupler akan dibagi menjadi dua jalur, yaitu jalur sinyal pertama ke phase modulator sebagai sinyal asli dan jalur sinyal kedua masuk ke phase modulator yang berfungsi untuk proses deskripsi. Setelah melewati proses deskripsi, sinyal akan masuk ke phase modulator lalu ke MZI yang berfungsi mengukur pergeseran fase. Sinyal yang melalui MZI akan diteruskan ke *receiver* yang berfungsi untuk penerimaan sinyal output. Dengan demikian, sistem ini melibatkan berbagai komponen seperti phase modulator, *electrical gain*, photodetector PIN, MZI, Optical fiber *length*, WDM Mux, *splitter*, dan *coupler* yang bekerja secara terintegrasi untuk

memproses, membagi, menggabungkan, dan mentransmisikan sinyal optik dengan mengukur pergeseran fase dan menerima sinyal output di *receiver*.

3.5 Penentuan Parameter

3.5.1 Parameter *transmitter*

Pemilihan serat *single mode* didasarkan pada kemampuannya untuk mentransmisikan sinyal pada panjang gelombang di daerah *C-band* yaitu 1530 nm – 1565 nm atau setara dengan kisaran frekuensi sekitar 196 Thz – 192 Thz. Daerah panjang gelombang ini memiliki karakteristik yang sangat menguntungkan, seperti redaman yang rendah dan dispersi yang terkendali, sehingga cocok untuk transmisi jarak jauh dengan kualitas sinyal yang terjaga. Selain itu, serat *single mode* juga dirancang untuk meminimalkan dispersi yang merupakan faktor utama yang dapat menyebabkan penyebaran dan degradasi sinyal optik selama perambatan. Dengan dispersi yang rendah, serat *single mode* mampu mempertahankan bentuk sinyal optik selama transmisi jarak jauh, sehingga integritas informasi yang dibawa sinyal tersebut dapat dipertahankan dengan baik. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan karakteristik unggul serat optik *single mode*, diharapkan performa transmisi sinyal pada sistem yang dirancang dapat optimal untuk transmisi jarak jauh, mampu menjaga kualitas sinyal, serta mendukung kapasitas transmisi yang tinggi melalui teknologi WDM. Transmitter terdiri dari 4 bagian yaitu *Pseudo-Random Bit Sequence Generator*, *CW laser*, *NRZ pulse generator*, dan *Mach-Zehnder Modulator*.

Tabel 3. 2 Parameter Transmitter

Parameter	Nilai	Satuan
Frekuensi	193.1 - 193.7	Thz
<i>Pump Power</i> CW Laser	10, 20, dan 30	dBm

3.5.2 Parameter media transmisi

Jenis serat optik yang digunakan sebagai media transmisi adalah *Single Mode Fiber* (SMF). Pada media transmisi, sinyal akan ditransmisikan di

sepanjang serat optik akan mengalami degradasi sinyal, sehingga ditambahkan penguat optik untuk mengatasi pelemahan sinyal yang terjadi akibat proses transmisi. Pada jarak 50 – 90 km bahwa nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) tertinggi pada frekuensi 193.1 – 193.7 Thz, hal ini mempengaruhi perform sistem WDM. Nilai SNR ini menunjukkan seberapa banyak *noise* mengganggu sinyal yang ditransmisikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang jarak 50 – 90 km mendapatkan sinyal yang baik (Ischak et al., 2018).

Tabel 3. 3 Parameter media transmisi

Parameter	Nilai	Satuan
Optical fiber <i>length</i>	50 – 90	Km

3.5.3 Parameter penguat sinyal

Dalam perancangan *Erbium-Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada penelitian ini, panjang gelombang pompa yang digunakan adalah 980 nm. Pemilihan panjang gelombang pompa ini merupakan faktor yang penting untuk memastikan performa EDFA yang optimal dalam mempertegas sinyal *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) yang melintasinya. Sinyal WDM terdiri dari beberapa panjang gelombang optik yang digabungkan menjadi satu sinyal, sehingga memerlukan penguatan yang seragam pada semua panjang gelombang agar kualitas sinyal dapat dipertahankan dengan baik. Untuk mencapai penguatan yang seragam pada semua panjang gelombang sinyal WDM, konfigurasi pompa dua arah dengan panjang gelombang pompa 980 nm diterapkan pada EDFA. Dengan konfigurasi ini, pompa optik dengan panjang gelombang 980 nm diarahkan dari kedua sisi EDFA, sehingga *serat erbium-doped fiber* dapat terpompa secara merata sepanjang serat. Akibatnya, penguatan yang dihasilkan EDFA menjadi lebih seragam untuk semua panjang gelombang sinyal WDM yang melaluinya.

Selain itu, EDFA pada penelitian ini dirancang dengan gain penguatan sebesar 35 dB. Gain yang tinggi ini memungkinkan sinyal WDM yang melewati EDFA dapat diperkuat secara signifikan, sehingga kualitas sinyal

dapat dipertahankan dan mampu mencapai jarak transmisi yang lebih jauh dalam sistem komunikasi optik. Dengan gain 35 dB, sinyal yang semula telah mengalami redaman dan degradasi akibat perambatan jarak jauh dapat dipulihkan dan diperkuat kembali oleh EDFA, menjamin kualitas sinyal tetap terjaga untuk transmisi lebih lanjut. Telah dijelaskan bahwa puncak gain EDFA pada C-Band sebesar 35,94 dB dicapai pada panjang gelombang 1532,89 nm dan ketidakrataan gain kurang dari $\pm 0,3$ dB tercapai antara panjang gelombang 1528 dan 1560 nm (Gandhi et al., 2022). Oleh karena itu, penggunaan panjang gelombang pompa 980 nm dengan konfigurasi pompa dua arah, serta gain penguatan 35 dB pada EDFA ini, memungkinkan penguatan yang optimal dan seragam bagi sinyal WDM. Kombinasi ini menjamin kualitas sinyal dapat dipertahankan dengan baik dan mampu mencapai jarak transmisi yang lebih jauh dalam sistem komunikasi optik, meningkatkan efisiensi dan jangkauan transmisi secara keseluruhan. Penguatan EDFA memiliki nilai yang cukup baik pada rentang panjang gelombang 1522 – 1567 nm dengan nilai gain ≥ 20 dB pada rentang tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa, spektrum gain EDFA memiliki karakteristik yang berbeda dimana EDFA memiliki penguatan dengan nilai yang lebih tinggi pada daerah C-Band (Fadila et al., 2018).

Tabel 3. 4 Parameter Penguat EDFA

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Number of Amplifier</i>	1	Quantity
<i>Core Radius</i>	2.2	μm
<i>Er Doping Radius</i>	2.2	μm

3.5.4 Parameter receiver

Pada bagian *receiver* dalam sistem komunikasi optik ini, terdapat dua komponen utama yang berperan penting, yaitu *optical receiver* dan *Bit Error Rate (BER) analyzer*. *Optical receiver* berfungsi sebagai gerbang awal untuk mendeteksi dan mengkonversi sinyal optik yang diterima menjadi sinyal elektrik yang dapat diproses lebih lanjut. Komponen dari *optical receiver*

adalah photodetector, seperti photodiode PIN (*Positive-Intrinsic-Negative*) atau *Avalanche Photodiode* (APD). Photodetector ini akan mengubah intensitas cahaya sinyal optik yang diterima menjadi arus listrik yang proporsional. Proses konversi ini memungkinkan sinyal informasi yang awalnya ditransmisikan dalam domain optik dapat diubah kembali menjadi sinyal elektrik untuk pemrosesan data lebih lanjut.

Setelah sinyal diterima dan dikonversi menjadi sinyal elektrik oleh *optical receiver*, sinyal tersebut kemudian diteruskan ke BER (*Bit Error Rate*) *analyzer* untuk evaluasi kualitas sinyal digital yang diterima. BER *analyzer* merupakan perangkat atau algoritma yang mengukur rasio kesalahan bit dalam sinyal digital yang merupakan indikator penting untuk menilai integritas dan kualitas sinyal yang diterima. Semakin rendah nilai BER, semakin baik kualitas sinyal yang diterima. Hasil analisis BER biasanya disajikan dalam bentuk diagram mata (*eye diagram*) yang merepresentasikan karakteristik sinyal digital, seperti tingkat *noise*, jitter, dan distorsi. Diagram mata ini memberikan visualisasi yang jelas tentang kualitas sinyal, memungkinkan evaluasi lebih lanjut dan perbaikan sistem jika diperlukan.

Tabel 3. 5 Parameter Receiver

Parameter	Nilai	Satuan
Frekuensi	193.1 - 193.7	Thz
<i>Pump Power</i> CW Laser	10, 20, dan 30	dBm
<i>Photodetector</i>	PIN	Type

3.5.5 Parameter *Optical Encryption*

Dalam simulasi jaringan Wavelength Division Multiplexing (WDM) ini, digunakan sebuah sistem optical encryption yang terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu enkripsi (*encryption*) dan deskripsi (*decryption*). Pada bagian enkripsi, sinyal optik yang akan ditransmisikan melalui jaringan WDM diubah menjadi bentuk tersandi (*encrypted*) untuk meningkatkan keamanan data. Proses enkripsi dilakukan dengan menggunakan teknik modulasi fase (*phase modulation*) pada sinyal optik tersebut. Sinyal optik dilewatkan melalui sebuah

phase modulator yang mengubah fase gelombang optik sesuai dengan kunci enkripsi tertentu. Perubahan fase ini menyebabkan sinyal optik menjadi tersandi dan tidak dapat dibaca secara langsung oleh pihak yang tidak berwenang. Setelah sinyal optik tersandi ditransmisikan melalui jaringan WDM, sinyal tersebut akan diterima di sisi penerima (*receiver*).

Pada bagian deskripsi, sinyal optik tersandi akan didekripsi atau dikembalikan ke bentuk aslinya sehingga dapat dibaca dengan benar. Proses deskripsi dilakukan dengan menggunakan teknik yang sama, yaitu modulasi fase, namun dengan kunci deskripsi yang sesuai untuk membalikkan perubahan fase yang terjadi pada saat enkripsi. Sinyal optik tersandi dilewatkan melalui sebuah phase modulator yang mengubah fase gelombang optik sesuai dengan kunci deskripsi. Perubahan fase ini akan mengembalikan sinyal optik ke bentuk aslinya sebelum enkripsi, sehingga data dapat dibaca dengan benar di sisi penerima. Dengan menggunakan sistem *optical encryption* yang terdiri dari bagian enkripsi dan deskripsi ini, keamanan data dalam jaringan WDM dapat ditingkatkan. Hanya pihak yang memiliki kunci deskripsi yang benar dapat membaca data yang ditransmisikan, sementara pihak lain tidak akan dapat mengakses data tersebut meskipun sinyal optik dapat dideteksi.