
PENGUNAAN SERAT OPTIK RAGAM TUNGGAL UNTUK TRANSMISI DATA PENGUKURAN

Tom Budi Waluyo dan Agus Suheri

Pusat Penelitian Fisika – LIPI
Kawasan PUSPIPTEK
Serpong 15314
E-mail: tomibudiwaluyo@lipi.fisika.net

ABSTRAK

Serat optik, baik yang ragam tunggal maupun ragam jamak, telah ekstensif digunakan sebagai saluran transmisi menggantikan kabel tembaga. Keuntungan penggunaan serat optik antara lain adalah kekebalan data yang ditransmisikannya terhadap gangguan elektromagnetik. Faktor redaman cahaya oleh serat optik pun sangat kecil (~ 0.4 dB/km @ $1.3 \mu\text{m}$) dan tak ada efek kapasitansi seperti pada kabel koaksial sehingga baik digunakan pada sistem telemetri. Pada makalah ini diuraikan penggunaan serat optik ragam tunggal sepanjang 10 km untuk mentransmisikan data pengukuran yang berasal dari suatu sensor (dalam hal ini berupa penyidik ultrasonik). Data pengukuran berupa sinyal listrik dari penyidik ultrasonik tersebut digunakan untuk memodulasi secara analog suatu laser diode yang cahayanya ditransmisikan oleh serat optik ke suatu detektor cahaya. Detektor ini akan mengubah sinyal optik (cahaya) menjadi sinyal listrik yang setelah diperkuat maka data pengukuran yang ditransmisikan tadi dapat diperoleh. Sistem transmisi data pengukuran menggunakan serat optik ini cocok digunakan pada daerah yang rawan akan percikan bunga-api listrik di lingkungan pabrik/industri.

Kata kunci: Serat optik ragam tunggal, transmisi data pengukuran, penyidik ultrasonik.

ABSTRACT

Optical fibre, both single mode and multi mode, has been extensively used for transmission line replacing copper wire. The advantage of using optical fibre, among others, is the immunity of the transmitted data from electromagnetic interferences. The attenuation of light by the fibre is also low (~ 0.4 dB/km @ $1.3 \mu\text{m}$) and there is no capacitance effect as in coaxial cable so that it is good to be used in a telemetry system. In this paper we describe the application of ten kilometres single mode optical fibre to carry measurement data from a sensor (an ultrasonic probe, in this case). The measurement data in the form of electrical signal from the ultrasonic probe is used to analog modulate a laser diode whose light is transmitted via the fibre to a light detector. This detector will convert the optical signal (light) to electrical signal and after amplification the measurement data can be recovered. This data measurement transmitting system using optical fibre is suitable to be used at a spark prone area in manufacture/industry sites.

Keywords: Single mode optical fibre, measurement data transmission, ultrasonic probe

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini serat optik telah populer dan ekstensif digunakan untuk saluran transmisi sebagai pengganti ataupun komplemen kabel tembaga. Serat optik ragam tunggal yang mempunyai diameter inti/*core* sekitar 10 μm dan diameter selubung/*cladding* 125 μm umum digunakan pada sistem telekomunikasi, sedangkan serat optik ragam jamak dengan diameter inti sekitar 50 μm dan diameter selubung 125 μm biasa digunakan pada sistem jaringan lokal/*local area network*, LAN. Keuntungan penggunaan serat optik adalah [1].

- a) Lebar pita (*bandwidth*) sistem komunikasi serat optik lebih besar dibandingkan sistem yang menggunakan kawat tembaga ataupun gelombang mikro.
- b) Attenuasi atau peredaman sinyal pada serat optik lebih kecil daripada attenuasi sinyal pada kawat tembaga.
- c) Serat optik dan komponen pendukungnya lebih kecil dan ringan.
- d) Tingkat keamanannya tinggi karena sinyal yang ditransmisikan oleh serat optik sulit untuk disadap.
- e) Kebal terhadap gangguan elektromagnetik.
- f) Perkembangan teknologi semikonduktor mendukung penggunaan sistem komunikasi serat optik.

Namun bukan berarti penggunaan serat optik tidak memiliki kekurangan; karena yang ditransmisikan oleh serat optik adalah cahaya maka diperlukan rangkaian pengubah sinyal listrik menjadi cahaya pada sisi pengirim, dan rangkaian pengubah cahaya menjadi sinyal listrik kembali pada sisi penerima. Hal ini tentunya berdampak pada biaya. Selain itu, penanganan serat optik pun, terutama dalam penyambungan dan pemasangan konektor, lebih sulit dan lebih memerlukan biaya dibandingkan penanganan kabel tembaga.

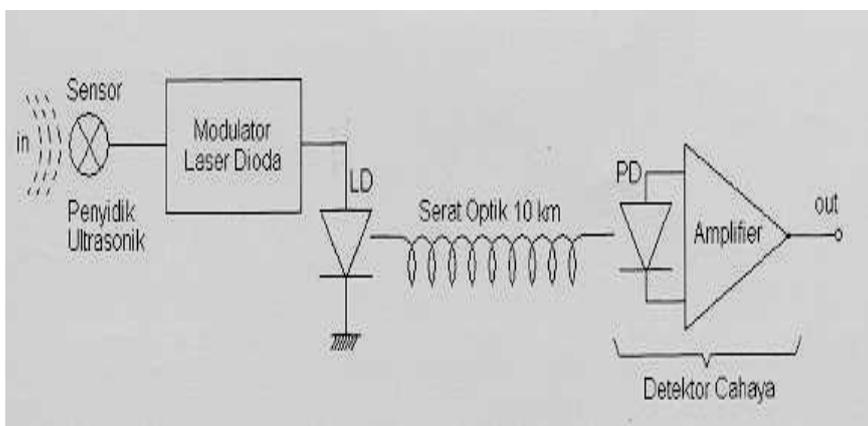
Pada makalah ini diuraikan penggunaan serat optik ragam tunggal sepanjang 10 km sebagai saluran transmisi data pengukuran yang berasal dari suatu sensor dengan penekanan pada pembuatan modulator laser diode dan rangkaian penguat detektor cahayanya. Pada percobaan ini sensor yang digunakan adalah suatu penyidik ultrasonik/*ultrasonic probe* yakni transduser piezoelektrik yang berfungsi mengubah energi mekanik dari gelombang ultrasonik menjadi energi listrik, dan sebaliknya. Data pengukuran berupa sinyal listrik dari penyidik ultrasonik tersebut digunakan untuk memodulasi secara analog suatu laser diode yang cahayanya ditransmisikan oleh serat optik ke suatu detektor cahaya. Detektor ini akan mengubah cahaya yang termodulasi menjadi sinyal listrik yang kemudian diperkuat untuk memperoleh informasi/data pengukuran yang ditransmisikan tadi.

Sistem transmisi data menggunakan serat optik semacam ini cocok digunakan di industri, terutama

pada daerah yang rawan akan percikan bunga-api listrik seperti di industri petrokimia dan pengilangan minyak karena penggunaan serat optik terhindar dari kemungkinan arus hubung-singkat.

II. MODULATOR LASER DIODE DAN RANGKAIAN PENGUAT DETEKTOR CAHAYA

Secara umum, sistem transmisi data analog menggunakan serat optik dinyatakan seperti pada Gambar 1. Karena yang digunakan adalah serat optik ragam tunggal maka sumber cahaya yang digunakan adalah laser diode. Sebagai sumber cahaya yang monokromatis, koheren, dan berdaya optis tinggi; laser diode dapat dimodulasikan dengan mudah dan bentuknya pun kecil, ringkas serta kompak.



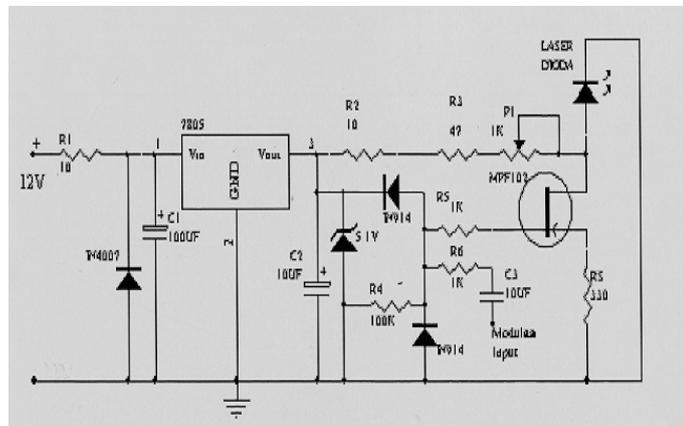
Gambar 1. Diagram blok sistem transmisi data pengukuran menggunakan serat optik.

Namun, selain rentan terhadap *electrostatic discharge*, laser diode mempunyai beberapa kekurangan, antara lain daya keluaran maupun panjanggelombangnya sangat dipengaruhi oleh temperatur. Jadi, selain memerlukan sistem catu daya yang stabil dan bersih dari lonjakan arus maupun tegangan yang dapat merusak laser diode, ia pun memerlukan sistem pendingin atau pengatur temperatur yang umumnya menggunakan teknik pendinginan termoelektrik [2]. Rangkaian modulator yang digunakan untuk keperluan ini diperlihatkan pada Gambar 2 yang merupakan modifikasi dari rangkaian pada pustaka acuan [3] yang aman digunakan untuk memodulasi laser diode hingga orde MHz. Rangkaian modulator ini dilengkapi dengan rangkaian penguat awal (*pre-amp*) menggunakan JFET dan transistor bipolar yang berfungsi untuk memperkuat sinyal yang berasal dari sensor/penyidik ultrasonik. Sinyal analog yang telah diperkuat tersebut kemudian secara langsung akan memodulasi arus injeksi ke laser diode untuk memodulasi intensitasnya [4]:

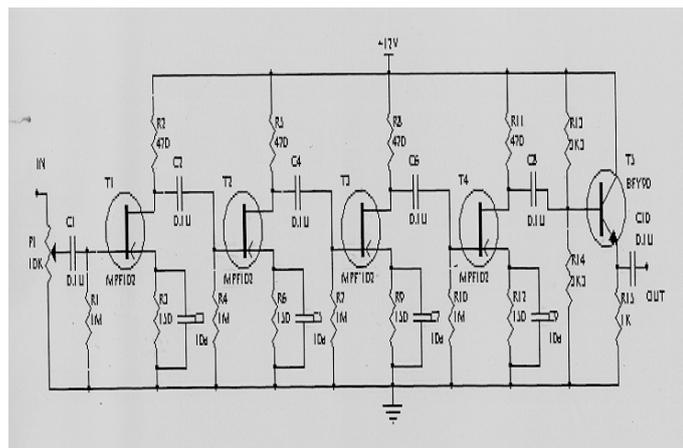
$$P(t) = P_t[1 + m.s(t)] \dots \dots \dots (1)$$

dengan P_t intensitas/daya luaran laser diode tanpa modulasi, $s(t)$ sinyal modulasi, dan m indeks modulasi.

Laser diode yang digunakan pada percobaan ini adalah *pig tailed laser diode* Fujitsu FLD130C2KM (panjanggelombang pancaran $\sim 1.3 \mu\text{m}$) yang disambungkan langsung ke serat optik ragam tunggal dengan menggunakan konektor tipe FC. Tanggapan frekuensi rangkaian penguat awal modulator laser diode ini diperlihatkan pada Gambar 3 sedangkan kurva hubungan daya dan arusnya diperlihatkan pada Gambar 4.

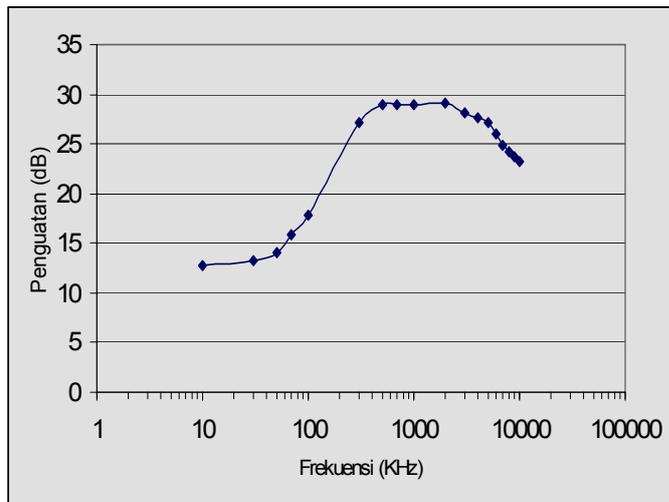


(a)

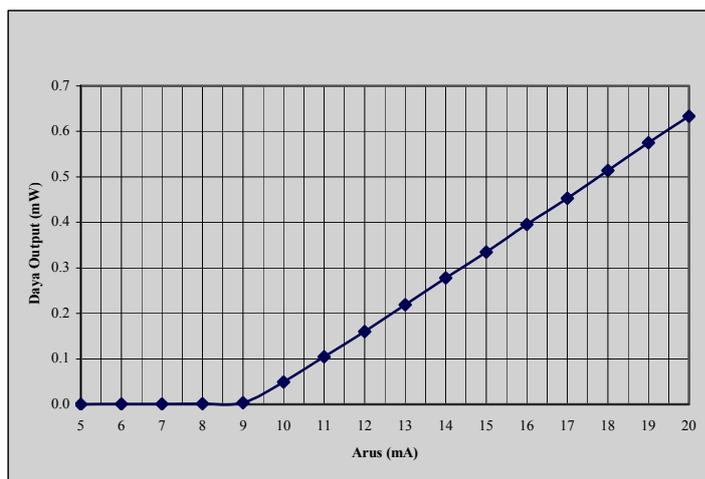


(b)

Gambar 2. Rangkaian modulator laser diode (a) dan penguat awal (b).



Gambar 3. Tanggapan frekuensi rangkaian penguat awal modulator laser diode.



Gambar 4. Hubungan arus dan daya luaran laser diode.

Pada rangkaian detektor cahaya, fotodiode yang ada pada rangkaian tersebut akan mengubah cahaya yang termodulasi tadi menjadi sinyal listrik kembali [4]:

$$i_s(t) = R.M.P_r[1 + m.s(t)] \tag{2}$$

dengan R responsivitas fotodiode, P_r daya optis rata-rata yang diterima fotodiode, dan M faktor

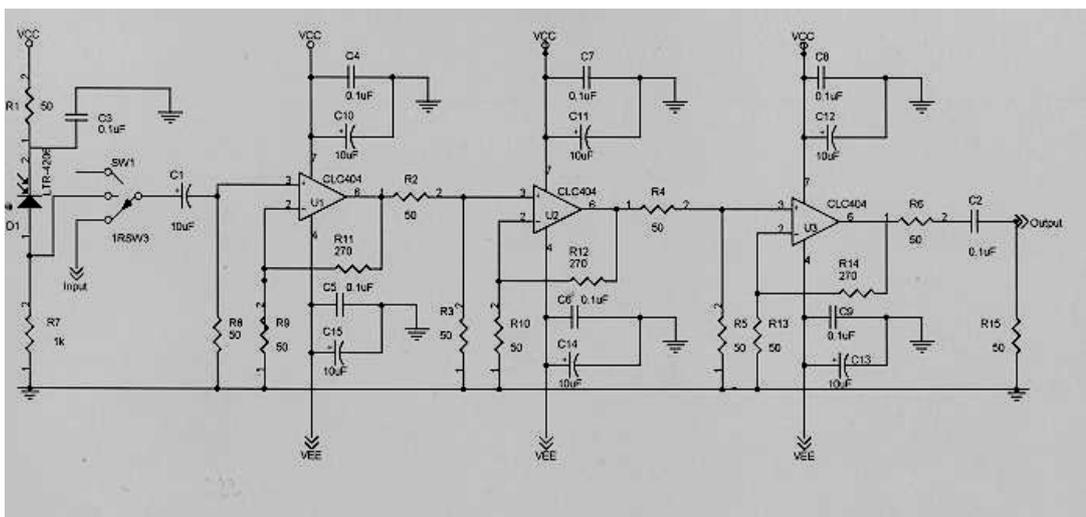
penguatan fotodiode ($M = 1$ untuk fotodiode tipe PIN).

Arus $i_s(t)$ yang dihasilkan oleh fotodiode tersebut perlu diperkuat oleh suatu rangkaian penguat yang dalam hal ini menggunakan penguat operasional (*op amp*). Selain menghasilkan arus sinyal yang dikehendaki, $i_s(t)$, baik fotodiode dan rangkaian penguat juga menghasilkan arus derau (*noise*) $i_n(t)$ yang perlu diminimisasi. Perbandingan antara arus sinyal dengan arus derau (SNR, *signal to noise ratio*) bagi rangkaian penguat detektor cahaya yang menggunakan diodefoto PIN adalah [4]:

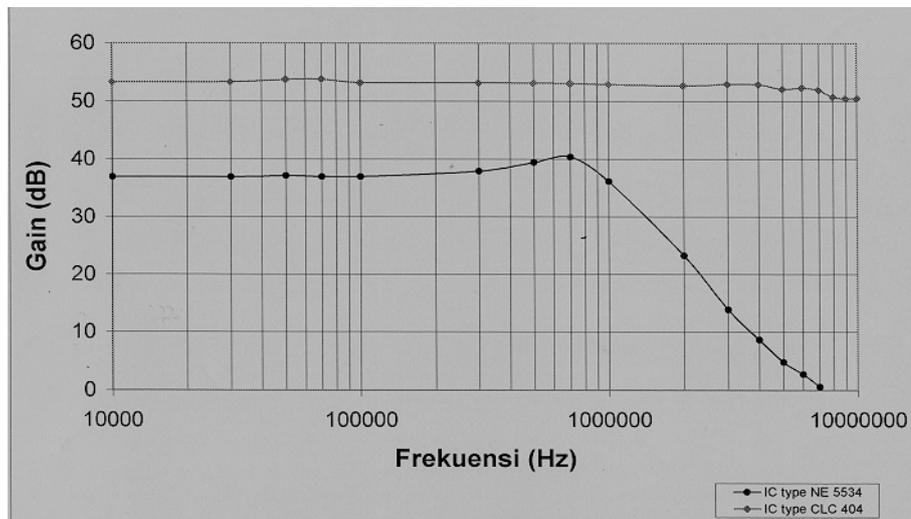
$$SNR = \frac{\langle i_s^2 \rangle}{\langle i_n^2 \rangle} = \frac{\frac{1}{2} m^2 R^2 P_r^2}{(4k_B T B / R_{eq}) F_t} \quad (3)$$

dengan k_B konstanta Boltzmann, T temperatur, B lebar pita (bandwidth), R_{eq} resistansi ekuivalen beban fotodiode dan rangkaian penguat, dan F_t ukuran derau (*noise figure*) rangkaian penguat.

Fotodiode yang digunakan pada percobaan ini adalah *PIN photodiode* Fujitsu FID3Z2LX yang juga disambungkan langsung ke serat optik ragam tunggal dengan menggunakan konektor tipe FC. Untuk rangkaian penguatnya dipilih *high speed op amp* CLC404 untuk memperoleh lebar pita hingga puluhan MHz. Rangkaian penguat detektor cahaya ini diperlihatkan pada Gambar 5, sedangkan Gambar 6 memperlihatkan tanggapan frekuensinya yang dapat mencapai 10 MHz dibandingkan bila menggunakan *low noise op amp* NE5534 yang mempunyai GBP (*gain bandwidth product*) 10 MHz.



Gambar 5. Rangkaian penguat detektor cahaya.

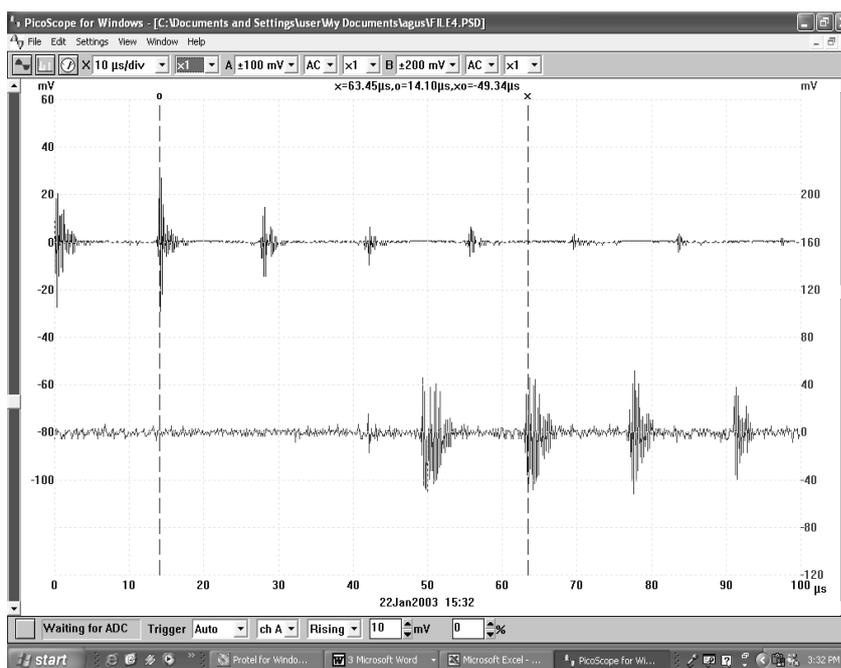


Gambar 6. Tanggapan frekuensi rangkaian penguat detektor cahaya bila menggunakan op amp CLC404 (atas) dan NE5534 (bawah).

III. PENGIRIMAN SINYAL ANALOG MELALUI SERAT OPTIK

Setelah rangkaian modulator laser diode dan penguat detektor cahayanya dibuat kemudian dilakukan percobaan untuk mengirim sinyal analog berupa data pengukuran dari suatu penyidik ultrasonik menggunakan serat optik. Serat optik yang digunakan adalah *telecommunication grade single mode optical fibre* buatan Fujikura sepanjang 10 km yang dipasang konektor FC pada ujung-ujungnya. Daya optis laser diode yang terukur (menggunakan *power meter* Anritsu ML9002A) setelah melalui serat optik sepanjang ini ialah $102 \mu\text{W}$ (pada arus laser diode 17 mA) yang lebih dari cukup dibandingkan daya optis minimum yang masih bisa dideteksi oleh rangkaian penguat ($\sim 1 \mu\text{W}$). Pada percobaan ini digunakan dua buah penyidik ultrasonik Krautkrammer B2S, masing-masing sebagai pemancar dan penerima, yang ditempelkan pada sisi-sisi suatu sampel logam (misalnya kuningan atau *stainless steel*). Suatu rangkaian pembangkit gelombang ultrasonik (*US Transmitter Flaw Detector* USL 32) yang dihubungkan ke penyidik ultrasonik pertama digunakan untuk mengirimkan pulsa gelombang yang setelah merambat melalui sampel logam tadi kemudian diterima oleh penyidik ultrasonik yang kedua. Sinyal yang diterima oleh penyidik ultrasonik yang ke dua ini merupakan data pengukuran (antara lain digunakan untuk menghitung kecepatan rambat gelombang, tebal, modulus elastisitas sampel, dll.) yang selanjutnya digunakan untuk memodulasi intensitas cahaya laser diode

dan kemudian diterima oleh detektor cahaya setelah melalui serat optik. Pada Gambar 7 diperlihatkan sinyal dari penyidik ultrasonik yang digunakan untuk memodulasi laser diode dan sinyal yang diterima oleh detektor cahaya yang ditampilkan oleh Picoscope ADC 200. Terlihat bahwa sinyal yang diterima oleh detektor cahaya merupakan replika dari sinyal modulasi yang dikirimkan dengan waktu tunda sekitar $49 \mu\text{s}$ akibat perambatan cahaya melalui serat optik sepanjang 10 km.



Gambar 7. Sinyal modulasi laser diode (atas) dan yang diterima oleh detektor cahaya (bawah). Sinyal modulasi berupa gelombang ultrasonik setelah melalui sampel *stainless steel* berbentuk selinder (diameter 9 cm, tebal 4 cm).

KESIMPULAN

Walaupun biaya investasinya tinggi, serat optik mempunyai sifat unik yang menarik untuk digunakan sebagai saluran transmisi data pengukuran menggantikan kabel tembaga atau sistem *wireless* di lingkungan pabrik/industri. Berdasarkan hasil percobaan (daya optis minimum yang masih bisa dideteksi oleh rangkaian penguat sebesar 1 mW atau -30 dBm) maka panjang maksimum serat optik yang bisa digunakan adalah 60 km (karena daya laser yang masuk ke serat adalah 0.25 mW atau -6 dBm dan faktor atenuasi cahaya oleh serat optik 0.4 dB/km). Kemampuan inheren serat optik dan kemajuan teknologi semikonduktor di bidang pembuatan laser diode, fotodiode, dan penguat

operasional kecepatan tinggi memungkinkan penggunaan serat optik untuk sistem transmisi data pengukuran dengan kapasitas besar dan kecepatan tinggi. Dari segi biaya, sistem transmisi data analog ini lebih murah daripada sistem transmisi data digital. Hal yang perlu diperhatikan pada sistem ini ialah desain dan konstruksi rangkaian modulatnya (agar dapat memodulasi laser diode secara cepat namun aman) serta rangkaian penguat detektor cahayanya (harus mempunyai lebar pita sesuai keperluan). Dari uraian mengenai modulator laser diode dan penguat detektor cahaya pada makalah ini diharapkan pembaca dapat memperoleh gambaran mengenai penggunaan serat optik untuk transmisi data pengukuran atau bahkan memberikan masukan bagi penyempurnaan rangkaian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Clifford R. Pollock, *Fundamental of Optoelectronics*, Irwin, Chicago, 1995.
2. Imam Mulyanto, Tomi Budi Waluyo, "Pengaturan temperatur operasi laser diode menggunakan teknik pendinginan termoelektrik", *Proceeding ECCIS 2004*, Universitas Brawijaya, Malang, 2004.
3. John, K3GP, "Biasing and Modulating Laser Diodes Safely", <http://www.k3pg.org/laserbias.htm> (08/04/97).
4. Gerd Keiser, *Optical Fiber Communications*, McGraw-Hill, Singapore, 1983.