

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian dari T.Huszanik, J.Turan, dan L.Ovsenik, meneliti tentang “*Optimization Optical Amplification in the High Capacity DWDM System*”, dalam penelitian ini pada perancangan sistem jaringan optik dengan menggunakan *Amplifier* tipe EDFA, Setelah pengukuran dilakukan untuk menganalisis desain dan sistem yang akan diimplementasikan, penelitian ini menggunakan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), Langkah berikutnya adalah mengoptimalkan EDFA untuk merancang jaringan dengan menggunakan teknologi WDM, yang terdiri dari pemancar WDM, *PIN Photodetector*, filter *low-pass Bessel* dan *generator 3R*. Rancangan sistem ini harus meningkatkan penguatannya hingga 30 dB, daya keluar minimal -25 dbm dan maksimal 5 dbm, serta menggunakan metode simulasi dengan perangkat lunak *Optisystem*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa BER menunjukkan nilai maksimum 10^{-14} dan nilai minimum 10^{-20} , sedangkan keluaran pompa sebesar 288.603 mW atau setara 24,6 dBm dan *Noise Figure* rata-rata 7.544 dB untuk 150 mW dan 6.757 dB untuk 500 mW menggunakan serat EDFA panjang 8 meter [1].

Penelitian dari R.A.I Asyari, Hasbian Ikkal RHS, Tito Yuwono, tentang “*Design Backbone Fiber Optikal Networks Using EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) In Sleman District*”, dalam penelitian ini mengacu pada daya ideal perangkat DWDM yang terpasang yaitu OBA2520, OPA1412, OBA2530 dan OPA1712. Dari hasil perhitungan dan mengamati nilai efisiensi arus diketahui bahwa daya masukan alat masih belum sesuai dengan hasil perhitungan daya. Nilai *input* di bawah ideal menandakan bahwa daya input belum maksimal sehingga perlu disesuaikan agar kinerja perangkat lebih baik. Dengan menggunakan 1 set EDFA OPA & OBA metode yang digunakan adalah menghitung jarak transmisi maksimal sebelum dan sesudah menggunakan *Amplifier*. Penerapan EDFA sebagai Penguat Penguat untuk transmisi *Downstream* dan EDFA sebagai *PreAmplifier* untuk transmisi *Upstream*. Berdasarkan perhitungan, satu set EDFA dibutuhkan untuk jarak 152 km, sementara total jarak transmisi di Kabupaten Sleman adalah 146,25

km.. output daya yang dihasilkan adalah -7 dBm hingga -30 dBm, sedangkan untuk faktor Q minimal 6, BER kurang dari 10^{-9} dan OSNR minimum adalah 13,5 dB [6].

Penelitian lainnya dari F.Khair, I.W. Mustika, Fahmi, D. Zulherman, yang berjudul tentang “*Comparative Analysis Dispersion Compensating Fiber in DWDM System Using 10 Gbps and 40 Gbps Bit Rate*” Membahas perbandingan pemanfaatan bit rate 10 Gbps dan 40 Gbps menggunakan 16 kanal transmisi, jarak kanal 200 GHz dan panjang transmisi 300 km. Hasil dari penelitian ini Input power terendah yang dapat diterima menggunakan Bit Rate 10 Gbps adalah -4 dBm sedangkan pada Bit Rate 40 Gbps adalah 0 dBm. Dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa performa kinerja sistem dapat bekerja pada *Bit Rate* tinggi [7].

Berikutnya ada penelitian dari A.W. Almaiz, A. Hambali, dengan judul penelitian “Pengaruh Penyebaran Kompensasi Serat Optik (DCF) pada Sistem Komunikasi Jauh Optik dengan Skema Modulasi Beragam”. Hasil dari penelitian tersebut adalah mendapatkan performansi link optik yang bagus untuk jarak long haul Post Compensation DCF pada jarak maksimal 400 km dengan nilai BER 1.011×10^{-11} [8].

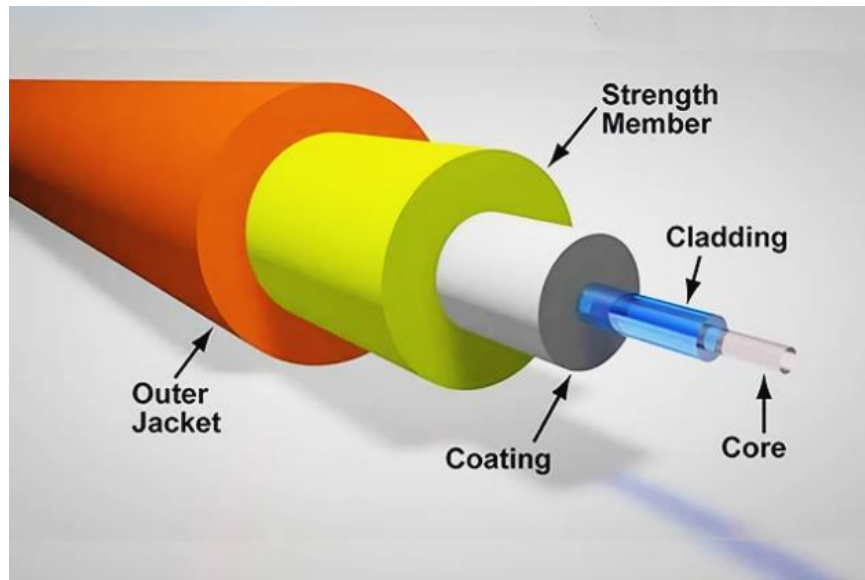
Penelitian dari Dewiani, A. Achmad, Handoko, I.P. Sari, meneliti tentang “Analisis Sistem Transmisi *Fiber Optic* DWDM Link Makassar – Jeneponto”. Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi link komunikasi Makassar-Jeneponto dengan jarak 116 km dan sumber sinyal 40λ . Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa peningkatan α berbanding lurus dengan peningkatan faktor-Q yang berkisar antara 0,21 hingga 211, karena semakin besar jumlah λ yang digunakan maka semakin tinggi kecepatan transmisi sistem. Hal ini berbanding terbalik dengan bertambahnya jumlah BER, dengan penurunan BER 0,074-0, sehingga menghasilkan probabilitas bit error pada sisi penerima bisa semakin kecil [9].

Penelitian lainnya dari S. Qureshi, F. Qamar, N. Qamar, R. Shahzadi, yang berjudul “*Bi-directional Transmission 800 Gbps Using 40 Channels DWDM System for Long Haul Communication*” dalam penelitiannya menggunakan 40 kanal transmisi *Bi-Directional* DWDM untuk mengirimkan Bit Rate total 800 Gbps, dengan masing-masing rate 10 Gbit/s dan jarak transmisi 75 km. Dengan menggunakan konfigurasi penguat optik yang sesuai *Pre*, *Post* dan simetris

Amplifier. Selanjutnya di uji menggunakan modulasi RZ & NRZ. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini Modulasi RZ menunjukkan hasil lebih baik diperoleh Q-factor 9.4 – 10.2 pada saluran input sebesar 10 dB [10].

2.2 SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK

Sistem komunikasi fiber optik merupakan media transmisi yang terbuat dari kabel kaca atau plastik yang sangat tipis dan dapat digunakan untuk mengirimkan sinyal cahaya dari jarak yang jauh. Karena kabel optiknya terbuat dari kaca sehingga tidak terpengaruh oleh *Noise* dari luar seperti kabel tembaga. Selain itu, Kabel fiber optik merupakan media transmisi yang dapat mengirimkan data dengan kecepatan 100 Gbps. Saat ini belum ada media transmisi lain yang dapat menandingi atau bahkan melampaui kemampuan serat optik dalam hal kecepatan transmisi data jarak jauh. Secara umum kabel serat optik memiliki struktur dasar pada gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2. 1. Struktur dasar Serat Optik

Spesifikasi masing-masing bagian pada gambar di atas adalah sebagai berikut:

a. *Core*

Komponen inti dari serat optik adalah inti, di mana gelombang cahaya yang ditransmisikan akan berjalan dan selalu memiliki indeks bias yang lebih

tinggi daripada lapisan kedua yang disebut lapisan pelindung. Diameter inti berkisar dari 2 μm hingga 50 μm . Inti terbuat dari kuarsa berkualitas tinggi.

b. Cladding

Lapisan kedua disebut coating, pada bagian ini berfungsi sebagai cermin untuk memantulkan cahaya sehingga dapat menyebar melalui serat. Selubung selalu memiliki indeks bias yang lebih rendah daripada inti. Karena transmisi cahaya yang terjadi di inti mempengaruhi besarnya sudut kritis, indeks bias inti harus lebih besar dari indeks bias kerak bumi. Itu terbuat dari kaca dan memiliki kisaran diameter dari 5 μm hingga 250 μm .

c. Coating

Lapisan ketiga disebut coating, pada bagian ini digunakan sebagai lapisan pelindung mekanis yang melindungi serat optik dari kerusakan dan juga diberi kode warna pada serat. Jumlah kode warna pada serat adalah 12 warna sesuai dengan standar TIA/EIA-598 yang diakui secara internasional. Dua belas warna yang biasa disingkat "BOHCAPMeHiKuViPiTo" adalah seri warna inti serat, urutan inti adalah standar saat rangkaian dimulai:

B=Biru, O=Orange, H=Hijau, C=Coklat, A=Abu-abu, P=Putih, Me=Merah, Hi=Hitam, Ku=Kuning, Vi=Ungu, Pi=Pink, To=Tosca.

d. Strengthening Fibers

Pada bagian ini berbahan serabut tipis berbahan kawat atau seng yang melapisi sepanjang kabel, fungsinya sebagai pelindung setelah *cable jacket* sebelum ke bagian *coating*.

e. Cable Jacket

Bagian terluar pada kabel optik, berbahan dasar karet padat. Yang melindungi keseluruhan kabel optik dari luar.

Kabel serat optik biasanya terdiri dari dua jenis, yaitu serat mode tunggal dan serat multimode. Berikut jenis-jenis kabel fiber optik:[11]

- *Single-mode Fiber (SMF)*

Single Mode Fiber adalah Jenis serat optik yang lazim dipakai untuk transmisi jarak jauh. Serat *single-mode* ini memiliki inti yang kecil dengan diameter sekitar 9 mikron, serta mampu mentransmisikan sinar laser inframerah dengan panjang gelombang antara 1300 nanometer hingga 1550

nanometer. Karena memiliki diameter yang lebih kecil, cahaya hanya dapat bergerak dalam satu arah, jumlah cahaya yang dipantulkan yang dihasilkan saat cahaya melewati inti dapat dikurangi dan pelemahan, memungkinkan cahaya bergerak lebih jauh dari jangkauan sinyal.

- *Multi-mode Fiber* (MMF)

Multi mode Fiber adalah Serat optik yang dirancang khusus untuk mentransmisikan banyak sinar cahaya secara bersamaan dengan setiap sinar yang memantulkan sedikit berbeda di dalam inti serat optik. Serat multimode umumnya digunakan untuk mengirimkan data dalam jarak pendek. Serat multimode memiliki inti yang lebih luas, dengan diameter sekitar 62,5 mikron, dan mentransmisikan cahaya inframerah, dengan panjang gelombang sekitar 850 hingga 1300 nm. Karena lebarnya yang lebih besar, jumlah pantulan cahaya yang dihasilkan saat cahaya melewati inti memungkinkan untuk mengirimkan lebih banyak data sekaligus.

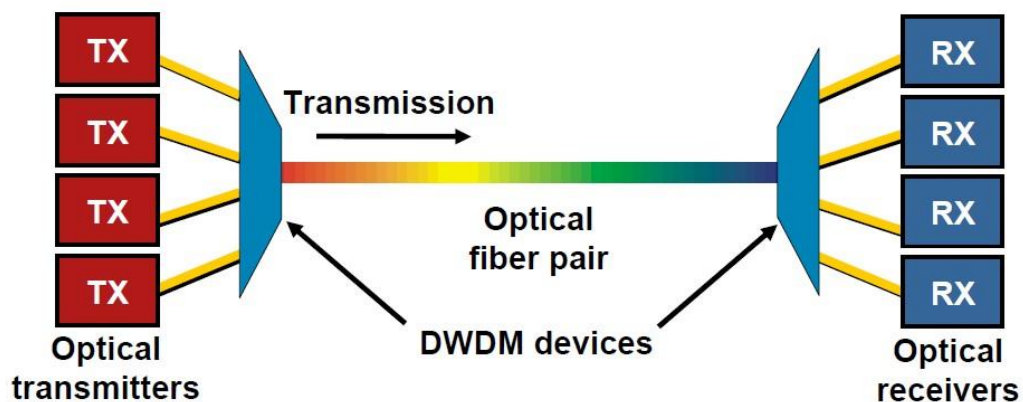
Sistem komunikasi serat optik itu sendiri biasanya merupakan sistem komunikasi yang sedikit berbeda, karena informasi ditransmisikan dalam bentuk cahaya maka informasi ini perlu diubah menjadi cahaya melalui media transmisi yang dapat ditransmisikan melalui kabel secara normal. Kabel fiber optik menggunakan media untuk mentransmisikan sinyal digital. *Fiber selection* memiliki pilihan *singlemode* atau *multimode*. Pilihan ini tergantung pada jenis cahaya dan dispersi maksimum yang diperbolehkan. Sumber cahaya LED (Light Emitting Diode) umumnya menggunakan serat multi-mode, meskipun dapat menggunakan serat mode tunggal hingga 560 Mbps dalam jarak beberapa mil. Untuk dioda laser Anda dapat menggunakan satu arah atau beberapa mode. Serat singlemode dapat menyediakan kecepatan data yang luar biasa (hingga 30 Gbps/km). Berikut ini adalah beberapa jenis komponen serat optik: [6].

2.3 DWDM (*DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING*)

2.3.1 Pengertian DWDM

Dense wavelength division multiplexing (DWDM) merupakan teknik transmisi yang menggunakan cahaya dengan panjang gelombang berbeda sebagai saluran komunikasi, sehingga setelah multiplexing, semua panjang gelombang dapat ditransmisikan melalui satu serat optik.

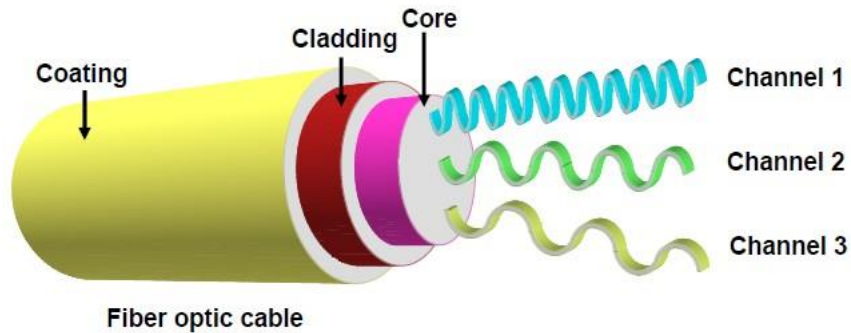
Teknologi DWDM adalah teknologi yang menggunakan sistem SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) dengan cara *multiplexing* sumber sinyal yang ada. Secara definisi, teknologi DWDM didefinisikan pada gambar 2.2 sebagai teknologi jaringan transmisi yang mampu membawa banyak panjang gelombang (4, 8, 16, 32, dll.).



Gambar 2. 2. Prinsip Dasar Teknologi DWDM

Misalnya, empat gelombang digunakan dalam satu fiber, maka kecepatan transmisinya adalah 4×10 Gbit/s (kecepatan awal pada teknologi SDH). Teknologi DWDM beroperasi dalam sinyal dan domain optik serta memberikan fleksibilitas cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan kapasitas transmisi yang besar dalam suatu jaringan transmisi. Kapasitas transmisi akan terus meningkat seiring dengan variasi jumlah gelombang yang di kirimkan melalui serat optik. Teknologi DWDM meningkatkan kapasitas transmisi, dalam hal ini dimungkinkan karena setiap sumber data memiliki sumber optik masing-masing yang kemudian digabungkan ke dalam 1 serat optik. Dalam hal ini, pita komunikasi optik yang paling umum digunakan adalah C-band 1530nm hingga 1565nm dan L-band 1565nm hingga 1625nm.

Besaran dari setiap sumber daya optik harus dibatasi, karena serat optik akan mengalami nonlinieritas jika daya total sumber optik melebihi ambang batas yang levelnya bergantung pada jenis nonlinieritasnya. Ini dijelaskan dengan menyesuaikan jarak antara saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 [12].

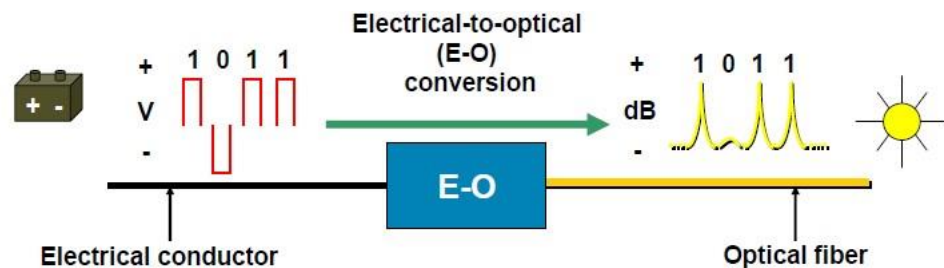


Gambar 2. 3. Pengaturan transmisi DWDM didalam *core*

2.3.2 Komponen Pada DWDM

Komponen utama Teknologi DWDM diperlukan agar dapat berfungsi dengan baik dan mengisi saluran standar, sehingga teknologi ini dapat diaplikasikan pada berbagai jaringan optic seperti SONET dan lainnya. Komponennya adalah sebagai berikut:

1. *Optical Transmitter*, Sebagai fungsi menggabungkan sumber sinyal informasi dengan *multiplexer*, sinyal dari pemancar akan dikombinasikan untuk transmisi.

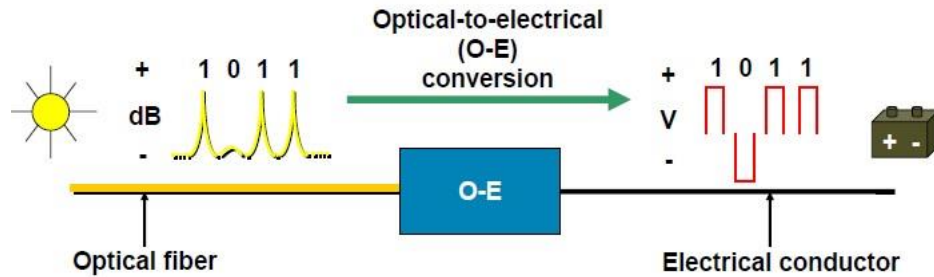


Gambar 2. 4. Blok Diagram Optikal *Transmitter*

Gambar 2.4 Blok Diagram menjelaskan konversi sinyal listrik menjadi sinyal optik. Bit dalam sinyal listrik memicu laser yang menciptakan bit optik yang sesuai.

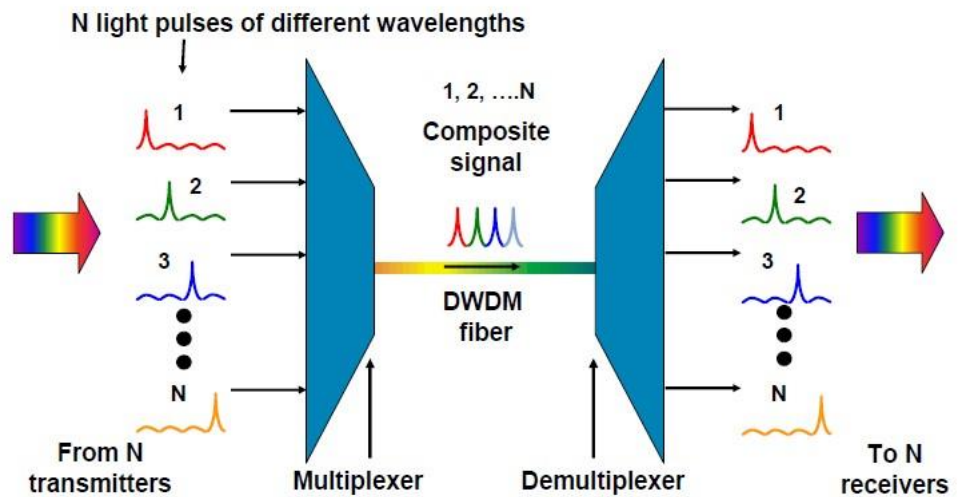
2. *Receiver*, berfungsi sebagai menerima sinyal informasi dari *demultiplexer* dan mengurutkannya berdasarkan informasi yang berbeda.

Konversi sinyal optik menjadi sinyal listrik ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2. 5. Blok diagram Optikal receiver

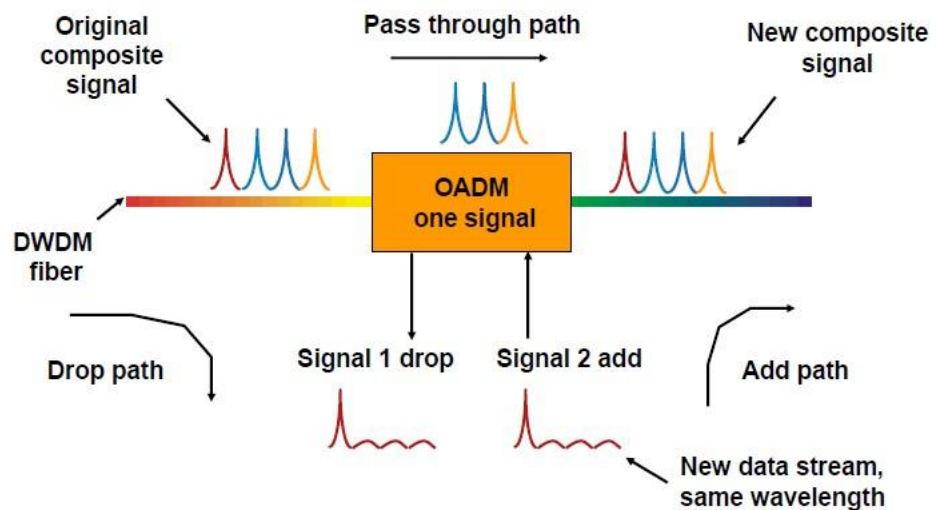
3. *Multiplexer*, Perangkat pemancar mengubah panjang gelombang menjadi sinyal yang membawa panjang gelombang tertentu. Pemancar ini menerima sinyal input optik (misalnya dari sistem suara atau sejenisnya), mengubahnya menjadi sinyal optik dan memancarkannya dalam pita laser 1550 nm. Selain itu, port mux juga memiliki *multiplexer* optik yang mengubah sinyal 1550nm dan meletakkannya di serat optik.
4. *Demultiplexer*, Terminal ini mengkonversi sinyal multi-panjang gelombang menjadi sinyal panjang gelombang tunggal dan mengubahnya menjadi beberapa serat yang berbeda yang dapat dirasakan oleh setiap pelanggan. *Demultiplexing* tidak pasif, dengan pengecualian beberapa sistem telemetri yang mampu menerima sinyal 1550 nm. Dalam transmisi jarak jauh yang menggunakan sistem lapisan klien seperti demultiplexing, sinyal selalu dikirimkan pada O/E/O. Sebagai referensi dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Blok Diagram Mux & Demux

5. *Optikal Add/Drop Multiplexer (OADM)*

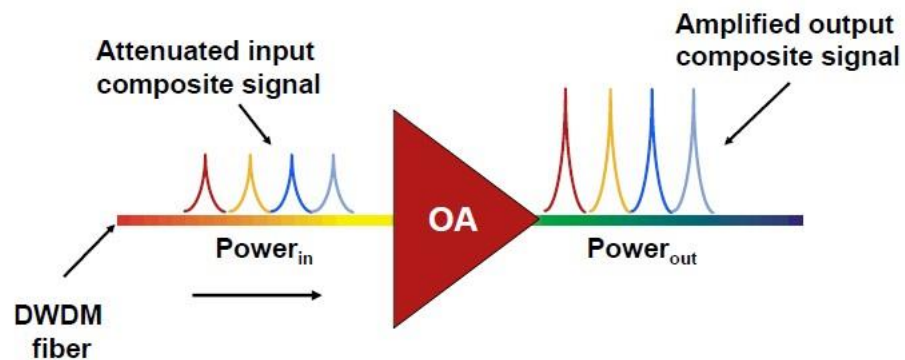
Antara titik multiplexing dan demultiplexing dalam sistem DWDM, ada area dengan rentang panjang gelombang yang luas di beberapa titik dalam ruang, dan seringkali diinginkan untuk menghapus atau menambahkan satu atau lebih panjang gelombang. *Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)* digunakan untuk mengirimkan sinyal dan untuk menambah dan menghapus fungsi pada tingkat optik.



Gambar 2. 7. Blok Diagram OADM

6. *Optical Amplifier.*

Sinyal optik dapat diperkuat untuk meningkatkan jangkauan transmisi. Penguat optik berbeda dari repeater atau perangkat tipe regenerator karena tidak ada konversi OEO pada sinyal digital. Sinyal optik dapat ditingkatkan dengan banyak panjang gelombang dan dapat menempuh jarak hingga 90 mil atau lebih.[16]. Contoh sederhana dari penguat optik dapat dilihat pada gambar 2.8

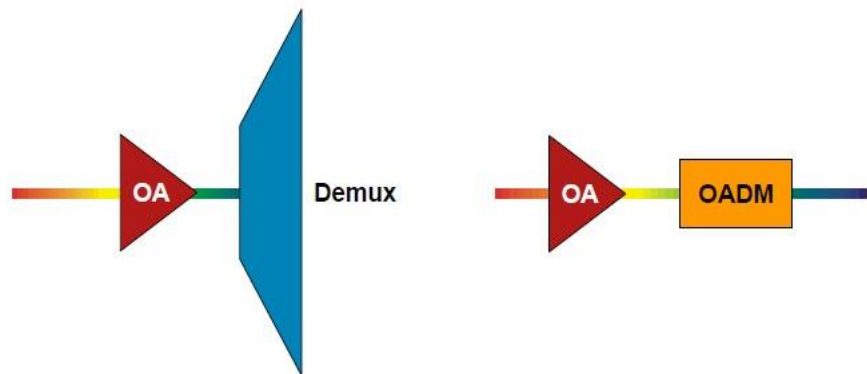


Gambar 2. 8. Blok Diagram Penguat Optik

pada sistem DWDM implementasi penggunaan penguat optik dibagi menjadi 3 yaitu: [13]

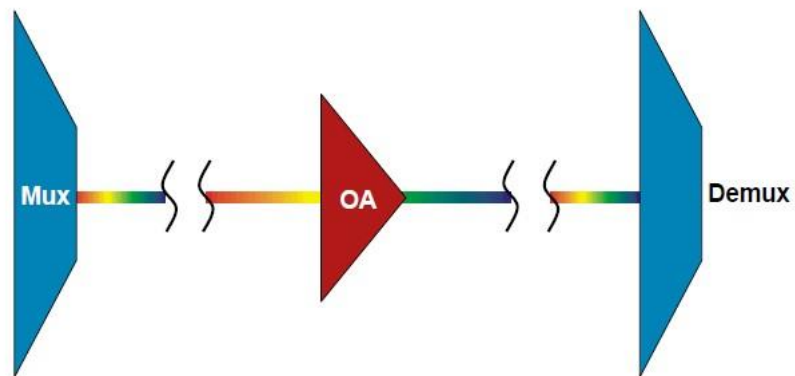
- *Pre Amplifier*

Preamplifier berfungsi sebagai alat untuk menguatkan sinyal cahaya yang dikirimkan melalui serat optik sebelum photodetector menerima sinyal cahaya, sehingga pelemahan sinyal akibat *thermal noise* pada *photodetector* dapat dimitigasi. Penempatan Amplifier berada sebelum *demultiplexer*. Sebagai gambar 2.9 menunjukkan, sistem penempatan *Pre Amplifier* dapat dilihat.



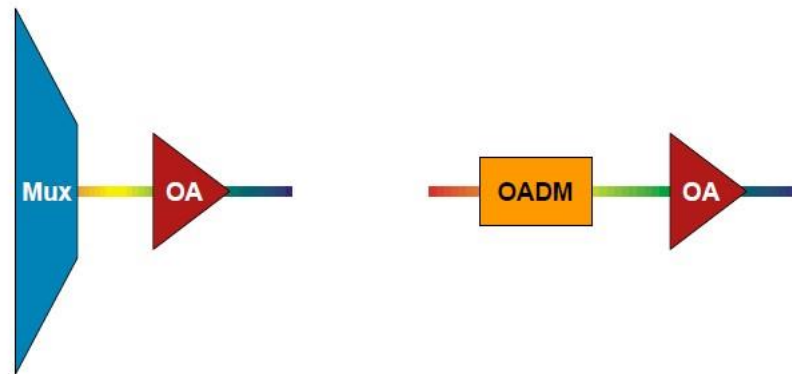
Gambar 2. 9. Blok Diagram *Pre Amplifier*

- *In-Line Amplifier*
 Aplikasi penguatan optik yang ditempatkan di antara serat optik disebut In-Line Amplifier. Ini dapat digunakan untuk menguatkan sinyal sehingga tidak perlu lagi melakukan rekonstruksi sinyal cahaya. Amplifier ini diletakkan di antara Mux dan Demux seperti yang ditunjukkan pada gambar. 2.10



Gambar 2. 10. Blok Diagram *In-Line Amplifier*

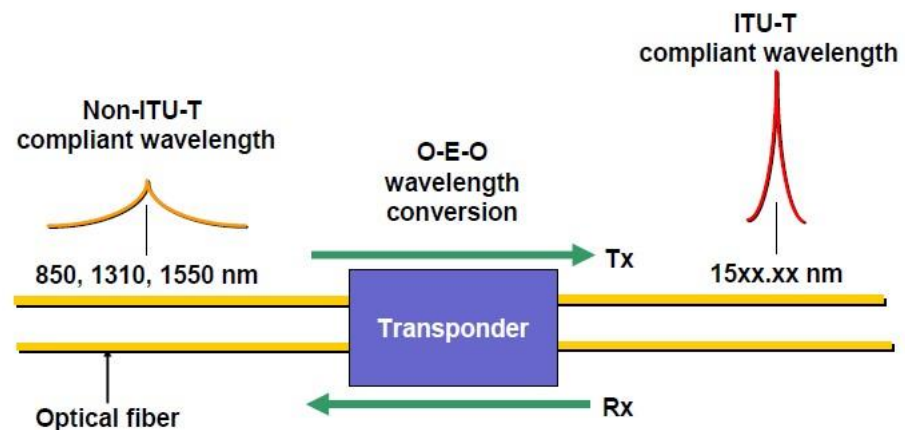
- *Booster / Post Amplifier*
 Penguat yang ditempatkan di belakang elemen pemancar memiliki efek meningkatkan daya pancar agar sinyal dapat dipertahankan hingga penerima. *Booster/Post Amplifier* penggunaan teknologi ini dapat meningkatkan kapasitas transmisi hingga jarak lebih dari 100 kilometer. contoh penggunaan dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2. 11. Blok Diagram *Booster / Post Amplifier*

7. *Transponder DWDM*

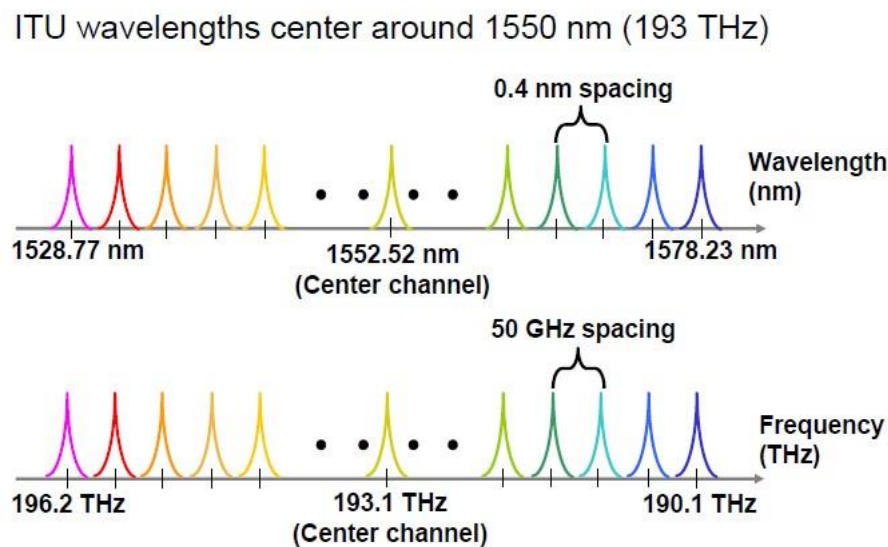
Terminal Mux terdiri dari multiplexer optik yang menerima sinyal optik seperti contoh dari sistem SONET atau yang lainnya, lalu mengubahnya menjadi sinyal optik dan mengirimkannya menggunakan pita laser 1550 nm. Multiplexer optik ini juga menempatkan sinyal 1550 nm pada serat optik. Panjang gelombang yang tidak sesuai dengan ITU-T (850, 1310, 1550 nm) dilewatkan melalui transponder dan di konversi menjadi panjang gelombang standar ITU-T (15xx.xx nm) begitu juga sebaliknya, karena sumber sinyal yang diterima beragam. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2. 12. Blok Diagram *Transponder DWDM*

2.3.3 Channel Spacing

Spasi Kanal menentukan kinerja sistem DWDM. Standarisasi spasi kanal yang ditentukan ITU-T adalah 50 GHz sampai dengan 100 GHz. Dengan spasi kanal tersebut dapat digunakan dengan memperhatikan batasan pada *Optical Amplifier* Bergantung pada sistem komponen yang dipilih. Contoh sistem spasi kanal dapat dilihat pada gambar 2.13 dimana Sistem frekuensi memungkinkan pemisahan minimal dua sinyal yang akan dimultiplekskan, yang juga dapat disebut sebagai perbedaan panjang gelombang antara dua sinyal yang akan ditransmisikan. Penguat optik dan kemampuan receiver akan membedakan sinyal yang diterima dari jarak antara dua panjang gelombang yang berdekatan.[14]



Gambar 2. 13. Channel Spacing DWDM

2.4 Dispersion Compensating Fiber (DCF)

Propagasi dalam komunikasi serat optik adalah proses dimana impuls optik menyebar saat mereka berjalan di sepanjang serat. Dispersi ini terjadi karena kecepatan pulsa optik tidak sama. Ketidakseimbangan ini disebabkan oleh berbagai indikator bias.

DCF adalah semacam kompensator yang digunakan untuk memecahkan masalah perpindahan untuk membangun hubungan yang lebih baik. DCF merupakan kompensator dengan karakteristik yang lebih baik, karena lebih stabil, tidak mudah terpengaruh suhu, dan luas, sehingga kompensator DCF paling cocok digunakan

sebagai kompensator dispersi. Pertama, Dispersi serat terjadi sebagai dispersi yang bersifat positif, sementara DCF memiliki dispersi yang bersifat negatif, sehingga efek dispersi secara keseluruhan hampir nol. DCF memiliki sebaran negatif yang tinggi, sekitar -70 hingga -90 ps/km.nm, dan dapat digunakan pada serat optik sebaran positif ketika jangkauan transmisi berada pada kisaran C-band (1520-1625 nm) [8].

2.5 EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*)

Optical Amplifier adalah teknologi penting pada jaringan komunikasi optik. Tanpa perlu terlebih dahulu mengubah menjadi sinyal listrik, *Amplifier* optik sekarang digunakan sebagai ganti *repeater*. Seperti yang kita ketahui, ada beberapa jenis *Amplifier* optik [1].

Salah satu sistem amplifikasi yang dibutuhkan untuk jaringan komunikasi optik adalah EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) Operasinya terbatas pada Band C (1530-1605 nm). Penguat optik ini menggunakan pemompaan cahaya optik (*foton*) pada panjang gelombang yang lebih pendek dan memiliki media aktif berupa serat silikon sepanjang 10-30 meter yang *didoping* ringan dengan *erbium* (Er). Kehadiran *foton* dalam rentang panjang gelombang hasil emisi terstimulasi dalam amplifikasi sinyal. Tabel 2.1 menjelaskan suatu komponen module EDFA yang biasa digunakan pada suatu sistem DWDM.

Tabel 2. 1. Penggunaan OBA & OPA pada OMU40 dan Bit Rate 10 Gbps[3]

OA board types used in 32×10Gb/s and 40×10Gb/s systems:

2.8	Optical Booster Amplifier (Band W, 22dB\20dBm)	OBA-w2220
2.20	Optical Pre-Amplifier (Band W, 14dB\12dBm)	OPA-w1412
2.22	Optical Pre-Amplifier (Band W, 22dB\12dBm)	OPA-w2212
2.37	Distributed Raman Amplifier (Band C,)	DRA-C

2.6 PERHITUNGAN PARAMETER

2.6.1 Perhitungan *Power Input-output* pada sistem DWDM

Sebelum menggunakan teknologi perancangan jaringan DWDM, terlebih dahulu kita harus mengetahui cara membaca parameter setiap mesin yang

digunakan pada perangkat dan cara menghitung daya input-output. Contoh perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan *Power Input-Output* OMU (*Optical Multiplexer Unit*)

OMU adalah Setelah OTU dipasang, perangkat pertama yang digunakan untuk mengakhiri transmisi adalah OMU. Tipe OMU yang digunakan adalah OMU-32 dan OMU-40. Hasil dari OMU ini menjadi input untuk perangkat berikutnya, yang biasanya adalah OBA (*Optical Booster Amplifier*). Perhitungan OMU dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain daya 1 saluran (P_s), daya saluran operasi lambda (P_{ch}), perangkat tipe OMU (N), daya keluaran maksimum perangkat OBA yang dimaksud ($P_{MAX OBA}$), operator nomor lambda (N). dan input daya OMU ($P_i OMU$), yang sesuai dengan output -3 dBm yang ditentukan. Langkah pertama dalam mencari nilai OMU adalah menghitung nilai P_s dengan menggunakan rumus [15].

$$P_s = P_{\max OBA} - 10 \log N \quad (2.1)$$

Keterangan:

P_s = power per channel

$P_{\max OBA}$ = power max module OBA

N = tipe perangkat OMU 32 atau 40

Setelah menemukan nilai P_s , gunakan rumus untuk menghitung nilai

P_{ch} :

$$P_{ch} = P_s + 10 \log n \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_{ch} = power kanal operasi

n = jumlah kanal yang beroperasi

Nilai P_{ch} ini pertama kali dilihat sebagai hasil nilai referensi *input* OBA.

Setelah menghitung nilai P_{ch} , kemudian menghitung daya keluaran OMU ($P_o OMU$).

Daya keluaran OMU ($P_o OMU$) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_o OMU = P_i OMU + 10 \log n - IL \quad (2.3)$$

Keterangan:

$P_i OMU$ = ketentuan sebesar -3 dBm

IL = Insertion Loss (ketetapan 6 dBm)

2. Perhitungan *Power Input-Output* OBA (*Optical Booster Amplifier*)

OBA adalah perangkat yang dipasang setelah OMU dan *Output* di terima oleh OPA (*Optical Pre-Amplifier*). OBA ini dapat digunakan untuk menghitung apakah mesh suppression terpasang atau tidak.

Sebelum mengerjakan perhitungan yang berkaitan dengan modul OBA, penting untuk memahami parameter perangkat OBA. Sebagai contoh, modul OBA-w2220 memiliki daya maksimum 22 dan daya keluaran maksimum 20 dBm. Jika mengabaikan parameter ini dan nilai daya melebihi batas, maka modul OBA akan mengalami kerusakan. Untuk mendapatkan nilai perolehan OBA (P_i OBA) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_o \text{ OBA} = P_{ch} \text{ dari OMU yang bersesuaian} \quad (2.4)$$

Kemudian dicari nilai awal OBA (P_o OBA) dengan menggunakan rumus:

$$P_o \text{ OBA} = P_i \text{ OBA} + \text{Gain} \quad (2.5)$$

Untuk mengetahui nilai saluran daya PCH yang digunakan OMU sesuai dengan perangkat OBA, maka harus dilakukan persamaan terlebih dahulu. Nilai OMU-PCH yang diperoleh kemudian dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan nilai P_{OBA} . Langkah selanjutnya adalah melakukan penyesuaian antara hasil perhitungan input OBA (P_{iOBA}) dengan output OMU ideal (P_{oOMU}), dengan menggunakan hasil penyesuaian ini untuk menentukan apakah dipasang attenuator atau booster jaringan. Jika nilai P_{oOMU} lebih besar dari P_{iOBA} maka harus dipasang attenuator untuk menurunkan nilai P_{oOMU} . Maka dapat digunakan rumus :

$$\text{Attenuator} = P_o \text{ OMU} - (-P_i \text{ OBA}) \quad (2.6)$$

3. Perhitungan *Power Input-Output* OPA (*Optical Pre – Amplifier*)

OPA merupakan alat yang dipasang sesudah OBA. Pembacaan parameter di OPA sama dengan di OBA. Misalnya pada modul OPA-w2212, gain maksimumnya adalah 22 dan daya maksimumnya adalah 12 dBm. Saat menghitung daya (P_i) dan daya keluaran (P_o) dari OBA,

jumlah redaman pada serat optik dari media serat optik (power loss FO) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Fo Loss = distance \times Fiber Attenuation coefficient \quad (2.7)$$

Keterangan:

$$Fiber Attenuation coefficient = 0.29 \text{ dB/km}$$

Untuk mengetahui jumlah Pn-OBA yang dipasang sebelum OPA, perlu dilakukan pengecekan. Mengetahui nilai rugi-rugi Pn OBA dan FO loss, digunakan persamaan berikut untuk menghitung daya OPA (Pi) dan daya keluaran (Po):.

$$Pi OBA = Po OBA - FO Loss \quad (2.8)$$

Dan

$$Po OPA = Pi OPA + Gain \quad (2.9)$$

4. ODU (Optikal De – Multiplexer Unit)

ODU merupakan masukan dari modul OTU yang berada di sisi penerima. Perhitungannya harus disesuaikan dengan jenis modul OTU yang dipakai. Jenis PIN input Otu terbaik antara -6dBm dan -9dBm sedangkan untuk jenis APD antara -4dBm dan -17dBm. Modul ODU menggunakan OUT tipe Pin yang memiliki nilai input referensi (Pi) adalah -6 dBm. Untuk menentukan link (Po) pada ODU, dapat digunakan persamaan:

$$Po ODU = Pi + 10 \text{ Log } n + IL \quad (2.10)$$

2.6.2 Perhitungan Q-Factor

Q Factor merupakan SNR (Signal-to-Noise Ratio), yang ditetapkan sebagai perbandingan arus terhadap tegangan. dengan persamaan berikut:

$$SNR = \frac{(PinRM)^2}{2qPinRM^2F(M)Be + \frac{4k_BTB_e}{R_L}} \quad (2.15)$$

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \quad (2.16)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya yang diterima APD (watt)

R = Responsivity (A/W)

M = Avalanche Photodiode Gain (Tambahan daya sinyal)

q = Electron Charge (1.69×10^{-19}) (C)

- $F(M)$ = *Noise figure*, Mx dimana x adalah akses factor gain ($0 < X < 1$)
 B_e = *Receiver Electrical Bandwidth* (Hz)
 K_b = *Konstanta Boltzman* (1.38×10^{-23}) (J/K)
 T = *Suhu Ruangan* (Kelvin)
 R = *Resistansi* (Ohm)

2.6.3 Perhitungan BER (*Bit Error Rate*)

BER (Bit Error Rate) adalah perbandingan antara jumlah bit yang salah terhadap jumlah total bit yang dikirimkan. Meskipun uji BER merupakan pengujian yang ditujukan untuk menguji berapa banyak kesalahan baca yang diterima per detik, persamaan berikut digunakan:

$$\text{BER} = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

$$Q = Q \text{ Factor}$$

2.6.4 Perhitungan OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*)

Rasio antara tingkat sinyal dan tingkat noise dalam dB (desibel) menggunakan persamaan berikut:

$$\text{OSNR} = \frac{1}{2} Q(Q + \sqrt{2}) \quad (2.18)$$

2.6.5 Perhitungan *Splice* (sambungan)

Untuk melengkapi seluruh konfigurasi jaringan dibutuhkan adanya *splice* (sambungan) fiber optic dengan nilai redaman maksimal ada 0.15 dB. Metode yang digunakan adalah *Fusion Splice*, Metode ini menyambungkan 2 ujung serat optik dengan cara peleburan sesuai titik lebur serat optik berkisar 400° Celcius. Kemudian ditambahkan *sleeve protector* agar serat optik yang telah disambung tadi mendapatkan perlindungan dan tidak mudah patah [16], digunakan persamaan berikut:

$$\text{LOSS}_{\text{splice Total}} = \frac{L_{\text{link}}}{L_{\text{Kabel}}} \times 0.15 \quad (2.19)$$

2.6.6 Perhitungan *Connector Optic*

Diperlukan adanya konektor untuk menghubungkan interface dalam jaringan optic misalnya untuk modul Amplifier, OMU, OTU, OPA, OBA, dan lain sebagainya. Suatu konektor optik memiliki nilai redaman maksimal yang ditentukan oleh pabrikan yaitu sebesar 0.25 dB [17]. Digunakan persamaan berikut:

$$\text{LOSS}_{\text{Connector Total}} = \text{Jumlah Connector} \times \text{Loss Connector} \quad (2.20)$$

2.7 **OPTISYSTEM 20**

Optisystem adalah perangkat lunak Simulasi modern yang dikembangkan oleh Optiwave, yang memberikan kontribusi besar untuk komunikasi sistem optik dan aplikasi praktis jaringan optik. [18] . Perangkat lunak *Optisystem* memiliki beberapa alat, mis. untuk mengukur dan menganalisis hasil :

1. *Eye diagrams, BER, Q-Factor, and Signal chirp.*
2. *Signal power, gain, noise figure, OSNR.*
3. *Polarization state, Constellation diagrams.*