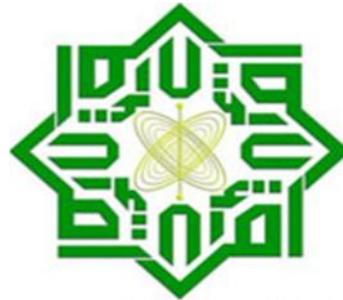


**STUDI PERBANDINGAN PERFORMANSI
SEMICONDUCTOR OPTICAL AMPLIFIER DENGAN
*ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER***

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro



UIN SUSKA RIAU

oleh :

YUDI NASRENDRA
10655005226

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2013

**PERFORMANCE COMPARISON STUDY
SEMICONDUCTOR OPTICAL AMPLIFIER WITH
ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER**

**YUDI NASRENDRA
NIM : 10655005226**

*Date of Final Exam : June 27, 2013
Date of Graduation Ceremony : November, 2013*

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Sciences and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas St No. 155 Pekanbaru-Indonesia*

ABSTRACT

Optical fiber is one of transmission medium that is capable of transmitting information with a large capacity and high speed. Besides, it also has small transmission attenuation. To maximize the employment of an optical fiber as a transmission medium then added an optical amplifier. In this research, was done performance comparison of Semiconductor Optical Amplifier (SOA) and Erbium doped Fiber Amplifier (EDFA). Both types of optical amplifiers are implemented as inline amplifiers and pre-amplifiers. From the results obtained that distance of transmission systems using SOA was further twofold rather than using EDFA with the same gain. To system model inline amplifier consumption of the power system using SOA is smaller than the consumption of power system using EDFA and to system model pre amplifier power consumption using EDFA is smaller than the power consumption system using SOA.

Keyword : EDFA, Inline amplifier, Optical amplifier, Pre amplifier, SOA

**STUDI PERBANDINGAN PERFORMANSI
SEMICONDUCTOR OPTICAL AMPLIFIER DENGAN
ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER**

**YUDI NASRENDRA
NIM : 10655005226**

Tanggal Sidang : 27 Juni 2013
Tanggal Wisuda : November 2013

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Serat optik merupakan salah satu media transmisi yang mampu mentransmisikan informasi dengan kapasitas yang besar dan kecepatan yang tinggi. Disamping itu serat optik juga memiliki redaman transmisi yang kecil. Untuk memaksimalkan kerja dari serat optik sebagai media transmisi maka ditambahkan *optical amplifier*. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan performansi dari *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) dan *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA). Kedua jenis *optical amplifier* tersebut diimplementasikan sebagai *inline amplifier* dan *pre amplifier*. Dari hasil diperoleh bahwa jarak transmisi sistem yang menggunakan SOA lebih jauh dua kali lipat dibandingkan dengan sistem yang menggunakan EDFA dengan penguatan yang sama. Untuk model sistem *inline amplifier* konsumsi daya sistem yang menggunakan SOA lebih kecil daripada konsumsi daya sistem yang menggunakan EDFA dan untuk model sistem *pre amplifier* konsumsi daya yang menggunakan EDFA lebih kecil daripada konsumsi daya sistem yang menggunakan SOA.

Kata Kunci : EDFA, *Inline amplifier*, *Optical amplifier*, *Pre amplifier*, SOA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis. Shalawat beriring salam buat junjungan kita Nabi Muhammad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “ Studi Perbandingan Performansi *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) dengan *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA)”

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada di sekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA RIAU harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta, yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Dra. Hj. Yenita Morena, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
3. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah membuat proses administrasi menjadi lebih efektif sehingga penulis lebih mudah dalam melengkapi berkas-berkas untuk Tugas Akhir dan pengalaman-pengalaman luar biasa beliau yang penulis rasakan.
4. Rika Susanti, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Fitri Amilia, ST., MT., Dr. Teddy Purnamirza, ST. M.Eng., dan Hasdi Radiles, ST., MT selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
6. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman seperjuangan angkatan 2006 :
Ilham, Defter, Rio, Deny, Budi, Sandrio, Ijak, Willy, Ucok, harmin, Arifin, Feri, Adi Gapuak, Ades, Siti, Dian, Upiak, Faizal, Khairul, Wike, Deddy, Yohan, Hari Kosma, Rudi, Roy, dan lain - lain.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam mengerjakan laporan ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Pekanbaru, 27 Juni 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR RUMUS	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan Penelitian	I-2
1.5 Sistematika Penulisan	I-3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Perkembangan Penelitian	II-1
2.2 Sistem Komunikasi Serat Optik	II-1

2.2.1 Sumber Optik.....	II-3
2.2.2 Serat Optik.....	II-5
2.2.3 <i>Photodetector</i>	II-7
2.3 Modulasi Optik	II-8
2.4 Penguat Optik.....	II-8
2.4.1 <i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>	II-9
2.4.2 <i>Semiconductor Optical Amplifier</i>	II-10
2.4.3 <i>Raman Fiber Amplifier</i>	II-11
2.5 Implementasi Penguat Optik.....	II-11
2.5.1 <i>Inline Amplifier</i>	II-11
2.5.2 <i>Pre Amplifier</i>	II-12
2.6 Performansi Sistem	II-12
2.6.1 <i>Bit Error Rate</i>	II-12
2.6.2 <i>Power Link Budget</i>	II-12

BAB III PERENCANAAN MODEL

3.1 Perencanaan Blok Sumber Informasi.....	III-1
3.2 Perencanaan Blok <i>Transmitter</i>	III-2
3.3 <i>Media Transmisi</i>	III-3
3.4 Perencanaan Blok <i>Receiver</i>	III-3
3.5 Model Perancangan.....	III-3
3.6 Parameter <i>Setup</i>	III-5
3.7 Skenario Kerja	III-7
3.7.1 Menentukan Panjang Serat Optik tanpa Penguatan.....	III-7
3.7.2 Penerapan Penguat Optik Jenis <i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i> (EDFA) pada Sistem Komunikasi Serat Optik.....	III-8
3.7.3 Penerapan Penguat Optik Jenis <i>Semiconductor Optical Amplifier</i>	

(SOA) pada Sistem Komunikasi Serat Optik	III-9
3.7.4 Perfomansi <i>Power Link Budget</i>	III-10
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Simulasi	IV-1
4.2 Menentukan Jarak Transmisi Maksimum tanpa menggunakan Penguat.....	IV-3
4.3 Perfomansi <i>Bit Error Rate</i> pada Aplikasi Penguat Optik Jenis <i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>	IV-5
4.3.1 Implementasi EDFA sebagai <i>Inline Amplifier</i>	IV-6
4.3.2 Implementasi EDFA sebagai <i>Pre Amplifier</i>	IV-9
4.4 Perfomansi <i>Bit Error Rate</i> pada Aplikasi Penguat Optik Jenis <i>Semiconductor Optical Amplifier</i>	IV-11
4.4.1 Implementasi SOA sebagai <i>Inline Amplifier</i>	IV-11
4.4.2 Implementasi SOA sebagai <i>Pre Amplifier</i>	IV-13
4.5 Perbandingan EDFA dengan SOA.....	IV-15
4.6 Perfomansi <i>Power Link Budget</i>	IV-18
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komunikasi merupakan suatu proses penyampaian informasi dari satu pihak ke pihak lain melalui suatu media. Dalam sebuah sistem komunikasi terdapat tiga komponen penting yaitu *transmitter*, media transmisi, dan *receiver*. Media transmisi sangat mempengaruhi kinerja suatu sistem komunikasi. Serat optik merupakan salah satu media transmisi yang mampu mentransmisikan informasi dengan kapasitas yang besar dan kecepatan yang tinggi. Di samping itu serat optik juga memiliki redaman transmisi yang kecil.

Dalam rangka untuk memaksimalkan kerja media transmisi optik sehingga dapat ditransmisikan untuk jarak yang jauh, diperlukan sebuah penguat optik. Penguat optik adalah sebuah alat yang berfungsi memperkuat sinyal optik yang diterimanya secara langsung tanpa memerlukan pengkonversian sinyal optik ke sinyal listrik atau sebaliknya, sehingga degradasi sinyal akibat konversi dan penguatan secara elektronik dalam penguat tidak akan terjadi.

Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) merupakan salah satu jenis dari penguat optik, dengan menggunakan EDFA akan diperoleh pembangkitan sinyal dengan faktor penguatan yang lebih besar dan dapat membawa data dengan kecepatan bit yang lebih tinggi dibanding penguat elektronik (Baharuddin, 2008).

Menurut Farah Diana dkk (2011) dalam paper yang berjudul “*Review of Semiconductor Penguat optik (SOA) functionalities*”, SOA memiliki beberapa keunggulan yaitu konsumsi daya yang rendah, biaya yang murah, penguatan yang tinggi, dan waktu respon yang pendek apabila dibandingkan dengan jenis penguat optik yang lain.

Farah Diana dkk tidak melakukan penelitian terhadap implementasi SOA jika diletakkan sebagai *Inline Amplifier* atau *Pre Amplifier*. Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini dibuat model sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat optik jenis EDFA dan SOA ketika diletakkan pada posisi *inline amplifier* dan *pre amplifier*, dan dilakukan perbandingan terhadap implementasi kedua jenis penguat optik tersebut. Tujuannya untuk mengetahui berapa jarak transmisi maksimum yang bisa

dicapai dengan menggunakan EDFA dan SOA ketika berperan sebagai *inline amplifier* dan sebagai *pre amplifier*. Di samping itu juga untuk mengetahui berapa konsumsi daya atau *power budget* untuk model sistem EDFA dan SOA baik sebagai *inline amplifier* maupun *pre amplifier*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan judul Tugas Akhir dan penjelasan pada latar belakang tersebut, maka yang menjadi topik pembahasan pada Tugas Akhir ini adalah membandingkan dua jenis penguat optik SOA dan EDFA yang mana penguat tersebut diimplementasikan pada *inline amplifier* dan *pre amplifier*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- a. Penguat optik diimplementasi pada sistem komunikasi optik secara umum.
- b. Aplikasi penguat optik hanya untuk *inline amplifier* dan *pre amplifier*.
- c. Panjang gelombang yang digunakan adalah 1310, 1490, dan 1550 nm.
- d. Pemodelan dan simulasi menggunakan *software optisystem* versi 7.0

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

- a. Memodelkan dan mensimulasikan sistem komunikasi optik dengan menggunakan EDFA untuk *inline amplifier* dan *pre amplifier*
- b. Memodelkan dan mensimulasikan sistem komunikasi optik dengan menggunakan SOA untuk *inline amplifier* dan *pre amplifier*
- c. Menganalisa performansi sistem baik menggunakan EDFA maupun SOA untuk implementasi *inline amplifier* dan *pre amplifier*

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang teori dasar mengenai Sistem Komunikasi Optik dan penguat optik.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Bab ini berisi tentang perancangan dua buah model sistem komunikasi optik untuk implementasi *inline* dan *pre amplifier*

BAB IV ANALISA HASIL PERANCANGAN

Bab ini berisi tentang hasil simulasi dan analisa performansi sistem untuk ke dua model sistem.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil penelitian.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perkembangan Penelitian

Penguat optik sangat membantu dalam kinerja sistem komunikasi optik. Baharuddin (2008) menjelaskan EDFA merupakan salah satu jenis dari penguat optik, dengan menggunakan EDFA akan diperoleh pembangkitan sinyal dengan penguatan yang lebih besar dan dapat membawa data dengan kecepatan bit yang lebih tinggi.

Dengan penguatan yang dihasilkan oleh EDFA menurut Pramono (2009) sifat penguatan yang dimiliki oleh EDFA ini memungkinkan untuk pengembangan sistem komunikasi serat optik jarak jauh pada kecepatan tinggi dengan menggunakan teknik WDM atau DWDM.

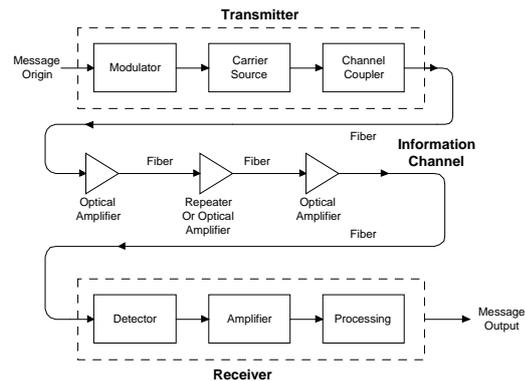
Utreja (2011) menjelaskan bahwa untuk implementasi penguat optik terbagi menjadi tiga bagian yaitu, penguatan sinyal pada sisi pengirim (*post amplifier*), penguatan sinyal pada saluran pengirim (*inline amplifier*), dan penguatan sinyal pada sisi penerima (*pre amplifier*).

Octarina (2008) telah meneliti bahwa EDFA dapat digunakan sebagai *inline amplifier* pada sistem transmisi panjang gelombang tunggal dan sistem transmisi WDM. Performa EDFA pada sistem transmisi tertentu dipengaruhi oleh pemilihan parameter EDFA, dan komponen yang terintegrasi. Selain itu juga perlu diperhatikan efek nonlinear *amplifier* yang dapat menyebabkan dispersi sinyal.

Farah (2011) menjelaskan bahwa SOA memiliki beberapa keunggulan yaitu konsumsi daya yang rendah, biaya yang murah, penguatan yang tinggi, dan waktu respon yang pendek dibandingkan dengan jenis penguat optik yang lain, pada penelitian tersebut farah tidak melakukan penelitian terhadap implementasi penguat optik sebagai *inline amplifier* dan *pre amplifier*. Maka dari itu sesuai dengan perkembangan penelitian terdahulu peneliti tertarik melakukan penelitian lebih lanjut tentang perbandingan performansi *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) dengan *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) yang diimplementasikan sebagai *inline amplifier* dan *pre amplifier*.

2.2 Sistem Komunikasi Serat Optik

Komunikasi adalah suatu proses penyampaian informasi dari satu pihak ke pihak lain, pada dasarnya sebuah sistem komunikasi terdiri dari tiga aspek penting yang harus terpenuhi yaitu, *transmitter*, *receiver*, dan *information channel*. Pada sistem komunikasi optik yang bertindak sebagai *information channel* adalah serat optik.



Gambar 2.1. Blok Sistem Komunikasi Optik (Endra, 2007)

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa sistem komunikasi optik terdiri dari tiga bagian penting yaitu :

1. *Transmitter* terdiri dari beberapa bagian yaitu :
 - a. *Message origin* adalah informasi yang akan dikirim, dalam hal ini dapat berupa suara, gambar, dan video.
 - b. *Modulator* mempunyai fungsi yaitu mengubah *message* elektrik ke dalam bentuk yang sesuai dan menumpangkan sinyal tersebut pada gelombang yang dibangkitkan oleh *carrier source*.
 - c. *Carrier source* berfungsi sebagai pembangkit gelombang cahaya, yang umum digunakan yaitu *Laser Diode (LD)* dan *Light Emitting Diode (LED)*.
 - d. *Channel Coupler* berfungsi untuk menyalurkan daya gelombang cahaya yang telah termodulasi dari *carrier source* ke serat optik.
2. *Information Channel* berfungsi sebagai media transmisi untuk mengirimkan informasi dari pengirim menuju ke penerima. Media transmisi yang digunakan berupa serat optik.

Pada sistem komunikasi optik untuk jarak yang cukup jauh maka dibutuhkan perangkat tambahan untuk memaksimalkan kerja dari serat optik sebagai media transmisi, adapun perangkat tersebut adalah :

- a. *Repeater* hanya dapat bekerja pada sistem digital, dimana berfungsi sebagai perubah sinyal optik yang lemah ke bentuk listrik kemudian dikuatkan dan dikembalikan ke bentuk sinyal optik.
 - b. *Optical Amplifier* berfungsi sebagai penguat optik secara langsung tanpa adanya pengkonversian ke sinyal elektrik terlebih dahulu.
3. *Receiver* terdiri dari beberapa bagian yakni :
- a. *Detector* berfungsi sebagai perubah sinyal optik menjadi sinyal listrik, dalam hal ini digunakan *photodiode*.
 - b. *Amplifier* berfungsi sebagai penguat sinyal listrik yang telah dirubah oleh *detector*.
 - c. *Processing*, pada transmisi analog sinyal prosesor terdiri dari penguatan dan filtering sinyal, dimana filtering bertujuan untuk memaksimalkan rasio dari daya sinyal terhadap daya sinyal yang tidak diinginkan. Sedangkan pada transmisi digital sinyal prosesor terdiri dari penguatan dan filtering sinyal serta rangkaian pengambil keputusan, dimana rangkaian keputusan berfungsi untuk memutuskan apakah sebuah bilangan biner 0 atau 1 yang diterima selama slot waktu dari setiap individual bit.
 - d. *Message Output* merupakan pesan yang diterima di bagian *receiver*.

2.2.1 Sumber Optik

Sumber optik pada sistem transmisi serat optik berfungsi sebagai pengubah besaran sinyal listrik menjadi sinyal cahaya (*E/O converter*). Beberapa karakteristik yang harus dipenuhi oleh sumber optik adalah sebagai berikut (PT.Telekomunikasi, 2004) :

1. Ukuran dan konfigurasi kompatibel dengan cahaya yang dimasukkan ke dalam serat.
2. Mempunyai akurasi yang tinggi dalam mengkonversi sinyal listrik masukan untuk mengurangi distorsi dan derau.
3. Cahaya yang dihasilkan berada pada panjang gelombang yang mempunyai redaman dan dispersi rendah, dan dimana detektornya dapat bekerja secara efisien.
4. Kemudahan dalam memodulasi sinyal informasi.

5. Cahaya yang dihasilkan harus dapat di-*couple* ke dalam serat dengan efisien agar menghasilkan daya optik yang cukup.
6. Menghasilkan cahaya dengan lebar pita frekuensi yang cukup sempit untuk meminimumkan dispersi.
7. Cukup stabil terhadap pengaruh luar.
8. Mempunyai keandalan tinggi dan harga yang cukup murah agar dapat menandingi teknik transmisi konvensional.

Dalam sistem komunikasi serat optik, sumber optik yang sering digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Light Emitting Diode (LED)*

Bagian utama dari LED adalah p-n junction yang merupakan daerah aktif dari LED. Dalam proses kerja LED membutuhkan bias maju untuk dapat bekerja, dimana proses emisi cahaya pada LED dapat terjadi bila p-n junction mendapat bias maju maka elektron dan hole diinjeksikan ke daerah p dan n. Ada beberapa jenis LED yang biasa digunakan, diantaranya adalah (PT. Telekomunikasi, 2004):

a. *Surface Emitter* (dioda burrus) LED

LED jenis ini memiliki karakteristik yaitu tipe *high radiance*, radiasi keluaran dengan sudut pancar 180° , bersifat *lambertian source*, memerlukan bias maju, emisi cahaya $50\mu\text{m}$, kemasan *pigtail* dengan serat optik langsung pada daerah aktif sepanjang 30 cm.

b. *Edged Emitter* LED

LED jenis ini memiliki karakteristik yaitu radiasi keluaran lebih terarah, daerah aktif berbentuk pipih segi empat (*stripe*), spektrum pancaran berbentuk *ellips*, emisi cahaya ke arah samping atau ujung, memerlukan bias maju, lebar spektrum keluaran sudut paralel 120° dan sudut yang tegak lurus sama dengan $25^\circ - 35^\circ$.

2. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)*

Laser adalah sumber gelombang elektromagnetik koheren yang memancarkan gelombang pada frekuensi infra merah dan cahaya tampak. Koheren dalam hal ini adalah berfrekuensi tunggal, *seface*, dan terpolarisasi. Hal ini yang

memungkinkan laser untuk dapat menghasilkan *intens* berkas cahaya koheren yang berdaya tinggi (cahaya yang mengandung satu atau lebih frekuensi yang berbeda). Bahan dasarnya berupa gas, cairan, kristal dan semikonduktor. Pengoperasian laser harus menggunakan arus bias yang besar di atas arus *threshold* (Anonymous, 2004). Ada beberapa jenis LASER yang biasa digunakan, diantaranya adalah sebagai berikut (Norizan, 2008) :

a. *Continuous Wave (CW)*.

LASER ini dibangun untuk memancarkan sinyal yang terus menerus (kontinyu). Hal ini membuat perbedaan mendasar dalam konstruksi. Dalam pengoperasiannya, *output* dari LASER relatif konsisten terhadap waktu. Sumber pompa dibutuhkan untuk penguatan agar tetap stabil dan terus dipelihara.

b. *Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL)*.

LASER ini beroperasi pada 850 nm dan sebagian besar adalah *multimode*. Biaya yang diperlukan sangat rendah karena diproduksi dalam volume tinggi untuk aplikasi komunikasi data.

c. *Fabry-Perot Laser (FP)*.

LASER tipe ini beroperasi pada panjang gelombang (1310 atau 1550 nm) dengan beberapa *longitudinal mode*.

d. *Distributed Feedback Laser (DFB)*

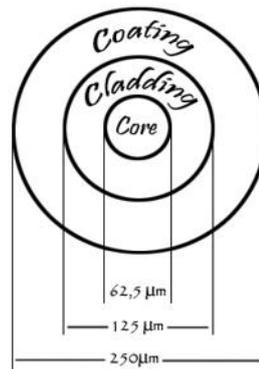
LASER ini beroperasi pada panjang gelombang (1310 atau 1550 nm) dengan *single longitudinal mode*.

2.2.2 Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi yang digunakan dalam pengiriman sinyal informasi dalam bentuk cahaya. Serat optik tersebut melewatkan cahaya yang berisi informasi dari pengirim ke penerima. Struktur serat optik pada umumnya terdiri dari 3 bagian yaitu :

- a. *Core* atau inti merupakan bagian utama dari serat optik, karena perambatan cahaya terjadi pada bagian ini. *Core* terbuat dari bahan plastik kaca halus yang berkualitas tinggi berdiameter antara 8 - 200 μm (Tiade, 2011), dalam hal ini diameter *core* tergantung kepada jenis serat optiknya.

- b. *Cladding* atau selubung juga terbuat dari bahan yang sama dengan *core* tetapi indeks biasanya berbeda. Fungsi *cladding* untuk memantulkan cahaya kembali ke *core* dan memungkinkan cahaya tetap berada di dalam serat optik. *Cladding* berdiameter 125 – 400 μm (Tiade, 2011), dalam hal ini diameter tergantung dari jenis serat optiknya.
- c. *Coating* atau pembungkus berfungsi untuk melindungi serat optik dari goresan, kotoran, dan kerusakan lainnya.

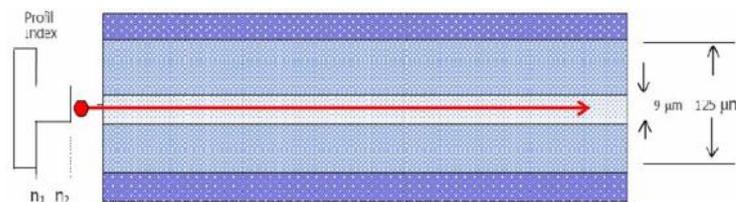


Gambar 2.2. Struktur Serat Optik (Crisp, 2001)

Berdasarkan cara rambatan cahaya, serat optik terbagi menjadi tiga jenis yaitu:

1. *Step Index Singlemode*

Cahaya merambat sejajar dengan sumbu serat optik, biasanya digunakan untuk tranmisi data dengan *bit rate* yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk tranmisi jarak jauh. Diameter *core* yaitu 2-12 μm (Prasetya, 2009).

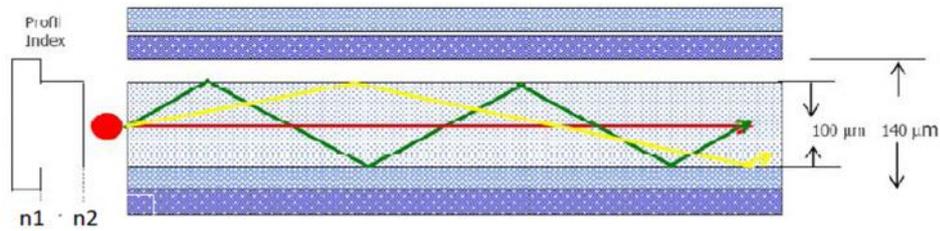


Gambar 2.3. Rambatan Cahaya *Step Index Single Mode* (Prasetya, 2009)

2. *Step Index Multimode*

Step Index Multimode adalah jenis serat optik yang mempunyai indeks bias konstan sehingga terjadi berbagai jenis perambatan. Serat optik jenis ini biasanya digunakan untuk komunikasi jarak pendek dengan transmisi data *bit*

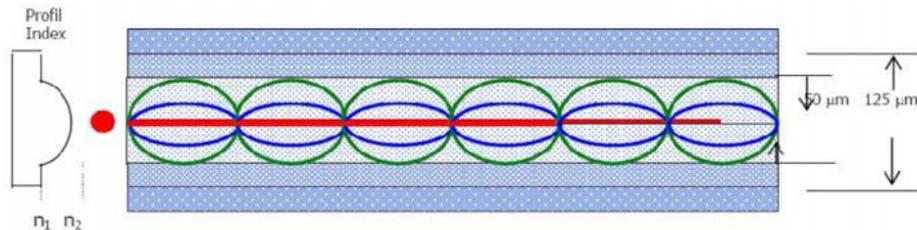
rate-nya rendah. Diameter *core* 50 – 125 μm dan dilapisi *cladding* yang tipis (Prasetya, 2009).



Gambar 2.4. Rambatan Cahaya *Step Index Multimode* (Prasetya, 2009)

3. *Graded Index Multimode*

Graded Index Multimode memiliki *core* yang terdiri dari sejumlah lapisan gelas yang memiliki indeks bias yang berbeda, dan indeks bias yang tertinggi terdapat pada pusat *core*. Ukuran diameter *core* 30 - 60 μm , biasa digunakan untuk jarak menengah serta memiliki lebar pita frekuensi besar (Prasetya, 2009).



Gambar 2.5. Rambatan Cahaya *Graded Index Multimode* (Prasetya, 2009)

2.2.3 *Photodetector*

Photodetector adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mendeteksi cahaya yang diterima lalu mengubahnya menjadi sinyal listrik. Jenis-jenis *photodetector* :

1. *Positive-Intrinsic Negative (PIN) Photodiode*

Prinsip kerja dioda PIN adalah mengubah energi optik (*foton*) yang diterima menjadi arus keluaran berdasarkan *photo voltaic effect*. Selain itu dioda PIN juga memerlukan bias mundur (Anonymous, 2004).

Karakteristik detektor optik dioda PIN:

a. *Responsitivity (R)*

Responsivity adalah rasio output listrik dari detektor ke input daya optik.

$$R = \frac{I_p}{P_0} = \frac{\eta e}{hf} \quad (2.1)$$

dimana I_p adalah arus photodetektor, P_0 adalah daya optik diterima, η adalah efisiensi kuantum, e adalah muatan elektron, h adalah konstanta *planck*, dan f adalah frekuensi.

b. Efisiensi kuantum

Efisiensi Kuantum adalah perbandingan antara pasangan elektron-hole primer terhadap foton yang datang pada dioda.

c. Kecepatan respon (*rise time*)

Kecepatan respon ditentukan oleh karakteristik *rise time* detektor tersebut.

d. Daya optik minimum (MRP: *Minimum Required Power*)

Daya optik minimum merupakan daya minimum yang diperlukan pada BER (*Bit Error Rate*) tertentu.

2. *Avalanched Photo Diode (APD)*

Detektor optik *Avalanched Photo Diode (APD)* bekerja dengan *reverse bias* yang besar. Pada medan listrik yang tinggi terjadi *avalanche effect* yang menghasilkan *impact ionization* berantai dan terjadi multiplikasi *avalanche* sehingga terjadi penguatan atau multiplikasi arus. Cahaya datang pada p+, kemudian diserap oleh bahan yang bertindak sebagai daerah pengumpul untuk *carrier* cahaya yang dibangkitkan. Pada waktu foton memberikan energinya, pasangan *elektron-hole* dibangkitkan, yang kemudian dipisahkan oleh medan listrik pada daerah . Elektron tadi mengalir dari daerah menuju pn+ *junction* di mana terjadi medan listrik yang tinggi (Sulistyo, 2012).

2.3 Modulasi Optik

Modulasi adalah suatu proses penumpangan sinyal informasi pada media transmisi. Pada sistem komunikasi optik jenis modulator yang umum digunakan adalah *Mach Zender Modulator (MZM)*. Modulator ini bekerja berdasarkan prinsip perpaduan (*interfering*) perpaduan dua berkas cahaya, perpaduan dua berkas cahaya tersebut akan menghasilkan intensitas maksimum ataupun minimum, tergantung dari perbedaan fasa antara kedua berkas cahaya tersebut (Mangiwa, 2012).

2.4 Penguat Optik (*Optical Amplifier*)

Optical amplifier adalah sebuah alat yang memiliki penguatan dan menguatkan sinyal optik secara langsung tanpa membutuhkan konversi ke sinyal listrik. Dalam *optical amplifier* tidak ada konversi sinyal dari optik ke listrik atau sebaliknya, sehingga degradasi sinyal akibat konversi dan penguatan secara elektronik dalam penguat tidak mungkin ada. (Sunarto, 2005). *Optical amplifier* ada beberapa jenis, yaitu :

- Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA)
- Semiconductor Optical Amplifier* (SOA)
- Fiber Raman Amplifier* (FRA)

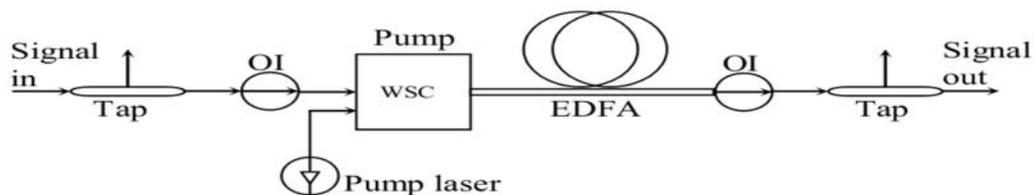
Bagian terpenting dari *optical amplifier* adalah *active medium* yang berupa potongan fiber yang telah diberi sedikit doping dengan *Rare Earth Elements* seperti Erbium (Er) dan Ytterbium (Yb) yang bekerja pada panjang gelombang 1550 nm, sedangkan untuk panjang gelombang 1300 nm digunakan unsur Neodymium (Nd) dan Prasedymium (Pd) (Sunarto, 2005).

2.4.1 *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA)

EDFA adalah salah satu jenis penguat optik yang bekerja pada panjang gelombang 1550 nm dan memiliki *active medium* berupa *fiber silica* sepanjang 10 – 30 m yang diberi sedikit doping unsur erbium (Er). (Sunarto, 2005).

EDFA dalam prinsipnya akan menghasilkan penguatan yang nilainya dipengaruhi oleh dua parameter, yaitu *absorption cross section* (σ_{21}) dan *emission cross section* (σ_{12}) (Pramono, 2009).

EDFA terdiri dari sepotong *doped fiber*, *pump laser*, *passive wavelength coupler*, *optical isolator*, dan *tap coupler* seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.6. Arsitektur EDFA (Sunarto, 2005)

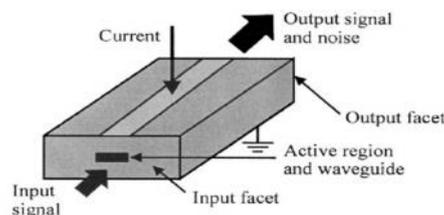
Wavelength Selector Coupler (WSC) berfungsi untuk memasukkan kombinasi daya *pump* dan sinyal ke dalam fiber untuk pasangan panjang gelombang 980/1550 nm atau 1480/1550 nm. *Optical Isolator* berfungsi untuk mencegah

pemantulan sinyal yang telah diperkuat kembali ke dalam devais, hal mana akan menambah *noise* dan menurunkan efisiensi. *Tap coupler* berfungsi untuk membandingkan sinyal input dan sinyal output yang telah diperkuat.

2.4.2 *Semiconductor Optical Amplifier (SOA)*

Semiconductor Optical Amplifier (SOA) merupakan jenis penguat yang menggunakan semikonduktor untuk memberikan penguatan pada serat optik. SOA dapat digunakan pada transmisi satu arah maupun dua arah. *Semiconductor Optical Amplifier* didasarkan pada teknologi yang sama dengan dioda laser. Bahkan SOA pada dasarnya adalah sebuah laser Indium Gallium Arsenide Phosphide (InGaAsP) yang beroperasi bawah titik ambang batas. SOA dapat beroperasi pada panjang gelombang 1280 nm sampai dengan 1650 nm.

Arsitektur SOA terdiri dari Indium Phosphide (InP) digunakan dalam SOA untuk media, dan *active region* terdiri dari lapisan Indium Galium Arsenit Phosphide (InGaAsP). Sejalan dengan pembangunan dioda laser, panjang gelombang penguatan dapat dipilih di antara 1100 dan 1700 nm dengan memvariasikan komposisi dari *active region* InGaAsP.



Gambar 2.7. Arsitektur SOA (Connely, 2002)

Pada penguat jenis SOA, penguatan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$gm = a_g(N - N_o) \quad (2.2)$$

- dimana :
- gm : Material Gain
 - a_g : Differential Gain
 - N : Carrier Density
 - N_o : Carrier Density Transparency

$$g_t = \gamma \cdot g - a \quad (2.3)$$

dimana : g_t : Gain Coefficient
 γ : Optical Confinement Factor
 a : Scattering Losses

$$G = \exp g_t \cdot z \quad (2.4)$$

dimana : G : Gain
 g_t : Gain Coefficient
 z : Distance

2.4.3 Raman Fiber Amplifier (RFA)

Fiber Raman Amplifier merupakan penguatan yang dilakukan dalam domain cahaya dengan memanfaatkan sifat kenonlinearan serat optik, yaitu hamburan raman (*Raman Scattering*). Hamburan raman yang terjadi akibat injeksi laser akan menguatkan sinyal yang dikirim, peristiwa ini disebut dengan hamburan raman terstimulasi (SRS = *Stimulated Raman Amplifier*). (Kharismanta, 2006)

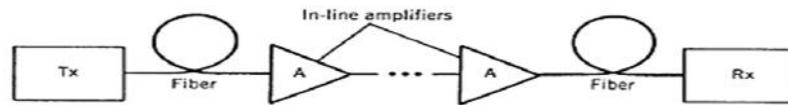
Penguatan raman dapat membuat penguatan sinyal lebih dari 10dB, dimana melewati untuk jarak yang lebih jauh, juga mengizinkan jaringan optik untuk mencapai kecepatan transmisi sampai 40 Gbits/sec. Pada umumnya gain raman meningkat hampir secara linear sesuai dengan *offset* panjang gelombang antara sinyal dan puncak pompa, sekitar pada 100 nm dan turun dengan cepat seiring kenaikan *offset*. *Gain bandwidth* yang bisa digunakan adalah sekitar 48 nm. (Baharuddin, 2008)

2.5 Implementasi Penguat Optik

2.5.1 In-Line Amplifier

Inline amplifier jenis aplikasi penguat optik yang mana penguat optik diletakkan diantara serat optik. Penguat optik *inline* dapat digunakan untuk memperkuat pelemahan sinyal cahaya, sehingga regenerasi sinyal cahaya tidak perlu

lagi. *Inline amplifier* memiliki konsumsi daya yang rendah dan mode operasi yang mudah (Connely, 2002). Gambar 2.8 berikut adalah skema *inline amplifier*.



Gambar 2.8. Skema *Inline Amplifier*

2.5.2 *Pre Amplifier*

Penguat optik *pre amplifier* adalah jenis aplikasi penguat optik yang di letakan setelah serat optik. *Pre amplifier* berfungsi memperkuat sinyal cahaya yang dikirim melalui serat optik sebelum sinyal cahaya tersebut diterima oleh *photodetector* sehingga pelemahan *signal to noise ratio* yang disebabkan oleh *thermal noise* di photodetector dapat ditekan. Kenaikan tingkat daya dapat meningkatkan sensitivitas penerima sehingga meningkatkan *power link budget* (Connely, 2002). Gambar 2.9 berikut merupakan skema *pre amplifier* pada sistem komunikasi optik.



Gambar 2.9. Skema *Pre Amplifier*

2.6 Performansi Sistem

2.6.1 *Bit Error Rate*

Bit Error Rate (BER) merupakan salah satu parameter yang paling umum dalam sebuah jaringan digital. BER dapat didefinisikan sebagai jumlah kesalahan bit N_E yang mungkin terjadi dalam suatu interval waktu dibagi dengan jumlah bit N_T yang dikirim dalam selang waktu tersebut, sehingga dapat ditulis dalam bentuk persamaan yaitu (Agrawal, 2002):

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad (2.5)$$

2.6.2 *Power Link Budget*

Power Budget bertujuan untuk memastikan daya yang cukup akan mencapai penerima untuk mempertahankan kinerja yang handal pada sebuah sistem. Persamaan umum dari *power budget* adalah (Agrawal, 2002) :

$$\bar{P}_{tr} = \bar{P}_{rec} + C_L + a_s \quad (2.6)$$

dimana :

P_{tr} = Daya transmisi

P_{rec} = Daya terima

C_L = *Channel Loss*

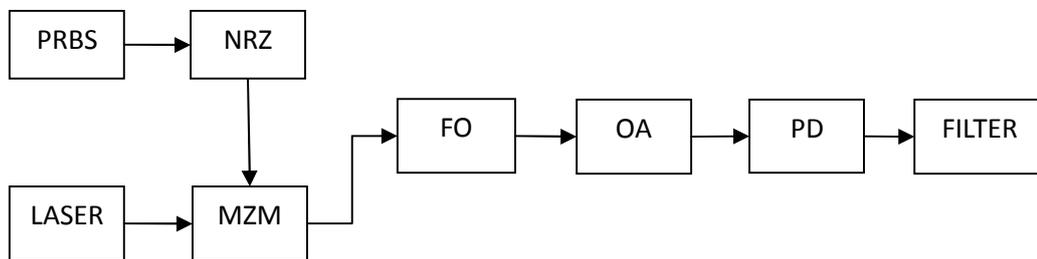
M_s = Sistem margin/cadangan daya

$$C_L = \alpha_f L + \alpha_{con} + \alpha_{splice} \quad (2.7)$$

BAB III

PERENCANAAN MODEL

Pada bab ini akan membahas tentang perencanaan model jaringan yang akan dibuat menggunakan optisistem. Adapun model jaringan yang akan dibuat adalah model jaringan sistem komunikasi serat optik. Pada sistem komunikasi serat optik tersebut akan diaplikasikan penguat optik berupa SOA dan EDFA untuk implemenatasi *inline amplifier* dan *pre amplifier*. Gambar 3.1 di bawah adalah blok diagram komunikasi serat optik secara umum.



Gambar 3.1. Model Jaringan Sistem Komunikasi Optik

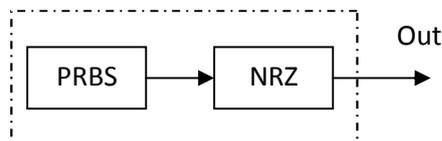
Keterangan :

- a. *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS) merupakan generator yang membangkitkan bit secara acak.
- b. *Non-Return-to-Zero* (NRZ) merupakan salah satu jenis teknik pengkodean digital.
- c. *Mach Zender Modulator* (MZM) merupakan modulator eksternal yang akan memodulasi sinyal informasi sebelum ditransmisikan kedalam serat optik
- d. Laser merupakan sumber pembangkit cahaya yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi sinyal cahaya.
- e. *Optical Amplifier* (OA) merupakan perangkat yang berfungsi sebagai penguat dalam model ini penguat yang digunakan adalah EDFA dan SOA.
- f. *Fiber Optic* (FO) berfungsi sebagai media transmisi.
- g. *Photodetector* (PD) merupakan perangkat yang merubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik.

3.1 Perencanaan Blok Sumber Informasi

Blok sumber informasi adalah suatu blok pada sistem komunikasi yang berfungsi untuk memproses dan menghasilkan bit informasi yang akan ditransmisikan melalui serat optik. Blok sumber informasi ini terdiri dari dua komponen yaitu *Pseudo Random Bit Sequence* dan *Non Return to Zero*.

PRBS berfungsi untuk membangkitkan bit dengan pola tertentu dan kecepatan tertentu. Kemudian bit yang telah dibangkitkan oleh PRBS akan di *encoding* dengan menggunakan salah satu jenis teknik pengkodean yaitu NRZ. Dalam hal ini teknik pengkodean NRZ dipilih karena memiliki keunggulan yaitu lebih tahan terhadap noise dan tidak dipengaruhi oleh level tegangan. Adapun Gambar 3.2 berikut adalah gambar perencanaan dari blok sumber informasi.

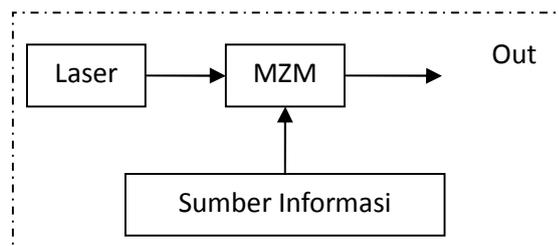


Gambar 3.2. Blok Sumber Informasi

3.2 Perencanaan Blok Transmitter

Blok *transmitter* adalah suatu bagian yang berfungsi untuk menumpangkan bit informasi pada sinyal cahaya sebelum dikirim melalui serat optik. Pada blok ini terdiri dari dua komponen yaitu laser sebagai sumber cahaya dan MZM sebagai perangkat modulator elektro optik.

Laser berfungsi sebagai pembangkit sinyal cahaya, dalam hal ini laser yang digunakan adalah jenis CW laser. Sedangkan MZM adalah komponen yang akan memodulasi sinyal informasi yang sudah *dicoding* dengan sinyal cahaya keluaran dari laser. Setelah proses *coding* oleh MZM maka sinyal keluaran akan berupa sinyal cahaya yang sudah membawa sinyal informasi dan siap untuk dikirim melalui serat optik. Gambar 3.3 berikut ini adalah gambar perencanaan blok *transmitter*.



Gambar 3.3. Blok Transmitter

3.3 Media Transmisi

Serat optik yang digunakan pada media *transmisi* ini adalah jenis *single mode*, karena serat optik jenis *single mode* mempunyai kelebihan yaitu *Bandwidth* yang lebar dan jangkauan yang cukup jauh.

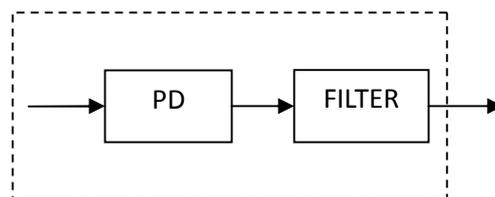
Untuk memaksimalkan kinerja serat optik untuk komunikasi jangkauan yang cukup jauh maka dibutuhkan tambahan penguat, dalam hal ini penguat yang digunakan adalah jenis *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)* dan *Semiconductor Optical Amplifier (SOA)*.

3.4 Perencanaan Blok Receiver

Blok *receiver* adalah suatu bagian yang berfungsi menerima sinyal optik yang dikirim oleh blok *transmitter* atau menerima sinyal cahaya keluaran dari serat optik. Pada blok ini terdiri dari dua komponen utama yaitu *Photodetector* dan *Filter*.

Photodetector berfungsi sebagai perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi sinyal cahaya yang masuk dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Dalam hal ini *photodetector* yang digunakan adalah jenis APD (*Avalanche Photo Diode*) karena *photodetector* jenis ini memiliki respon yang lebih cepat dan penguatan yang lebih tinggi.

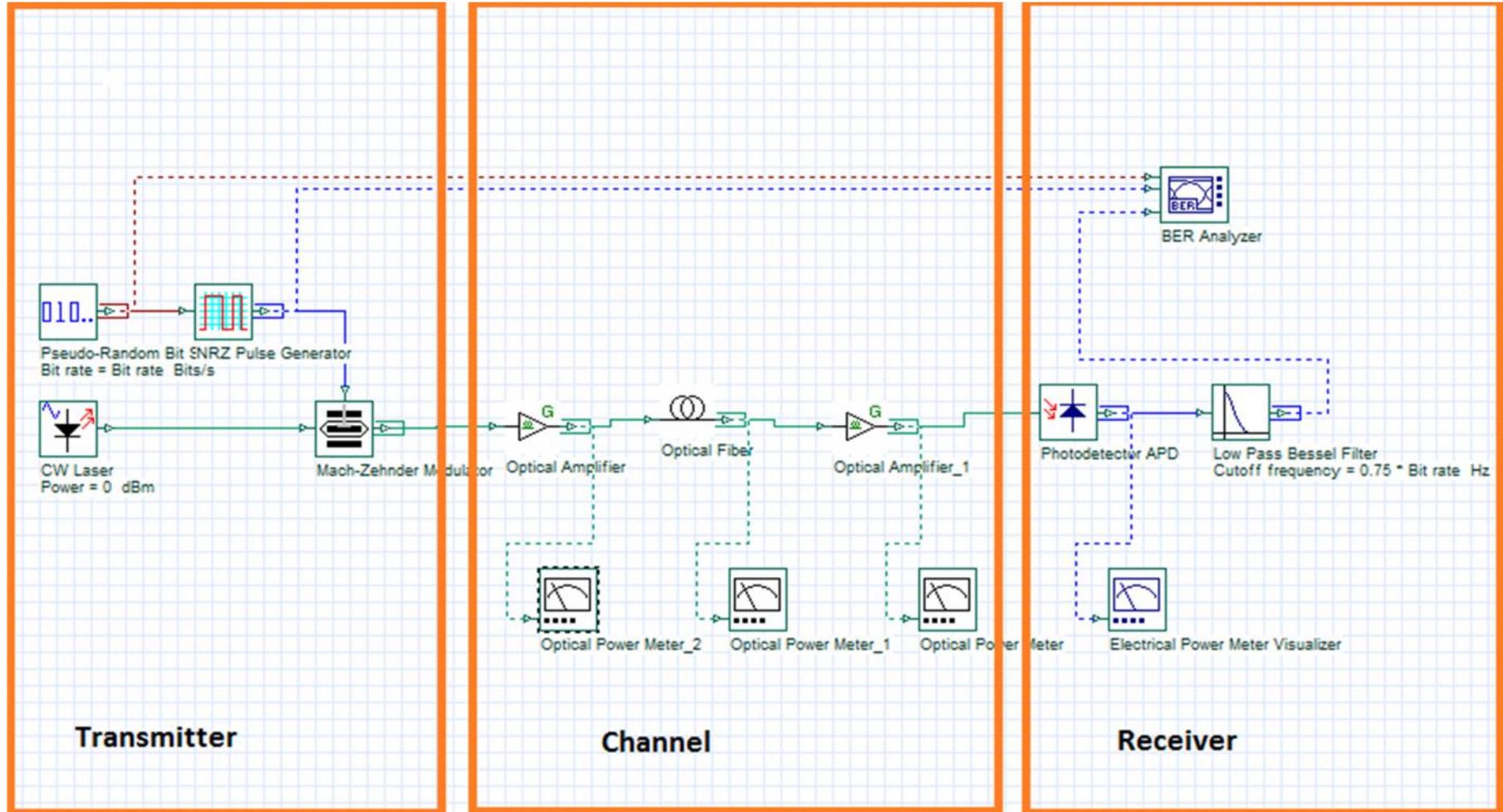
Sinyal informasi yang sudah dikonversi oleh *Photodetector* kemudian diteruskan ke blok filter, filter berfungsi sebagai pengambil sinyal informasi sesuai dengan yang diinginkan. Dimana prinsip kerja filter adalah melewatkan frekuensi tertentu dan menahan atau meredam frekuensi lainnya. Gambar 3.4 di bawah adalah gambar perencanaan blok *receiver*.



Gambar 3.4. Blok Receiver

3.5 Model Perancangan

Gambar 3.5 berikut ini adalah model perancangan sistem komunikasi serat optik yang telah dirancang menggunakan optisistem.



Gambar 3.5. Model Perancangan Sistem Komunikasi Serat Optik Menggunakan Optisistem

3.6 Parameter Setup

Langkah awal dari perancangan jaringan adalah melakukan pengaturan parameter-parameter untuk memudahkan proses simulasi. Adapun parameter-parameter yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1. Global Parameter

Nama	Nilai	Satuan
<i>Bit Rate</i>	1×10^9	Bits/s
<i>Time Window</i>	$1,28 \times 10^{-7}$	s
<i>Sample Rate</i>	64000000000	Hz
<i>Sequence Length</i>	128	Bits
<i>Sample per Bits</i>	64	-
<i>Number of Samples</i>	8192	-

Penelitian ini menggunakan *bit rate* sebesar 1 Gbps, *sequence length* senilai 128 bits dan *sample per bits* senilai 64. Sedangkan parameter untuk nilai *time window*, *sample rate* dan *numbers of samples* didapat dengan menggunakan rumus : (Optisystem Getting Started, 2008)

1. $Time\ window = Sequence\ length * 1/Bit\ rate = 128 * 1 / 1 \times 10^9 = 128\ ns$
2. $Number\ of\ samples = Sequence\ length * Samples\ per\ bit = 8192\ samples$
3. $Sample\ rate = Number\ of\ samples / Time\ window = 64\ GHz$

Pada penelitian ini sumber optik yang digunakan adalah CW Laser. Adapun pengaturan parameter pada CW Laser dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2. Parameter CW Laser

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Frequency</i>	1310, 1490, dan 1550	nm
<i>Power</i>	0	dBm

Serat optik yang digunakan pada pemodelan jaringan ini adalah *step index single mode*. Adapun pengaturan parameter serat optik dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3. Parameter Serat Optik

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Reference Wavelength</i>	1310, 1490, dan 1550	nm
<i>Length</i>	10 – 270	km
<i>Attenuation</i>	0,2 dan 0,4	dB/km

Dalam pemodelan sistem ini kita akan menggunakan penguat optik yang berguna untuk memperkuat sinyal cahaya yang dikirim, adapun penguat optik yang digunakan adalah *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) dan *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA). Berikut adalah pengaturan parameter untuk penguat optik tersebut.

Tabel 3.4. Parameter *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA)

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Gain</i>	15 dan 17	dB
<i>Power</i>	10	dBm

Tabel 3.5. Parameter *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA)

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Injection Current</i>	0,15	A
<i>Optical Confinement Factor</i>	0,15 3,0	
<i>Loss</i>	4000	1/m
<i>Differential Gain</i>	$2,78 \times 10^{-20}$	m^2
<i>Carrier Density at Transparency</i>	$1,4 \times 10^{24}$	m^3
<i>Initial Carrier Density</i>	3×10^{24}	m^3
<i>Gain</i>	15 dan 17	dB

Penerima sekaligus pengkonversi sinyal cahaya yang dikirim pada pemodelan ini menggunakan *photodetector*, jenis *photodetector* yang digunakan adalah *Avalanche Photo Diode* (APD), adapun parameter dari APD tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

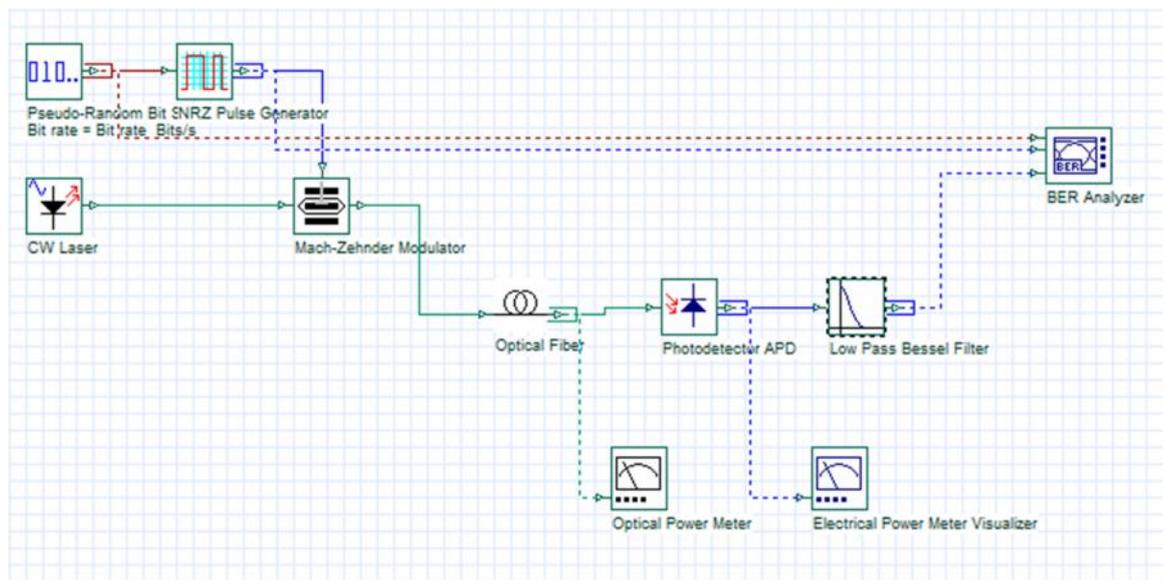
Tabel 3.6. Parameter *Photodetector*

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Responsivity</i>	1	A/W
<i>Dark Current</i>	10	nA
<i>Center Frequency</i>	1310, 1490, dan 1550	nm

3.7 Skenario Kerja

3.7.1 Menentukan Panjang Maksimum Serat Optik tanpa Penguatan

Pada tahapan skenario kerja ini, kita akan melakukan proses simulasi yang bertujuan untuk menentukan panjang maksimum dari serat optik tanpa adanya penguatan. Pada proses simulasi tersebut akan dilakukan iterasi pada serat optik, dimana iterasi dibuat sebanyak 20 iterasi dengan setiap iterasi berjarak 10 km. Gambar 3.6 berikut ini adalah model perancangan dari serat optik tanpa penguat.



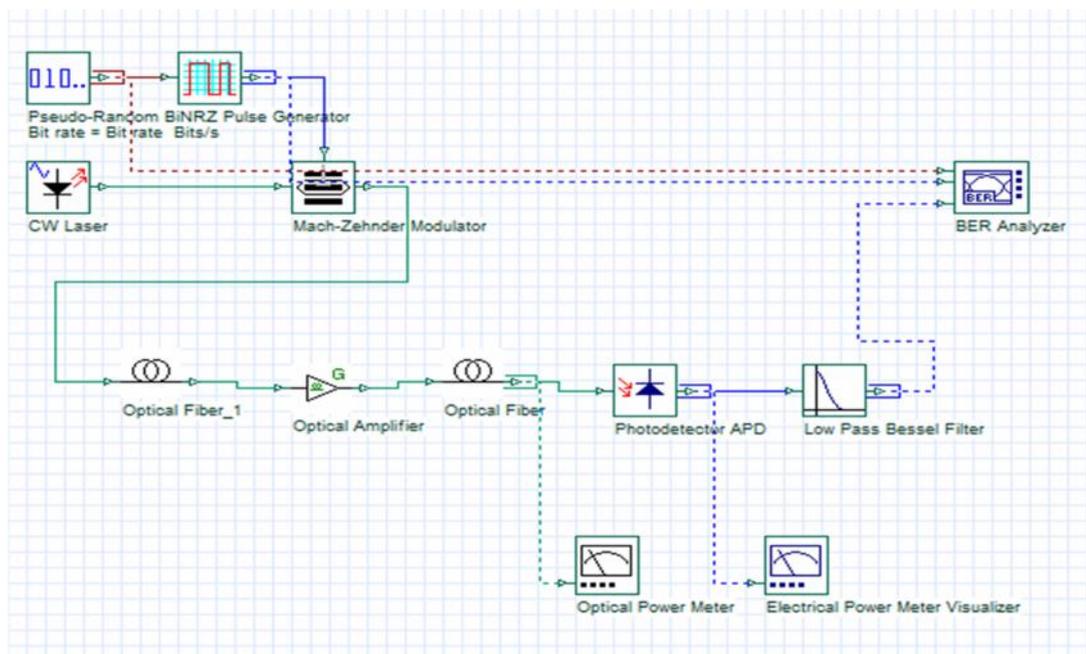
Gambar 3.6. Model Perancangan Jaringan Serat Optik tanpa Penguat

3.7.2 Penerapan Penguat Optik Jenis *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada Sistem Komunikasi Serat Optik

Penguat optik sangat dibutuhkan pada sebuah sistem komunikasi serat optik. Pada skenario kerja yang kedua ini penguat optik jenis *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) akan diterapkan pada sistem komunikasi serat optik. Dengan ditambahkannya penguat maka diharapkan sistem komunikasi ini dapat bekerja lebih maksimal dari pada tanpa penguat dan dapat menempuh jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan tanpa penguat yang hanya bisa untuk jarak 140 km. Pada skenario kerja ini akan dimodelkan sistem komunikasi optik dengan penguat jenis EDFA untuk kedua jenis implementasi, yaitu:

1. *Inline Amplifier*

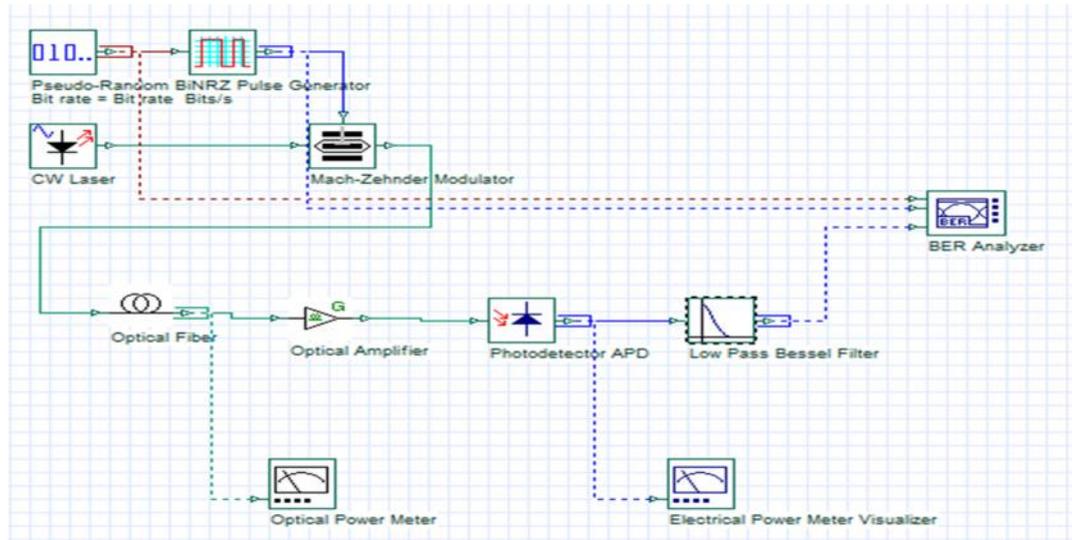
Inline Amplifier adalah jenis penguat optik yang mana penguat diletakkan diantara serat optik. Gambar 3.7 adalah model perancangan untuk *inline amplifier*



Gambar 3.7. Model Perancangan EDFA *Inline Amplifier*

2. *Pre Amplifier*

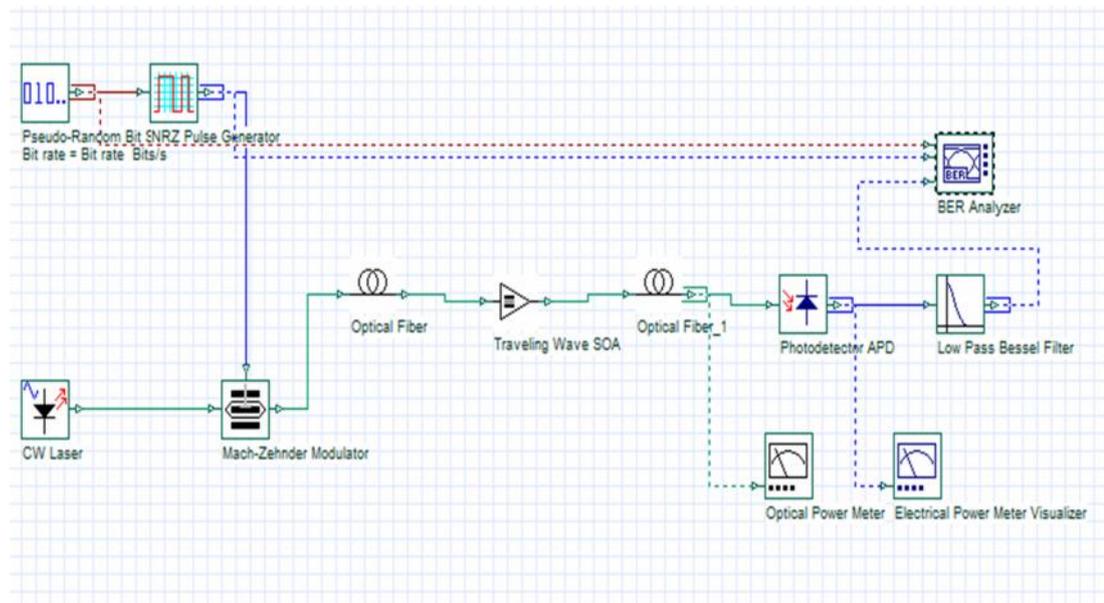
Pre Amplifier adalah jenis penguat optik yang mana penguat optik diletakkan setelah fiber optik atau tepat sebelum penerima. Gambar 3.8 adalah model perancangan untuk *pre amplifier*.



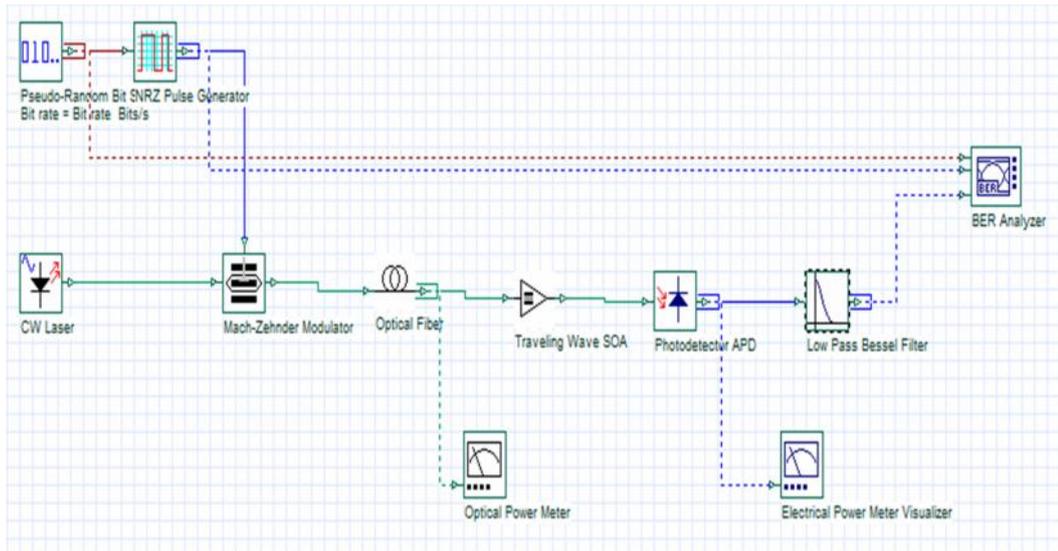
Gambar 3.8. Model Perancangan EDFA *Pre Amplifier*

3.7.3 Penerapan Penguat Optik Jenis *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) pada Sistem Komunikasi Serat Optik

Seperti halnya pada model sistem EDFA, SOA juga dimodelkan untuk dua sistem, yaitu model sistem dengan penerapan SOA pada *inline amplifier* dan *pre amplifier*. Model sistem komunikasi optik dengan penguat SOA untuk implementasi *Inline Amplifier* dan *Pre Amplifier* dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan 3.10 berikut.



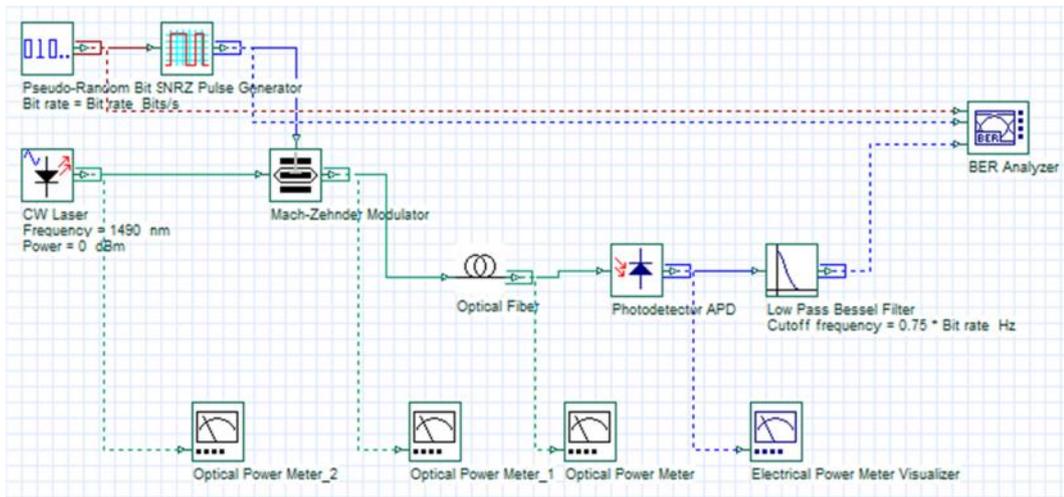
Gambar 3.9. Model Perancangan SOA *Inline Amplifier*



Gambar 3.10. Model Perancangan SOA *Pre Amplifier*

3.7.4 Performansi *Power Link Budget*

Power Link Budget merupakan salah satu parameter yang sangat penting pada sistem komunikasi serat optik. Pada skenario kerja yang keempat ini akan dilakukan perhitungan *power link budget*. Adapun perhitungan *power link budget* akan dilakukan untuk setiap jenis model sistem yang telah dibuat pada Tugas Akhir ini. Gambar 3.11 berikut adalah model perancangan perhitungan *power link budget*.



Gambar 3.11 Model Perancangan Perhitungan *Power Link Budget*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil simulasi model sistem dan analisa terhadap hasil simulasi tersebut. Adapun model sistem yang telah dibuat adalah sistem komunikasi serat optik dengan menggunakan dua jenis penguat optik, yaitu *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA) dan *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA). Masing-masing penguat optik tersebut dimodelkan ke dalam dua aplikasi, yaitu *pre-amplifier* dan *in-line amplifier*. Untuk keempat model tersebut dilakukan studi perbandingan terhadap hasil simulasi yang diperoleh. Parameter perfomansi sistem yang dianalisa untuk model-model tersebut meliputi parameter *Bit Error Rate* (BER) dan konsumsi daya pada sistem.

4.1 Data Simulasi

Tabel 4.1 adalah data-data yang digunakan pada saat melakukan pemodelan pada sistem yang telah dibuat.

Tabel 4.1. Parameter untuk Simulasi

Komponen	Spesifikasi/Parameters	Nilai
Laser	P output laser	0 dBm
	Panjang Gelombang 1 [λ_1]	1310 nm
	Panjang Gelombang 2 [λ_2]	1490 nm
	Panjang Gelombang 3 [λ_3]	1550 nm
Fiber Optic	Single Mode Fiber	
	Range Panjang Gelombang	1100 nm s.d 1600 nm
	Attenuation Panjang Gelombang 1 [λ_1]	0,4 dB/km
	Attenuation Panjang Gelombang 2 [λ_2]	0,2 dB/km

	Attenuation Panjang Gelombang 3 [α_3]	0,2 dB/km
Photodetector	Panjang Gelombang 1 [λ_1]	1310 nm
	Panjang Gelombang 2 [λ_2]	1490 nm
	Panjang Gelombang 3 [λ_3]	1550 nm
EDFA	Gain 1	17 dB
	Gain 2	15 dB
SOA Data 1	Carrier density at transparency [N_0]	$1,4 \times 10^{24} / \text{m}^3$
	Initial carrier density [N_t]	$3 \times 10^{24} / \text{m}^3$
	Differential gain [A_g]	$2,78 \times 10^{-20} \text{m}^2$
	Loss [a]	4000
	Confinement factor [Γ]	0,3
SOA Data 2	Carrier density at transparency [N_0]	$1,4 \times 10^{24} / \text{m}^3$
	Initial carrier density [N_t]	$3 \times 10^{24} / \text{m}^3$
	Differential gain [A_g]	$2,78 \times 10^{-20} \text{m}^2$
	Loss [a]	4000
	Confinement factor [Γ]	0,15

Berdasarkan data pada Tabel 4.1. di atas maka diketahui untuk penguatan dari SOA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Data Satu

$$g_m = A_g N_t - N_0 = 2,78 \times 10^{-20} (3 \times 10^{24} - 1,4 \times 10^{24}) = 44480 g_t = \Gamma g_m - \alpha$$

$$= 0,3 \times 44480 - 4000 = 9.344 g = e^{g \cdot z} = e^{9.344 \times 140} = 17 \text{ dB}$$

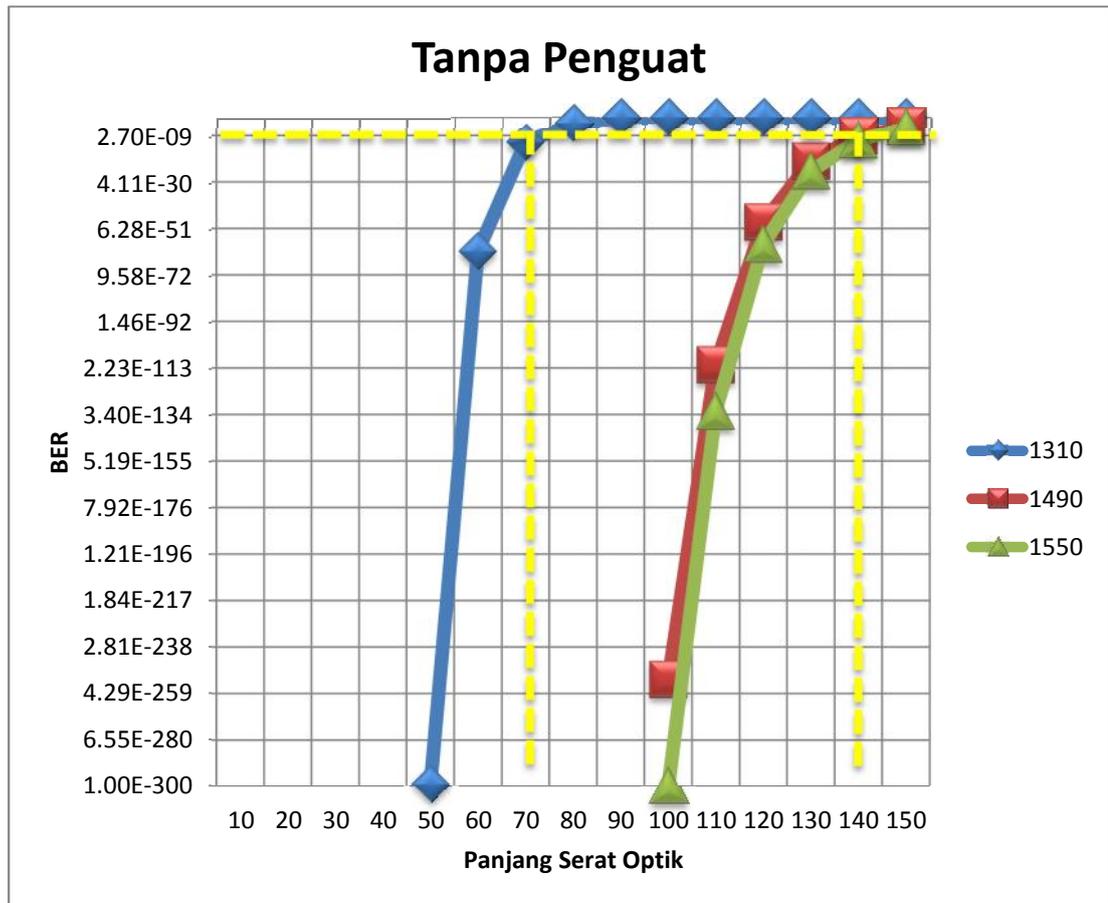
2. Data Dua

$$\begin{aligned}
g_m = Ag N_t - N_o &= 2,78 \times 10^{-20} \cdot 3 \times 10^{24} - 1,4 \times 10^{24} = 44480 g_t \\
&= \Gamma g_m - \alpha = 0,15 \times 44480 - 4000 = 2.672 g = e^{g \cdot z} \\
&= e^{2.672 \times 140} = 15 \text{ dB}
\end{aligned}$$

Berdasarkan dari perhitungan di atas dapat diketahui untuk penguatan pada penguat jenis SOA adalah sebesar 17dB untuk data satu dan 15 dB untuk data dua. Karena pada Tugas Akhir ini akan dilakukan perbandingan antara penguat jenis SOA dengan penguat jenis EDFA maka nilai penguatan pada EDFA tersebut akan disesuaikan dengan nilai penguatan pada SOA. Hal ini dikarenakan besar nilai penguatan EDFA lebih mudah diatur pada *software* simulasi.

4.2 Menentukan Jarak Transmisi Maksimum tanpa menggunakan Penguat

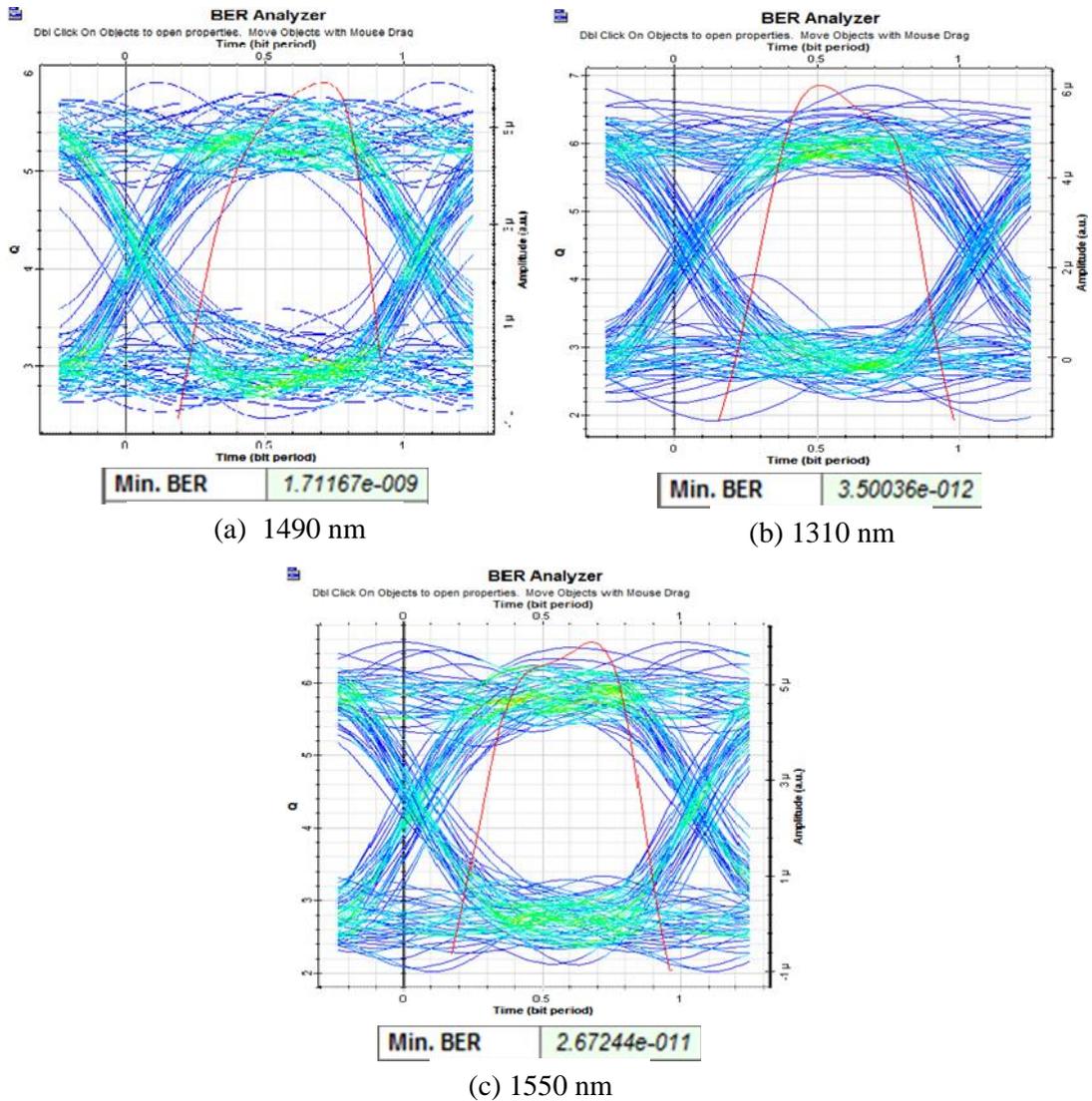
Panjang dari serat optik sangat mempengaruhi kinerja sebuah sistem komunikasi serat optik. Dalam menentukan jarak transmisi maksimum, parameter yang memegang peranan penting dalam hal ini adalah *Bit Error Rate* (BER). Persyaratan BER untuk sistem komunikasi optik harus lebih baik dari 10^{-9} , artinya nilai minimal BER sistem harus lebih kecil dari 10^{-9} . Dalam skenario pertama ini ditentukan terlebih dahulu jarak transmisi maksimum sistem komunikasi optik tanpa menggunakan penguat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dimana posisi *optical amplifier* nantinya akan diimplementasikan. Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh, berikut grafik panjang serat optik terhadap nilai *Bit Error Rate* (BER) yang dihasilkan untuk sistem komunikasi optik tanpa menggunakan penguat.



Gambar 4.1. Grafik Panjang Serat Optik terhadap BER untuk Sistem tanpa Penguat

Seperti yang telah diuraikan di atas, nilai minimum BER pada sebuah sistem komunikasi serat optik yang harus dipenuhi oleh sebuah sistem agar dapat memberikan performansi yang baik adalah 10^{-9} . Dengan memperhatikan Gambar 4.1 diatas maka dapat disimpulkan bahwa untuk panjang gelombang 1310 nm nilai BER pada jarak 70 km adalah $3,50 \times 10^{-12}$ dan untuk jarak 80 km adalah $2,00 \times 10^{-3}$. Sehingga dapat disimpulkan jarak maksimum dari sistem komunikasi tanpa penguat pada panjang gelombang 1310 adalah 70 km. Sedangkan untuk panjang gelombang 1490 nm, nilai BER pada jarak 140 km adalah $1,71 \times 10^{-9}$ dan untuk jarak 150 km adalah $9,10 \times 10^{-5}$ maka jarak maksimum pada panjang gelombang 1490 adalah 140 km. Dan juga untuk panjang gelombang 1550 nm nilai BER pada jarak 140 km adalah $2,67 \times 10^{-9}$ dan untuk jarak 150 km adalah $1,75 \times 10^{-5}$, maka sama halnya dengan panjang gelombang 1490 nm, jarak maksimum untuk panjang gelombang 1550 nm dari sistem adalah 140 km. Berikut adalah tampilan eye pattern untuk

panjang gelombang 1310 pada jarak 70 km dan untuk panjang gelombang 1490 dan 1550 pada jarak 140 km.



Gambar 4.2. Eye Pattern Sistem Komunikasi Optik tanpa Penguat

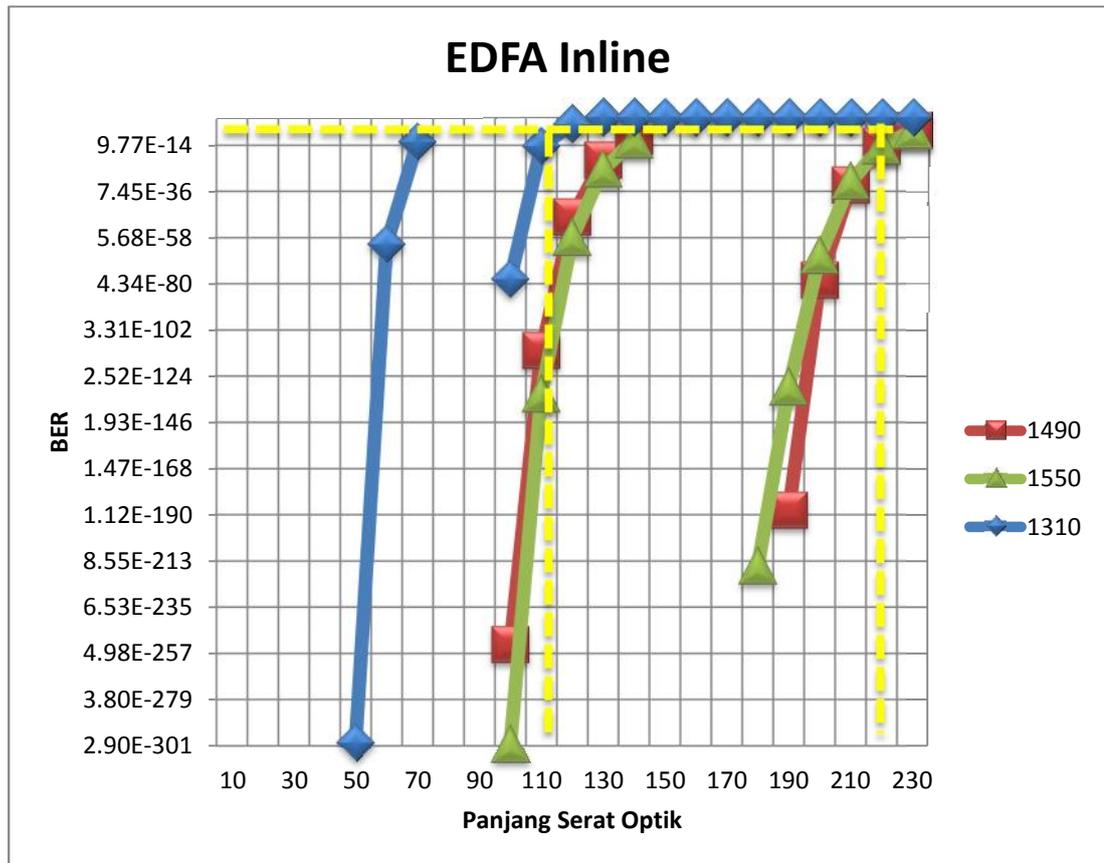
4.3 Performansi *Bit Error Rate* (BER) pada Aplikasi Penguat Optik Jenis *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA)

Penguat optik sangat membantu dalam kinerja sistem komunikasi serat optik, sehingga dengan adanya penguat optik, jangkauan atau jarak transmisi optik dapat diimplementasikan dengan jarak lebih jauh. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab III tentang skenario kerja, skenario kedua pada Tugas Akhir ini adalah memodelkan

sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat EDFA. Penguat EDFA tersebut akan diimplementasikan sebagai *Inline Amplifier* dan *Pre Amplifier*.

4.3.1 Implementasi EDFA sebagai *Inline Amplifier*

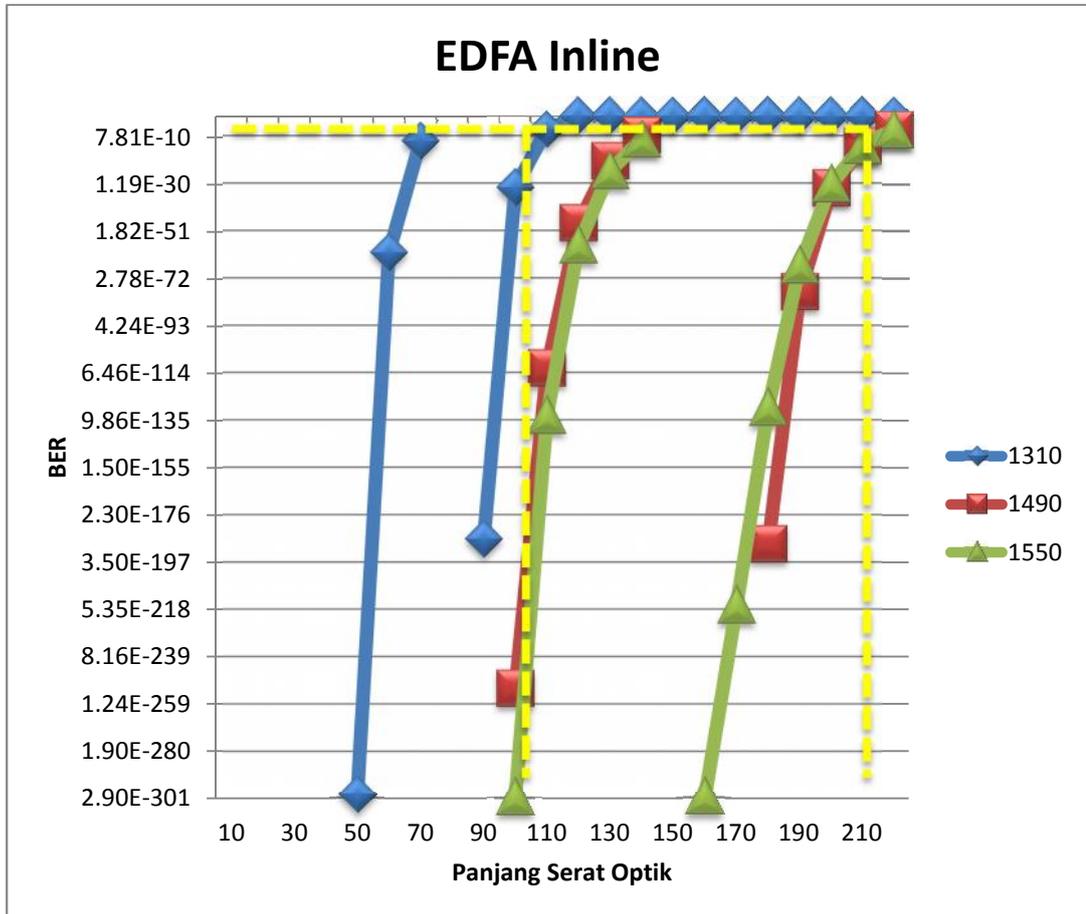
Pada *Inline Amplifier*, penguat diletakkan di tengah-tengah saluran optik. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada sub bab menentukan jarak transmisi maksimum tanpa penguat, jarak maksimum yang bisa dicapai untuk sistem komunikasi optik tanpa menggunakan penguat pada panjang gelombang 1310 nm adalah 70 km, sedangkan untuk panjang gelombang 1490 nm dan 1550 nm adalah 140 km. Sehingga untuk implementasi *Inline Amplifier*, penguat optik diletakkan setelah 70 km pada panjang gelombang 1310 nm, dan setelah 140 km pada panjang gelombang 1490 nm dan 1550 nm. Setelah penguat optik, dibentang lagi serat optik sebelum diterima oleh *photodetector* di ujung penerima. Jadi, peletakan penguat optik pada *Inline Amplifier* adalah di antara serat optik. Gambar berikut menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat EDFA yang diimplementasikan sebagai *Inline Amplifier* dengan Gain 17 dB untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.



Gambar 4.3.a Grafik Perbandingan EDFA *Inline Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik untuk Gain 17 dB

Merujuk pada Gambar 4.3.a dapat disimpulkan untuk panjang gelombang 1310 nm jarak transmisi maksimum sistem komunikasi serat optik dengan penguat EDFA untuk implementasi *inline amplifier* adalah 110 km dengan nilai BER $3,08 \times 10^{-14}$, untuk panjang gelombang 1490 nm jarak transmisi maksimumnya adalah 220 km dengan nilai BER $2,60 \times 10^{-14}$, dan untuk panjang gelombang 1550 nm jarak transmisi maksimumnya adalah 220 km dengan nilai BER $4,19 \times 10^{-14}$.

Gambar berikut menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat EDFA yang diimplementasikan sebagai *Inline Amplifier* dengan Gain 15 dB untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.

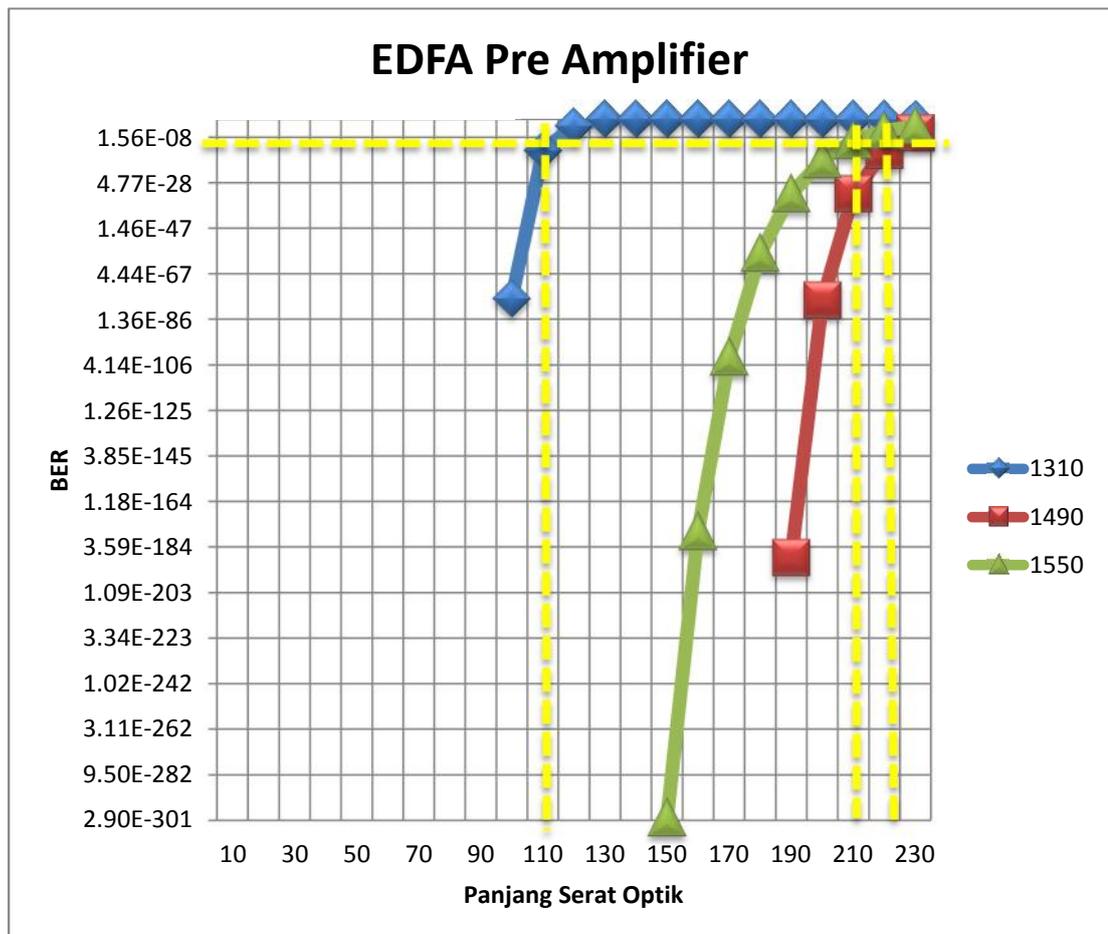


Gambar 4.3.b Grafik Perbandingan EDFA *Inline Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik untuk Gain 15 dB

Berdasarkan Gambar 4.3.b dapat disimpulkan bahwa pada panjang gelombang 1310 nm jarak transmisi maksimum pada sistem komunikasi optik dengan penguat *inline amplifier* adalah 100 km dengan nilai BER $1,38 \times 10^{-32}$, lalu pada panjang gelombang 1490 nm jarak transmisi maksimumnya adalah 210 km dengan nilai BER $2,60 \times 10^{-14}$, sedangkan untuk panjang gelombang 1550 nm jarak transmisi maksimumnya adalah 210 km dengan nilai BER $4,35 \times 10^{-14}$.

4.3.2 Implementasi EDFA sebagai *Pre Amplifier*

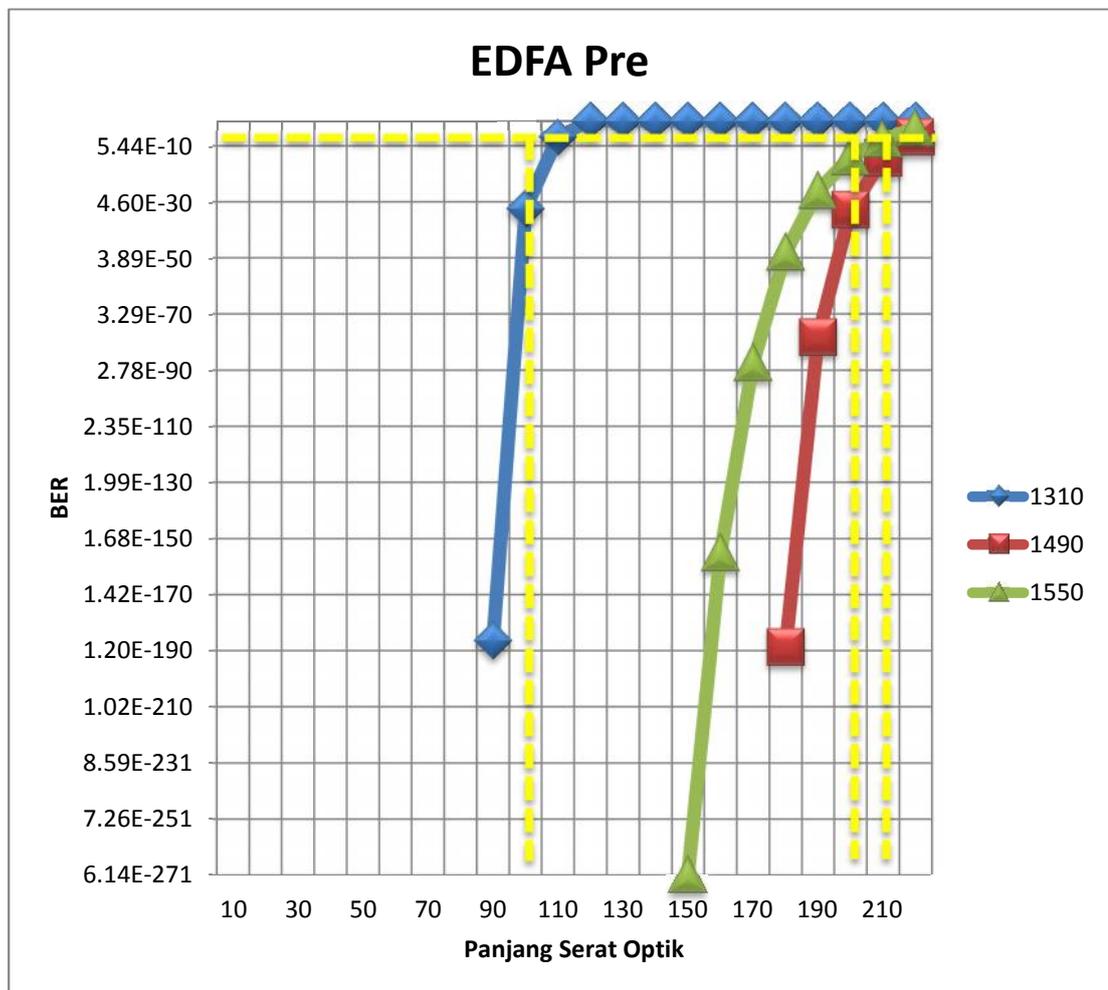
Pre Amplifier adalah jenis penguat optik yang mana penguat optik diletakkan setelah fiber optik atau tepat sebelum penerima. Jadi pada model sistem komunikasi EDFA *pre amplifier* ini penguat akan diletakkan setelah serat optik, dalam hal ini serat optik akan diiterasi sebanyak 25 iterasi dengan panjang per-iterasi adalah 10 km. Sesuai dengan pembahasan pada sub bab sebelumnya bahwa panjang maksimum dari sistem komunikasi tanpa penguat untuk panjang gelombang 1310 adalah 70 km, dan untuk panjang gelombang 1490 dan 1550 adalah 140 km, maka dengan ditambahkannya penguat diharapkan sistem komunikasi ini dapat bekerja lebih maksimal dan dapat menghasilkan jarak yang lebih panjang. Gambar berikut akan menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat EDFA yang diimplementasikan sebagai *Pre Amplifier* dengan Gain 17 dB untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.



Gambar 4.4.a Grafik Perbandingan EDFA *Pre Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik Gain 17 dB

Merujuk dari Gambar 4.4.a maka dapat diketahui untuk panjang gelombang 1310 nm jarak maksimum transmisi pada sistem komunikasi optik dengan implementasi EDFA *pre amplifier* adalah 110 km dengan nilai BER $3,08 \times 10^{-14}$, untuk panjang gelombang 1490 jarak maksimumnya adalah 220 km dengan nilai BER $2,61 \times 10^{-14}$, dan untuk panjang gelombang 1550 nm jarak maksimumnya adalah 210 km dengan nilai BER $4,64 \times 10^{-10}$.

Gambar berikut akan menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat EDFA yang diimplementasikan sebagai *Pre Amplifier* dengan Gain 15 dB untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.



Gambar 4.4.b Grafik Perbandingan EDFA *Pre Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik Gain 15 dB

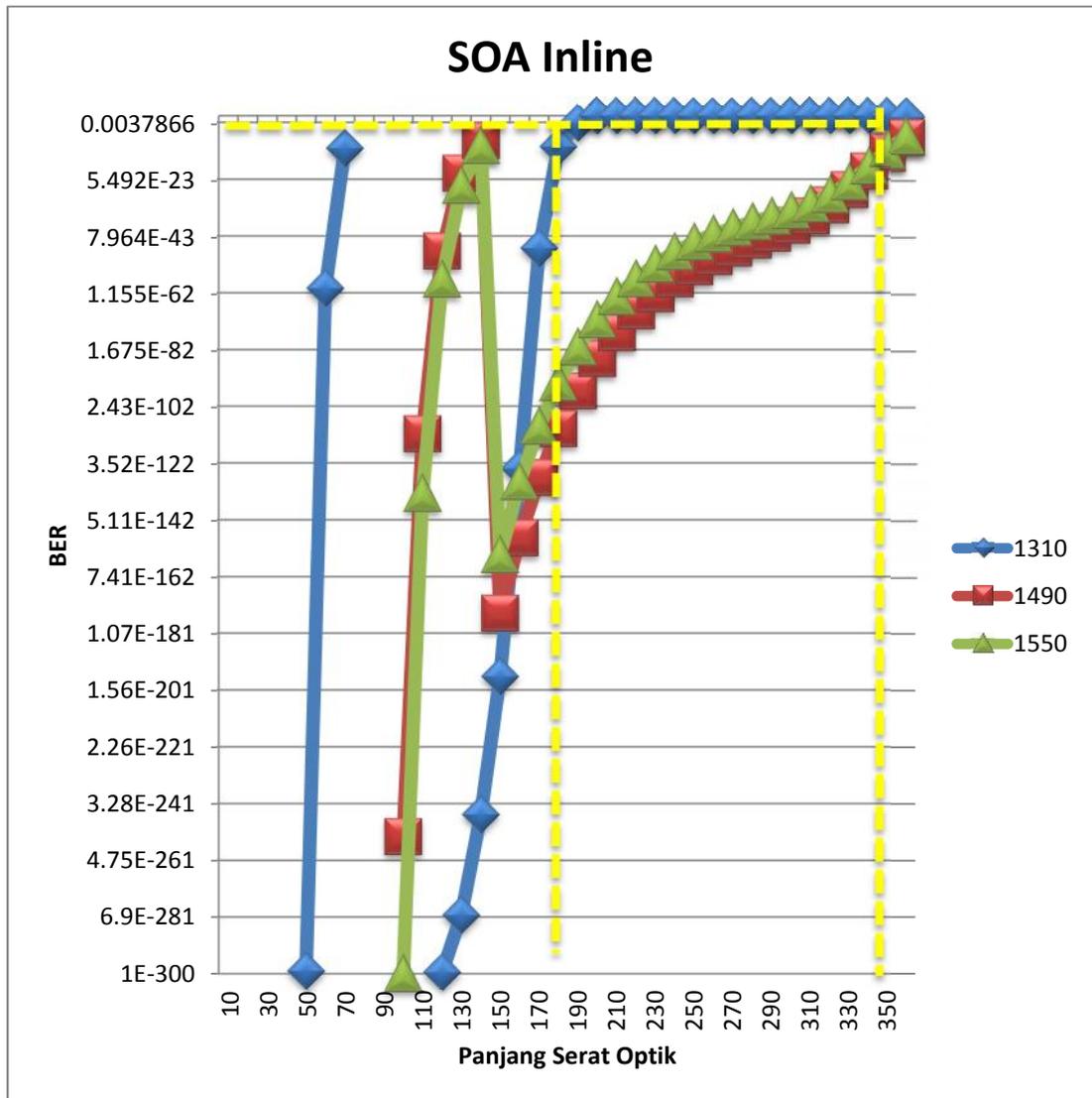
Dengan melihat Gambar 4.4.b di atas maka dapat disimpulkan untuk panjang gelombang 1310 nm jarak maksimum transmisi dari sistem komunikasi optik dengan penguat jenis EDFA *pre amplifier* adalah 100 km dengan nilai BER $1,38 \times 10^{-32}$, lalu untuk panjang gelombang 1490 nm jarak maksimumnya adalah 210 km dengan nilai BER $2,60 \times 10^{-14}$, dan untuk panjang gelombang 1550 nm jarak maksimumnya adalah 200 km dengan nilai BER adalah $5,28 \times 10^{-14}$.

4.4 Performansi *Bit Error Rate* (BER) pada aplikasi Penguat Optik Jenis *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA)

Pada tahapan penelitian yang ini akan dilakukan pemodelan sistem komunikasi serat optik dengan penguat optik jenis SOA. Pada pemodelan tersebut penguat optik diimplementasikan pada *Inline Amplifier* dan *Pre Amplifier*.

4.4.1 Implementasi SOA sebagai *Inline Amplifier*

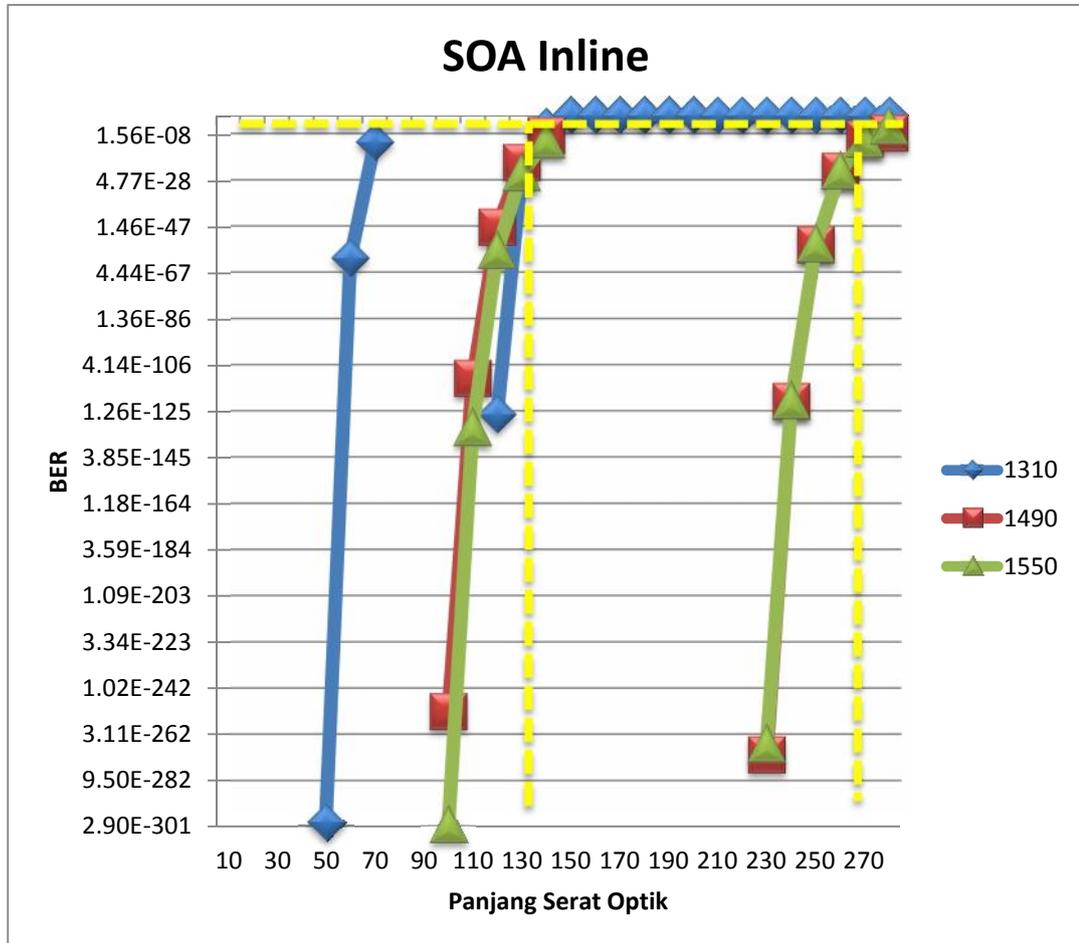
Inline amplifier adalah implementasi dari penguat optik yang mana penguat tersebut diletakkan diantara dua serat optik pada sistem komunikasi serat optik. Samahalnya dengan EDFA pada SOA ini penguat akan diletakkan setelah 70 km pada panjang gelombang 1310 nm, dan setelah 140 km pada panjang gelombang 1490 nm dan 1550 nm. Setelah penguat optik, dibentang lagi serat optik sebelum diterima oleh *photodetector* di ujung penerima. Jadi, peletakan penguat optik pada *Inline Amplifier* adalah di antara serat optik. Gambar berikut menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat SOA yang diimplementasikan sebagai *Inline Amplifier* dengan Gain 17 dB untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.



Gambar 4.5.a Grafik Perbandingan SOA *Inline Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik Untuk Gain 17 dB

Merujuk pada Gambar 4.5.a di atas maka dapat disimpulkan pada panjang gelombang 1310 nm jarak maksimum transmisi untuk sistem dengan penguat SOA *inline amplifier* adalah 180 km dengan nilai BER adalah $1,32 \times 10^{-11}$, lalu untuk panjang gelombang 1490 nm jangkauan maksimumnya adalah 350 km dengan nilai BER $2,38 \times 10^{-13}$, dan untuk panjang gelombang 1550 nm jangkauan maksimumnya adalah $2,11 \times 10^{-11}$.

Gambar berikut menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat SOA yang diimplementasikan sebagai *Inline Amplifier* dengan Gain 15 dB untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.

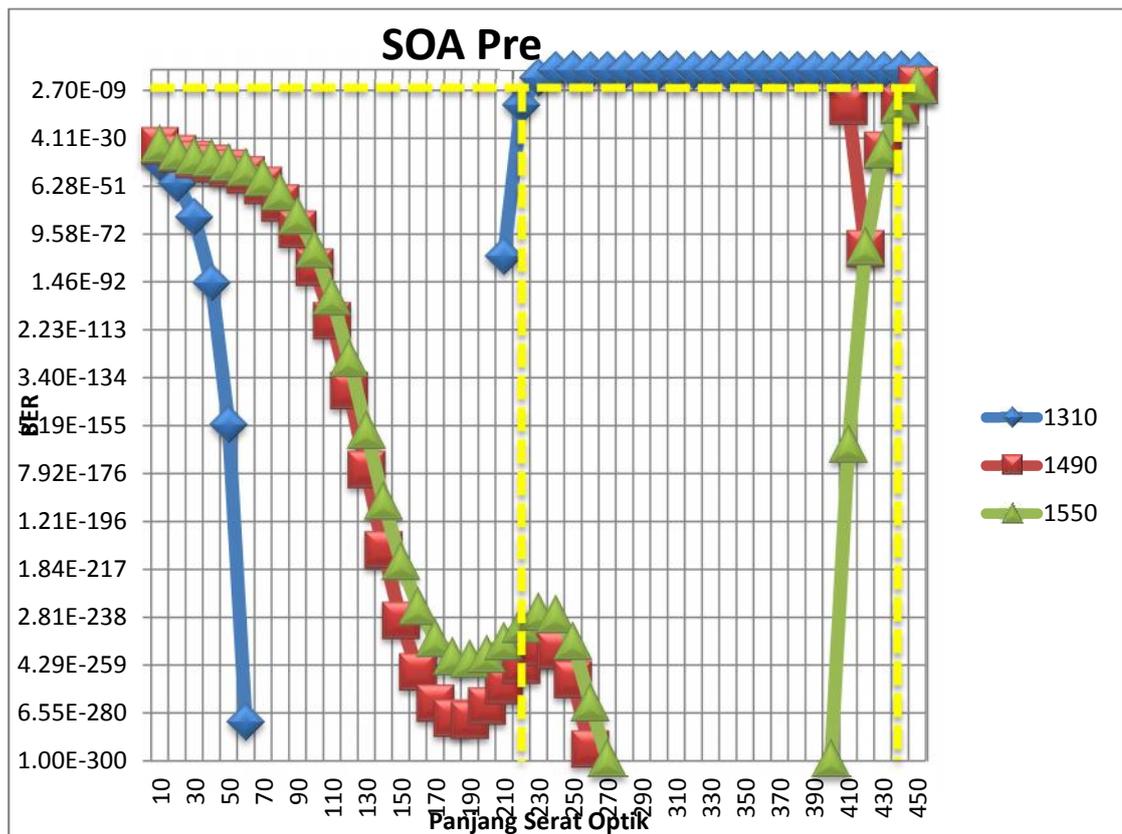


Gambar 4.5.b Grafik Perbandingan SOA *Inline Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik Untuk Gain 15 dB

Dari Gambar 4.5.b di atas dapat disimpulkan bahwa pada panjang gelombang 1310 nm jarak maksimum dari sistem komunikasi tersebut adalah 130 km dengan nilai BER $7,98 \times 10^{-24}$, lalu untuk panjang gelombang 1490 jarak maksimumnya adalah 270 km dengan nilai BER $4,82 \times 10^{-11}$, dan panjang gelombang 1550 jarak maksimumnya adalah 270 km dengan nilai BER $5,03 \times 10^{-11}$.

4.4.2. Implementasi SOA sebagai *Pre Amplifier*

Pada model sistem komunikasi SOA *pre amplifier* ini penguat akan diletakkan setelah serat optik, dalam hal ini serat optik akan diiterasi sebanyak 45 iterasi dengan panjang per-iterasi adalah 10 km. Gambar berikut akan menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat SOA yang diimplementasikan sebagai *Pre Amplifier* untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.

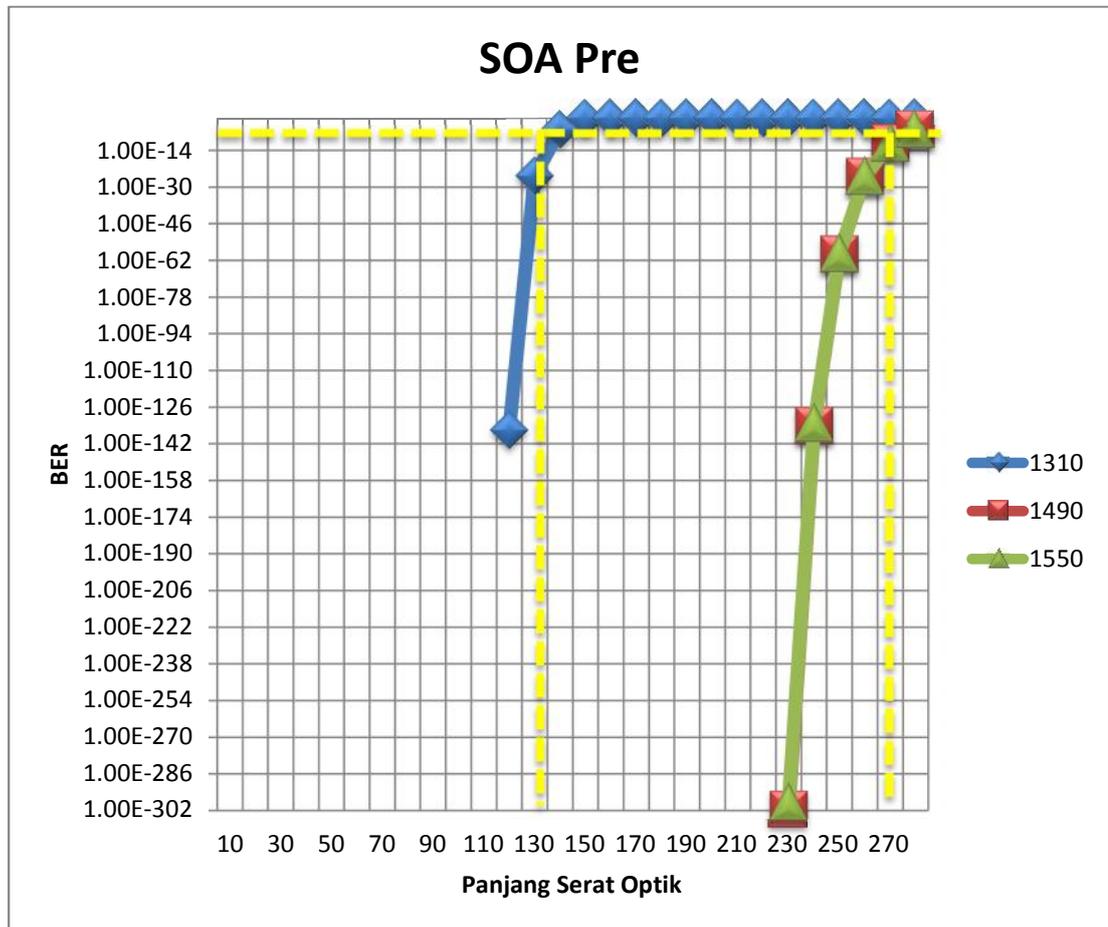


Gambar 4.6.a Grafik Perbandingan SOA *Pre Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik untuk Gain 17 dB

Melihat dari Gambar 4.6.a di atas maka diketahui pada panjang gelombang 1310 nm jarak maksimum transmisinya adalah 220 km dengan nilai BER $1,44 \times 10^{-15}$, lalu pada panjang gelombang 1490 nm jarak maksimumnya adalah 440 km dengan nilai BER $9,44 \times 10^{-16}$, dan pada panjang gelombang 1550 nm jarak maksimumnya adalah 440 km dengan nilai BER $1,06 \times 10^{-15}$.

Gambar berikut akan menampilkan nilai BER sistem komunikasi optik dengan menggunakan penguat SOA yang diimplementasikan sebagai *Pre Amplifier*

dengan Gain 15 dB untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.



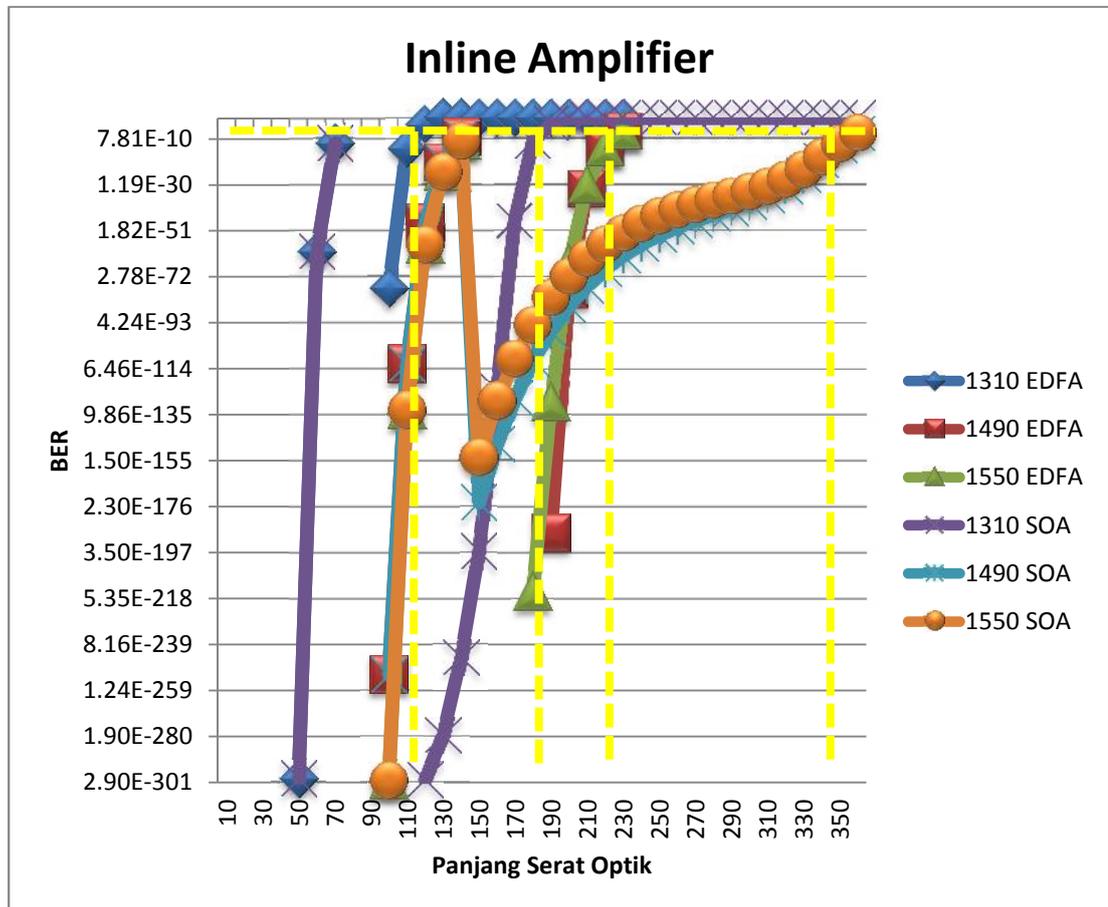
Gambar 4.6.b Grafik Perbandingan SOA *Pre Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik untuk Gain 15 dB

Melihat dari Gambar 4.6.b di atas maka diketahui untuk panjang gelombang 1310 nm jarak transmisi maksimum dari sistem komunikasi optik tersebut adalah 130 km dengan nilai BER $9,06 \times 10^{-26}$, lalu untuk panjang gelombang 1490 nm jarak maksimum transmisinya adalah 270 km dengan nilai BER $1,20 \times 10^{-11}$, dan untuk panjang gelombang 1550 nm jarak maksimum transmisinya adalah 270 km dengan nilai BER $1,19 \times 10^{-11}$.

4.5 Perbandingan EDFA dengan SOA

Setelah pada sub bab sebelumnya dijelaskan untuk setiap model sistem dengan penguat EDFA dan SOA maka pada sub bab ini akan dilakukan perbandingan antara kedua jenis penguat untuk implementasi *inline amplifier* dan *pre amplifier*.

Gambar berikut akan menampilkan perbandingan nilai BER pada sistem komunikasi optik dengan menggunakan kedua jenis penguat yang diimplementasikan sebagai *Inline Amplifier* untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.

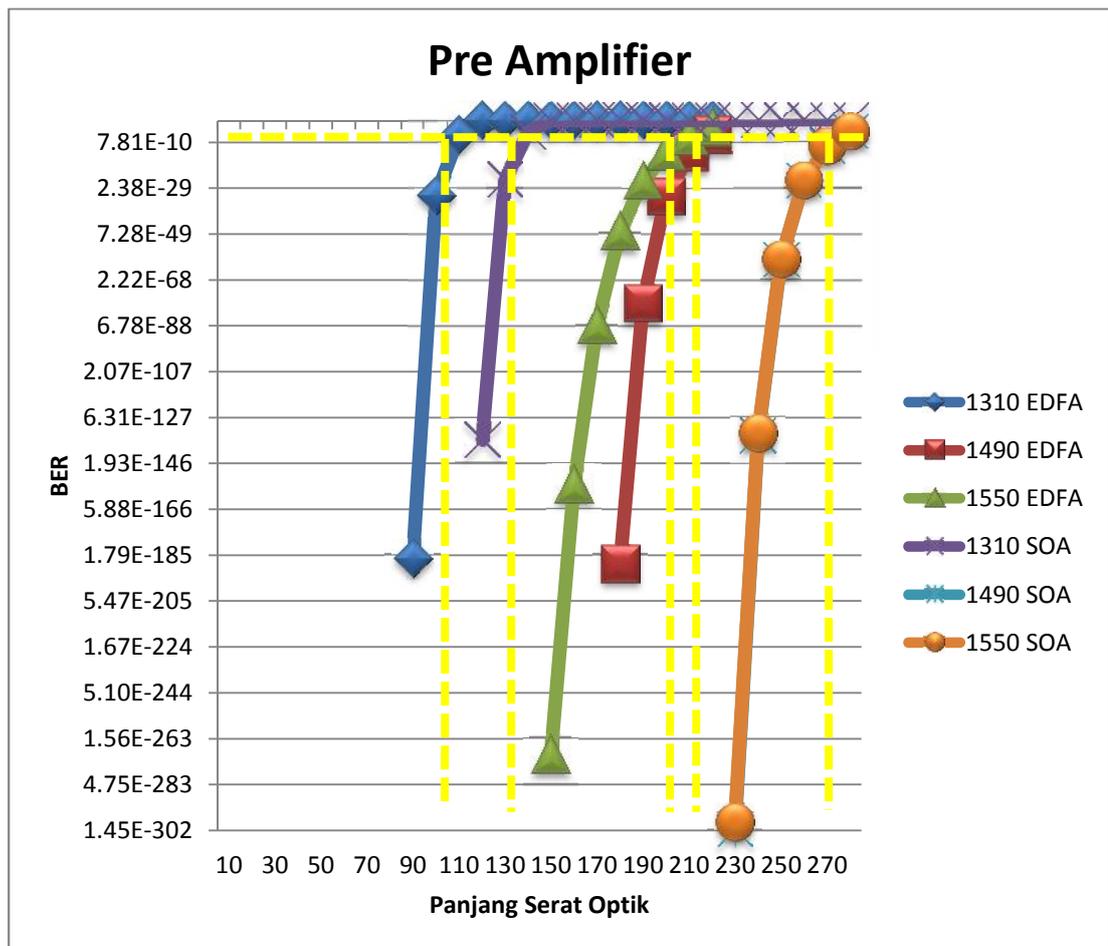


Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Implementasi *Inline Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik

Dengan memperhatikan Gambar 4.7 di atas dapat diketahui pada panjang gelombang 1310 nm sistem komunikasi dengan penguat SOA mempunyai jarak transmisi yang lebih jauh dibandingkan dengan sistem dengan penguat EDFA, dimana jarak maksimum pada sistem komunikasi dengan penguat SOA adalah 180 km sedangkan jarak maksimum pada sistem komunikasi dengan penguat EDFA hanya 110 km. Samahalnya dengan panjang gelombang 1310 nm, pada panjang gelombang 1490 dan 1550 nm sistem komunikasi dengan penguat SOA mempunyai jarak transmisi yang lebih jauh dibandingkan dengan sistem komunikasi dengan

penguat EDFA, itu terlihat dari jarak maksimum pada penguat SOA adalah 350 km sedangkan pada penguat EDFA hanya 180 km.

Gambar 4.8 berikut akan menampilkan perbandingan nilai BER pada sistem komunikasi optik dengan menggunakan kedua jenis penguat yang diimplementasikan sebagai *Pre Amplifier* untuk beberapa jarak transmisi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm, 1490 nm, dan 1550 nm.



Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Implementasi *Pre Amplifier* Terhadap Panjang Serat Optik

Dari Gambar 4.8 di atas dapat disimpulkan pada panjang gelombang 1310 nm sistem dengan penguat SOA mempunyai jarak transmisi maksimum yang lebih jauh daripada sistem dengan penguat EDFA. Begitupun pada panjang gelombang 1490 nm dan 1550 nm sistem dengan penguat SOA mempunyai jarak transmisi maksimum yang lebih jauh dibandingkan dengan sistem dengan penguat EDFA.

4.6 Perfomansi *Power Link Budget*

Power Link Budget merupakan parameter yang menentukan daya sinyal informasi yang diterima pada bagian penerima. Nilai daya yang dihasilkan menentukan kualitas dari sistem tersebut.

Berikut adalah validasi dari hasil pengukuran daya *input* ke serat optik sampai dengan daya yang diterima pada *photodetector* tanpa menggunakan penguat optik yang diukur dengan menggunakan *Optical Power Meter* dan *Electical Power Meter*. Daya yang diinputkan ke dalam LASER pada panjang gelombang 1550 nm adalah sebesar 0 dBm atau 1 mW.

Setelah melalui MZM (*Mach Zender Modulator*) daya menjadi berkurang menjadi -3,1 dBm. Hal ini disebabkan karena pengaruh redaman dari perangkat MZM tersebut. Setelah melewati MZM, sinyal akan kembali melewati serat optik sepanjang 10 km hingga 140 km. Pada jarak 140 km, daya sinyal mengalami penurunan atau redaman sebesar 28 dB. Redaman ini terjadi karena pengaruh panjang serat optik, dimana secara matematis dapat dilihat :

$$\begin{aligned} \text{Total Redaman} &= 0,2\text{dB/km} \times \text{panjang serat optik} \\ &= 0,2 \text{ dB/km} \times 140 \text{ km} \\ &= 28 \text{ dB} \end{aligned}$$

Setelah melewati serat optik maka sinyal informasi tersebut akan ditransmisikan menuju *photodetector*. Sinyal informasi tersebut akan diterima oleh *photodetector* dengan nilai sebesar -77,596 dBm.

Berikut adalah Tabel perbandingan daya terima untuk sistem komunikasi optik terhadap panjang serat optik untuk panjang gelombang yang berbeda-beda.

Tabel 4.2 Perbandingan Konsumsi Daya

Panjang Gelombang []	Implementasi	Optical Amplifier	Jarak	Daya Terima
1310	Inline	EDFA	100	-24,11
		SOA	100	-17,22
	Pre	EDFA	100	-8,78
		SOA	100	-17,16
1490	Inline	EDFA	210	-22,11

		SOA	210	-19,26
	Pre	EDFA	210	-8,80
		SOA	210	-19,16
1550	Inline	EDFA	210	-22,11
		SOA	210	-19,27
	Pre	EDFA	200	-8,78
		SOA	200	-17,16

Dari Tabel 4.2 di atas terlihat bahwa pada panjang gelombang 1310, 1490, dan 1550 nm untuk implementasi *inline amplifier*, konsumsi daya sistem dengan penguat SOA lebih kecil dibandingkan dengan sistem yang menggunakan penguat EDFA. Sedangkan pada sistem dengan implementasi *pre amplifier*, konsumsi daya sistem untuk panjang gelombang 1310, 1490, dan 1550 nm dengan penguat EDFA memerlukan konsumsi daya yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem yang menggunakan penguat SOA.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan pada penelitian Tugas Akhir ini yaitu :

1. Jarak transmisi maksimum sistem komunikasi optik tanpa penguat adalah 70 km untuk panjang gelombang 1310 nm, 140 km untuk panjang gelombang 1490 dan 1550 nm.
2. Jarak transmisi maksimum sistem komunikasi optik dengan penguat EDFA implementasi *inline amplifier* adalah 110 km untuk panjang gelombang 1310 nm, 220 km untuk panjang gelombang 1490 dan 1550 nm.
3. Jarak transmisi maksimum sistem komunikasi optik dengan penguat EDFA implementasi *pre amplifier* adalah 110 km untuk panjang gelombang 1310 nm, 220 km untuk panjang gelombang 1490 nm, dan 210 km untuk panjang gelombang 1550 nm.
4. Jarak transmisi maksimum sistem komunikasi optik dengan penguat SOA implementasi *inline amplifier* adalah 180 km untuk panjang gelombang 1310 nm, 350 km untuk panjang gelombang 1490 dan 1550 nm.
5. Jarak transmisi maksimum sistem komunikasi optik dengan penguat SOA implementasi *pre amplifier* adalah 220 km untuk panjang gelombang 1310 nm, 440 km untuk panjang gelombang 1490 dan 1550 nm.
6. Dengan gain yang sama, jarak transmisi sistem komunikasi dengan penguat SOA lebih jauh dibandingkan dengan sistem komunikasi dengan penguat EDFA.
7. Dengan daya input sistem yang sama dan jarak transmisi yang sama konsumsi daya pada sistem komunikasi optik dengan penguat SOA lebih kecil dibandingkan dengan sistem komunikasi optik dengan penguat EDFA untuk implementasi *inline amplifier* dan untuk implementasi *pre amplifier* konsumsi daya pada sistem dengan penguat EDFA lebih kecil dibandingkan dengan konsumsi daya pada sistem dengan penguat SOA.

5.2 Saran

Untuk lebih menyempurnakan penelitian yang telah dibuat dan untuk melakukan penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang perlu dilakukan :

1. Pada penelitian selanjutnya dapat meneliti penguatan pada SOA dengan jenis material yang lain.
2. Penelitian selanjutnya dapat menganalisis efek FWM pada sistem komunikasi optik dengan penguat SOA.
3. Penelitian selanjutnya dapat menganalisis penggunaan WDM PON pada sistem komunikasi optik dengan penguat SOA.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Abd El Aziz, et al. "*Optimization of the Key SOA Parameters for Amplification and Switching*", ISBN: 978-1-902560-19-9, PGNet, 2008.
- Agrawal, Govind P. "*Fiber-Optic Communication Systems*. Edisi 3, A Jhon Wiley & Sons, Inc, Publication. 2002
- Baharuddin. "Evaluasi Penerapan Penguat Optik EDFA-RAMAN Pada Sistem Komunikasi Fiber Optik," No. 29 Vol. 2 Thn. XV, April 2008
- Connelly, Michael. "*Semiconductor Optical Amplifier*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 2002
- Endra, "Pengenalan Sistem Komunikasi Serat Optik" [Online] Available (<http://lab.binus.ac.id/pk/artikelread.asp?idl=16&action=down>), diakses 05 Maret 2012
- Mahad, Farah Diana et al, "Review Of Semiconductor Optical Amplifier (SOA) Funtionalities," Jurnal Teknologi, 55 hal. 85-96, 2011
- Mangiwa, Sary S. *Analysis and Simulation of Mach Zehnder Modulator for Video Information Signal Transmission Using BPSK and QPSK Modulation*. Institut Teknologi Telkom. www.itelkom.ac.id/staf/hbl/jurnal/journalsari.pdf (diakses 05 September 2012)
- Norizan. "*Investigation Of Stimulated Brillouin Scattering For The Generation Of Millimeter Wave For Radio Over Fiber System*," Universiti Teknologi Malaysia, 2008.
- OptiSystem (http://www.optiwave.com/pdf/brochure/OptiSystem_2009.pdf), diakses 05 Maret 2012
- Pramono, Sholeh Hadi dkk, "Perataan Penguatan Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) C-Band dengan Metode Pengaturan Daya Sinyal Masukan Pada Daya Pompa Tetap," Vol. 33 No.1, Januari 2009
- PT. Telekomunikasi Indonesia. "*Optical Access Network*," TELKOMRISTI, Bandung. 2004
- Samijayani, Octarina Nur."Aplikasi Inline Amplifier EDFA Pada Sistem Transmisi Panjang Gelombang Tunggal dan Transmisi Berbasis WDM"eII. 21-23 Mei 2008
- Sembiring, Daniel, "*Analisis Karakteristik Transmisi Optik Menggunakan Perangkat DWDM (Studi Kasus Pada PT. INDOSAT)*" [Online] Available([http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30194/4/Chapter %20II.pdf](http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30194/4/Chapter%20II.pdf)), diakses tanggal 09 Maret 2012

- Sitepu, Leo Kharismanta. "*Analisis Penguat Raman Pada Serat Optik Single-Mode G.652 dan G.655*" [Online] Available (http://digilib.ittelkom.ac.id/index.php?option=com_repository&Itemid=34&task=detail&nim=111017389), diakses tanggal 05 Maret 2012
- Sunarto, "Pengenalan Optical Amplifier Di Dalam Sistem Komunikasi Optik," Vol. 4, No. 2, Hal. 17-24, Februari 2005
- Utreja, Bhawana. "A Review Paper on Comporison of Optical Amplifiers in Optical Communications Systems". Vol.2, No.11, November 2011.

