

PERTIMBANGAN PENGGUNAAN PENGUAT (AMPLIFIER) PADA JARINGAN SERAT OPTIK

Ujang Wiharja ¹

Abstrak - Saat ini sistem optik diarahkan untuk penggunaan komunikasi jarak-jauh (*longhaul communications*) atau jaringan utama (*back-bone*) telekomunikasi, saluran pelanggan kapasitas tinggi (*high capacity subscriber-loop plant*), sistem TV kabel, HFC serta penggunaan militer. Untuk keberhasilan suatu sistem diperlukan adanya disain atau perancangan awal, ada hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain ini. Ini semua akan dibahas dalam penulisan ini.

Kata Kunci – sistem optik, komunikasi, desain

Abstract - Currently, the optical system is directed to the use of long-distance communication (*longhaul communications*) or the main network (*backbone*) telecommunication subscriber line high-capacity (*high capacity subscriber-loop plant*), cable TV systems, HFC and military use. For the success of a system it is necessary to design or preliminary design, there are things - things that need to be considered in designing this. This will all be discussed in this paper.

Index Terms – optic system, communication, design

I. PENDAHULUAN

Pada sistem komunikasi serat optik untuk transmisi jarak jauh, telah menjadikan amplifier sebagai komponen utamanya. Hal ini karena adanya keuntungan dari amplifier tersebut seperti dapat mengurangi efek dispersi dan attenuasi sehingga dapat meningkatkan system komunikasi jarak jauh serat optik. Lebih jauh lagi untuk mencapai target kebutuhan yang diciptakan oleh orientasi aplikasi pengembangan bisnis, system yang akan datang harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

a. Transmisi dengan kapasitas data yang lebih tinggi melalui pengembangan bit rates kanal dan sejumlah saluran *wavelength-multiplexed*.

b. Pengurangan biaya dengan memperpanjang jarak antar amplifier.

c. Mengurangi distorsi sinyal untuk meningkatkan jarak transmisi

Penguat ada dua macam, yaitu penguat secara elektronik dan penguat secara optik. Dalam penguat elektronik, sinyal optik diubah dulu dalam bentuk elektronik dan diperkuat secara elektronik, selanjutnya diubah lagi secara optik untuk ditransmisikan melalui serat optik. Dalam penguat optik, dimana sinyal optik langsung diperkuat dalam serat optik tanpa mengubah menjadi sinyal listrik terlebih dahulu. Kegunaan dari optikal amplifier yaitu

a. Power Booster sebagai penguat sumber optik, terutama tuneable laser.

¹ Dosen Teknik Elektro Universitas Krisnadwipayana

- b. In-Line Amplifier, sebagai penguat sinyal di fiber.
- c. Wavelength Conversion.
- d. Receiver Preamplifier, dipasang didepan detektor untuk meningkatkan sensitifitas.

2. PERTIMBANGAN OPTICAL AMPLIFIER

Desain sistem transmisi haruslah mempertimbangkan kriteria

- a. Apakah dibutuhkan *optical amplifier*.
- b. Apabila dibutuhkan dimana amplifier tersebut diletakkan; apakah sebagai penguat daya, sebagai penguat di saluran atau penguat di penerima.
- c. Ketika system membutuhkan pertimbangan daya yang besar berapa banyak amplifier yang digunakan dan diletakan dimana.

3. TEORI SINGKAT SERAT OPTIK

Komponen utama pada sistem komunikasi serat optik adalah *transmitter* (pemancar) sebagai sumber atau pengirim sinyal fotonik, serat optik sebagai media transmisi dan *receiver* (penerima) sebagai komponen penerima sinyal fotonik yang dikirim oleh *transmitter*. Komponen-komponen tersebut dapat

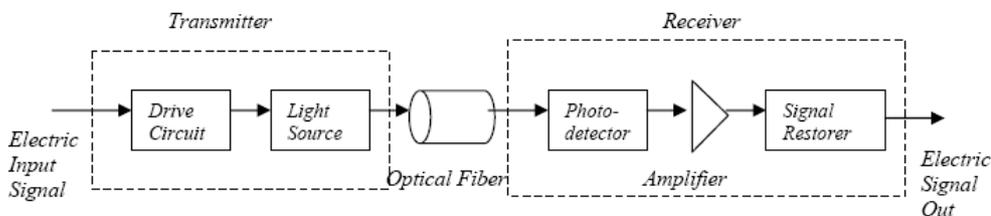
dilihat pada Gambar 1, Sistem komunikasi serat optik juga membutuhkan komponen-komponen tambahan seperti *amplifier* untuk mengatasi rugi-rugi transmisi dikarenakan panjangnya serat optik yang digunakan dan konfigurasi sistem jaringan komunikasi fotonik. Selain itu ada pula *splicing*, *splitter* yang dipasang untuk berbagai keperluan lainnya. Sistem komunikasi serat optik secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.

Secara sistem, fungsi yang dilakukan link transmisi komunikasi optik meliputi 3 hal :

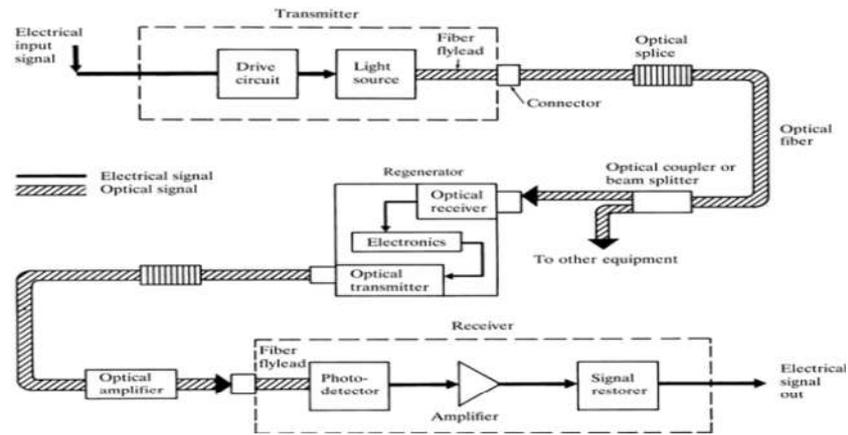
1. Mengubah sinyal input listrik ke bentuk sinyal cahaya (optik) di pemancar
2. Mengirimkan sinyal cahaya ke serat-optik (*optikal fiber*)
3. Mengubah kembali sinyal optik ke sinyal listrik di penerima

Ketiganya bekerja-sama untuk mengirimkan informasi dengan kecepatan setinggi-tingginya dan kesalahan sekecil-kecilnya.

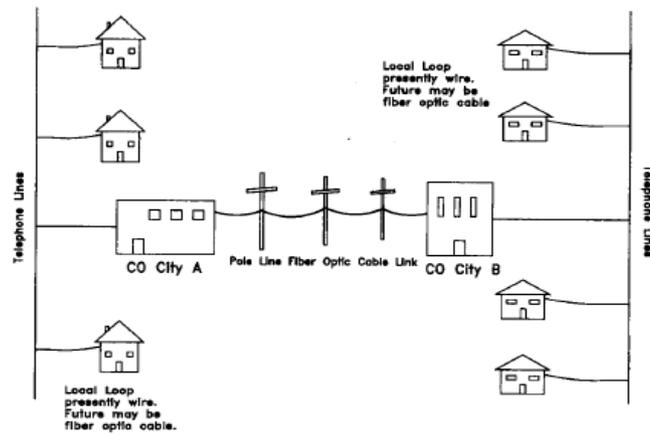
Saat ini sistem optik diarahkan untuk penggunaan komunikasi jarak-jauh (*longhaul communications*) atau jaringan utama (*back-bone*) telekomunikasi, saluran pelanggan kapasitas tinggi (*high capacity subscriber-loop plant*), sistem TV kabel, HFC serta penggunaan militer. Contoh aplikasi sistem serat optik dapat dilihat pada Gambar 3.



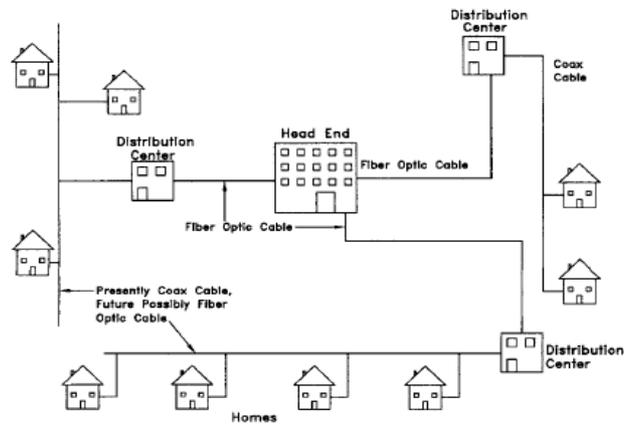
Gambar 1. Bagan Komunikasi Serat Optik



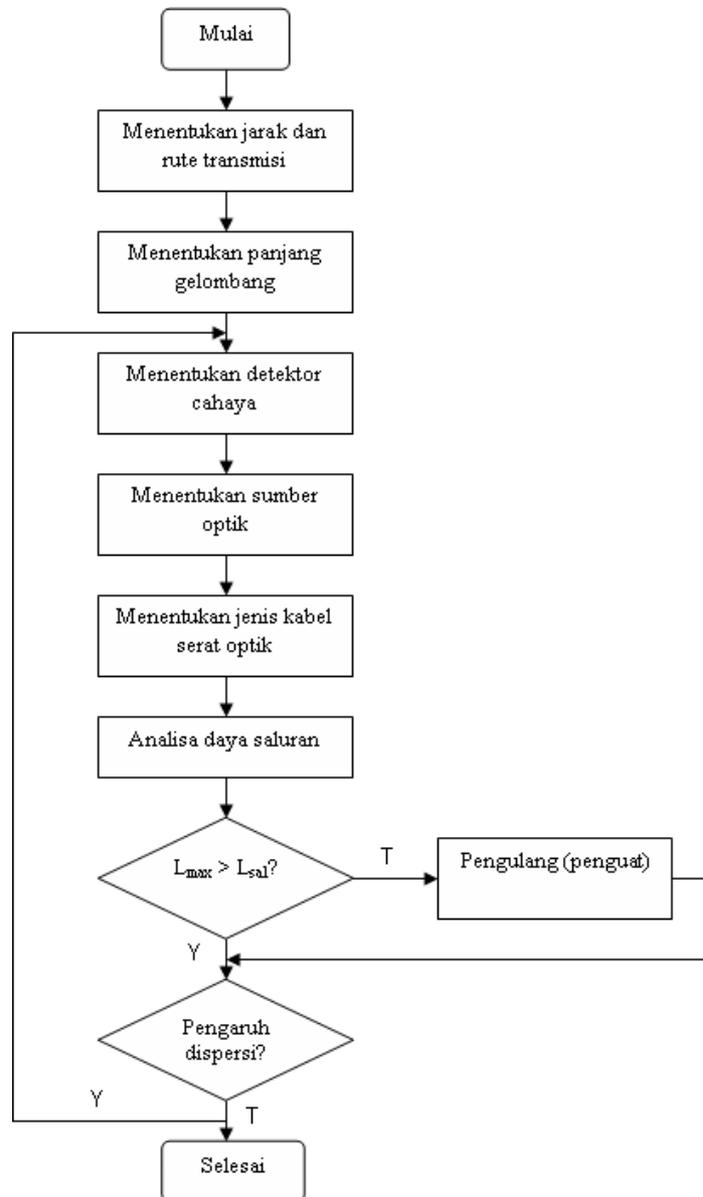
Gambar 2. Link Transmisi Komunikasi Optik



Gambar 3a. Sistem Antar Sentral



Gambar 3b. Sistem TV kabel



Gambar 4. Diagram Alir Perencanaan Komunikasi Serat Optik

Untuk mendesain sistem komunikasi serat optik, ada beberapa langkah-langkah yang harus diperhatikan yang ditunjukkan oleh diagram alir seperti pada Gambar 4.

Dari diagram alir tersebut, secara umum dapat dijelaskan pertama kali harus ditentukan

terlebih dahulu berapa jarak yang akan dipasang serat optik, kemudian menentukan panjang gelombang berapa yang akan digunakan. Panjang gelombang yang dapat melewati serat optik berkisar antara 800 – 1800 nm. Untuk jarak yang pendek digunakan panjang

gelombang yang lebih pendek (biasanya 850 nm) dan untuk jarak yang jauh biasanya dipilih panjang gelombang 1300 atau 1500 nm.

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis detektor cahaya yang digunakan. Detektor tersebut akan menerima cahaya dan kemudian mengubah variasi-variasi daya optik menjadi variasi arus listrik. Jenis detektor cahaya yang biasa digunakan adalah PIN detektor dan Avalanche Photodiode (APD). Detektor harus mempunyai kepekaan tinggi, waktu tanggapan pendek, ukuran kecil, handal, dan ekonomis.

Setelah detektor cahaya ditentukan maka selanjutnya ditentukan jenis sumber optik. Sumber optik tersebut mengubah arus listrik menjadi energi cahaya sehingga dapat dikopling ke serat sampai ke penerima. Sumber cahaya dipilih berdasarkan pertimbangan bentuk geografis, redaman, panjang gelombang kerja, dan lebar pita (*bandwidth*). Yang umum digunakan adalah *laser diode* (LD) dan *light emitting diode* (LED).

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis serat optik. Serat optik secara umum dibedakan atas *monomode* (mode tunggal) dan *multimode* (mode jamak). Selain itu juga dipilih tipe serat optik yang sesuai dengan panjang gelombang yang digunakan dan juga mempertimbangkan faktor atenuasi dan dispersinya. Setelah itu dilakukan perhitungan daya, jarak maksimum yang dapat dicapai. Jika jarak maksimum kurang dari jarak spesifikasi maka diperlukan pengulang atau penguat. Selanjutnya diperiksa apakah pengaruh dispersinya. Jika pengaruh dispersi besar terhadap kualitas sistem maka

dilakukan lagi pemilihan komponen, karena dispersi dipengaruhi oleh parameter-parameter komponen-komponen sistem tersebut.

Untuk menentukan jarak transmisi yang mungkin dengan spesifikasi peralatan tertentu diperlukan *power budget*. Parameter-parameter yang diperlukan untuk menentukan jarak antar amplifier adalah:

- Karakteristik transmitter
- Rugi pada serat optik
- Sensitivitas receiver
- Margin sistem.

Rugi saluran merupakan satu factor untuk memperkirakan jarak antara *repeater / amplifier*. Rugi-rugi ini meliputi rugi yang dialami sinyal dari pemancar sampai ke penerima/detektor.

Semua menurunkan penguat sinyal-to-noise ratio (SNR) dari sinyal diperkuat karena emisi spontan yang menambahkan suara ke sinyal selama amplifikasi. Itu SNR degradasi adalah diukur melalui parameter F_n , disebut *amplifier noise figure* analogi dengan penguat amplifier elektronik dan didefinisikan sebagai

$$F_n = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}}$$

Dimana SNR mengacu pada daya listrik yang dihasilkan ketika sinyal optik dikonversikan menjadi arus listrik. Secara umum, F_n tergantung pada beberapa parameter detektor yang mengatur noise termal yang terkait dengan detektor. Ungkapan sederhana untuk F_n dapat diperoleh dengan mempertimbangkan detektor yang ideal kinerja yang terbatas oleh (shot

noise). Pertimbangkan sebuah penguat dengan gain G sedemikian rupa sehingga power out dan in dengan $P_{out} = G.P_{in}$. SNR dari sinyal input diberikan oleh

$$(SNR)_{in} = \frac{\langle I \rangle^2}{\sigma_f^2} = \frac{(RP_{in})^2}{2q(RP_{in})\Delta f} = \frac{P_{in}}{2h\nu\Delta f}$$

dimana $\langle I \rangle = R.P_{in}$ adalah rata-rata photocurrent, dengan $R = q / h\nu$ adalah respons ideal sensor cahaya dengan satuan kuantum, dan

$$(SNR)_{out} = \frac{\langle I \rangle^2}{\sigma^2} = \frac{(RGP_{in})^2}{\sigma^2} \approx \frac{GP_{in}}{4S_{sp}\Delta f}$$

Jumlah noise penguat kini dapat diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan.

$$F_n = 2n_{sp}(G - 1)/G \approx 2n_{sp}$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa SNR dari sinyal diperkuat terdegradasi dengan 3 dB bahkan untuk penguat ideal untuk dimana $n_{sp} = 1$. Bagi kebanyakan amplifier praktis, F_n melebihi 3 dB dan dapat sebesar 6-8 dB. Untuk penerapannya dalam sistem komunikasi optik, penguat optik harus memiliki F_n serendah mungkin.

4. PERMASALAHAN

4.1. Kapan optikal amplifier dibutuhkan

Pada sistem transmisi dimana daya transmit dan kebutuhan BER dan SNR ditentukan dan total daya transmisi yang hilang serta daya noise diketahui, maka dapat dihitung

SNR dari penerima tanpa penguatan dapat dihitung dengan rumus yaitu

$$SNR = \frac{(\alpha R M P_{tx})^2}{(NEP^2 + 2q\alpha R P_{tx} M^{2F}) B_e}$$

dimana :

- P_{tx} : daya pada transmitter
- α : total daya transmisi yang hilang
NEP : *Noise Equivalent Power*
- M : gain pada APD
- F : *factor noise* pada APD
- B_e : *bandwidth* pada receiver
- R : Responsivitas penerima

Karena emisi spontan datang bersamaan dengan *optical amplification*, noise ditambahkan ketika sinyal cahaya melalui amplifier. Noise disebutkan sebagai *Amplified Spontaneous Emission (ASE)* akan juga diperkuat didalam system. Kontribusinya terhadap Noise Figure sehingga menyebabkan losses pada SNR (signal to noise ratio).

$$n_{sp} = \frac{N_2}{N_2 - N_1}$$

Noise figure dari penguat optikal

$$SNR \approx \frac{I_{ph}^2}{\sigma_{sig}^2 = ASE} = \frac{P_{in}}{4hfn_{sp}XB} = \frac{N_b}{4n_{sp}X}$$

Bila SNR yang dihitung dengan mempertimbangkan gain APD yang besar masih berada dibawah SNR yang diinginkan, maka dibutuhkan amplifier optikal.

Contoh 1 : *Anggap daya transmisi 10 mW, total daya yang hilang 10 dB, kebutuhan SNR =20 dB. Jika responsivitas penerima $R = 0.5$, $NEP = 0$ dan bandwidth sinyal $B = 100$ MHz, SNR dapat dihitung sebesar :*

$$SNR = \frac{(0.5 \times 10^{-10} \times 0.01)^2}{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.5 \times 10^{-10} \times 100 \times 10^6} = 1.56 \times 10^{-2} F^{-1}$$

SNR yang diinginkan 20 dB = 100, sedangkan hasil perhitungan SNR masih jauh dari yang diinginkan, maka dibutuhkan penguat.

4.2. Dimana amplifier tersebut diletakan

Jika penguat optik dibutuhkan, dimana sebaiknya penguat tersebut diletakan? Karena efek dari gain saturasi, sebaiknya penguat optikal diletakan pada ujung penerima, sehingga efek gain saturasi dapat diminimalkan. Disisi lain, karena noise ASE penempatan penguat pada ujung penerima akan menghasilkan SNR yang kecil karena daya masukan pada persamaan 4.1 menjadi sangat lemah.

Oleh karenanya , untuk menentukan tempat amplifier yang

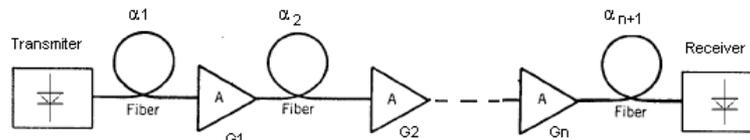
harus diperhatikan pertama kali adalah SNR dari persamaan 4.1 dengan mempertimbangkan SNR menggunakan $P_{in} = \alpha P_{tx}$. Jika memenuhi maka penguat diletakan pada ujung penerima, tetapi jika tidak memenuhi maka penguat dapat diletakan pada sisi tranmitter.

Contoh 2 : Lanjutan dari contoh 1, jika panjang gelombang cahaya adalah $1.5 \mu m$ penguat mempunyai $n_{sp} X = 10$, SNR penerima dari persamaan 4.2 adalah

$$SNR = \frac{10^{-10} \times 10^2 \times 1.55 \times 10^{-6}}{40 \times 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 10^8} = 1.9 \times 10^{-3} = 27 dB$$

Dengan SNR sebesar 1.9×10^{-3} penguat tidak mungkin diletakan pada ujung penerima. Amplifier dapat diletakan pada titik tengah dari link transmisi sebagai penguat saluran. Misalkan noise ASE pada pertengahan transmisi, maka SNR dapat dikuatkan 50 dB jika noise lainnya dapat diabaikan. Maka SNR akhir menjadi 23 dB , melewati SNR yang dibutuhkan yaitu 20dB.

4.3. Berapa banyak amplifier dibutuhkan



Gambar 1.5. Penggunaan serie penguat optikal

Saat sistem membutuhkan daya yang sangat tinggi, penggunaan satu penguat masih belum mencukupi maka dibutuhkan penguat multiple.

Anggap system mempunyai penguat pada gambar 12 sebanyak N dan seksi dari link tranmisinya N+1 dengan attenuasinya sebesar $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n+1}$. Total daya yang hilang (loss) adalah

$$\alpha = \prod_{i=1}^{n+1} \alpha_i$$

Jika gain dari penguat adalah $G^{(i)}$, gain penguat total adalah

$$G_{tot} = \prod_{i=1}^N G^{(i)}$$

Dengan asumsi tersebut, daya sinyal yang diterima adalah

$$P_{in} = P_{tx} \alpha G_{tot}$$

Total kerapatan daya spectral ASE pada titik penerima adalah

$$S_{ASE,tot} = (hf)n_{sp}X \left[\sum_{i=1}^{N-1} (G^{(i)} - 1) \prod_{j=i+1}^N (G^{(j)} \alpha_j) + (G^{(N)} - 1) \alpha_{N+1} \right]$$

Untuk meminimalkan noise $S_{ASE,tot}$ satu dapat membengkokkan seluruh attenuasi pada untuk seksi sebelumnya, atau diatur agar $\alpha_N = \alpha$. Maksudnya membesarkan seluruh penguatan pada sisi *transmitter*, akan tetapi secara praktis tidak bisa dilaksanakan karena adanya saturasi gain.

Oleh karenanya disain praktisnya adalah mendistribusi amplifiier pada jalur transmisi. Jika

ada N amplifiier dapat mendistribusi secara seragam antara tranmsiter dan *receiver*, dengan demikian *losses* daya identik antar amplifiier yang berdekatan. Jika setiap amplifiier juga dianggap mempunyai gain yang sama sebesar G, maka r menjadi

$$r = G\alpha^{1/(N+1)}$$

$$S_{ASE,tot}^{(2)} = E_a (G-1) \alpha^{1/(N+1)} \frac{1-r^N}{1-r} \approx E_a r \frac{1-r^N}{1-r}$$

$$E_a \stackrel{def}{=} (hf)n_{sp}X.$$

SNR penerima selanjutnya

$$SNR^{(2)} = \frac{(R\alpha G^N P_{tx})^2}{\sigma_{ih}^2 + 4R^2 \alpha G^N P_{tx} S_{ASE,tot}^{(N)} B}$$

Menurut rumusan diatas, α , P_{tx} , σ_{ih}^2 , E_a dan penguatan amplifiier G bertambahnya. Sebagai contoh, dari soal sebelumnya, jika N =1 dan SNR receiver tidak dapat memenuhi 20 dB, misalkan sekarang dirancang dengan menggunakan 2 penguat N=2, maka

$$r = 10^{-10/3} 10^3 = 0.46 \text{ dan}$$

$$S_{ASE,tot}^2 = r(1+r)E_a = 8,7x10^{-19}$$

Oleh karenanya

$$SNR^{(2)} = \frac{(0,5x10^{-12} \cdot x10^6)}{1,7x10^{-17} + 10^{-10+6-2+8} \cdot x8,7x10^{-19}}$$

$$= 2400 = 34dB$$

nilai ini lebih besar dari 29 dB.

5. KESIMPULAN

Bila dalam merencanakan jaringan fiber optik ada hal – hal yang perlu diperhatikan

1. Bila SNR yang dihitung dengan mempertimbangkan gain APD yang besar masih berada dibawah SNR yang diinginkan, maka dibutuhkan amplifier optikal
2. Untuk menentukan tempat amplifier yang harus diperhatikan pertama kali adalah SNR dari persamaan 4.1 dengan mempertimbangkan SNR menggunakan $P_m = \alpha P_x$. Jika memenuhi maka penguat diletakan pada ujung penerima, tetapi jika tidak memenuhi maka penguat dapat diletakan pada sisi tranmitter.
3. Jika ada N amplifier dapat mendistribusi secara seragam antara tranmsiter dan *receiver*, dengan demikian *losses* daya identik antar amplifier yang berdekatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gerd Keiser. 'Optical Fiber Communications', 2nd edition, McGraw-Hill Inc., Singapore. 1993
- [2] Govind P. Agrawal. 'Fiber – Optic Communications System' Third Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc.2002
- [3] Joseph C. Palais 'Pengenalan Sistem Komunikasi Serat Optik'
<http://www.howstuffworks.com> , <http://www.tpub.com>