

Volume 7, Nomor 2, Oktober 2002

ISSN: 1412-3991

JURNAL PENELITIAN  
**S a i n t e k**

- Meningkatkan Efisiensi Termis Kompor Minyak Tanah dengan Menerapkan Prinsip Efek Rumahkaca
- Perancangan dan Implementasi Sistem *E-commerce* dengan Teknologi *Framework* Berorientasi Objek
- Evaluasi Pasca Huni Gedung Perkuliahan dan Administrasi Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik UNY
- Keunggulan Sistem Deteksi Hamburan Cahaya Fiber Optik untuk Mengamati Hamburan-Rayleigh Dibanding dengan Sistem Konvensional
- Analisis Pengaruh Kecepatan Potong, Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Potong Terhadap Keausan Tepi Pahat pada Mesin Bubut
- Efektivitas Metode Pengeringan Sistem Gravitasi Terhadap Sifat Mekanik Kayu
- Analisis Sifat Mekanik Balok yang Terbuat dari Bambu



Jurnal Penelitian Sainstek merupakan lanjutan dari  
Jurnal Penelitian Sainstek  
**LEMBAGA PENELITIAN  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Volume 7, Nomor 2, Oktober 2002

ISSN: 1412-3991

# JURNAL PENELITIAN

# S a i n t e k

**Penerbit:**

Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta

**Pemimpin Umum/Penanggung Jawab:**

Ketua Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta

**Redaksi:**

Ketua: Dr. Wardan Suyanto, M.A.

Sekretaris: Dr. dr. BM Wara Kushartanti, M.S.

Redaktur Ahli: 1. Prof. Dr. Wuryadi, M.S. (UNY)  
2. Ir. Samsul Kamal, Ph.D. (UGM)  
3. Dr. Yateman Aryanto (UGM)

Redaktur Pelaksana: Drs. Suparno, Mapp., Sc.

Anggota Redaktur: 1. Dr. Nurfini Aznam, Apt., S.U.  
2. Drs. Agus Budiman, M.Pd., MT.  
3. Dr. Zamzani, M.Pd.

**Tata Usaha/Pelaksana:**

Dra. Sri Ningsih

**Setting dan Tata Letak:**

Drs. Dulgani

**Alamat Redaksi/Tata Usaha:**

Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta  
Gedung LPM Lantai II – Karangmalang, Yogyakarta. 55281  
Telepon (0274) 586168 pesawat 242, 262, Fax (0274) 518617  
<http://www.lemlit-uny.org> dan <http://www.penelitian-uny.or.id>  
e-mail: [sekreta@lemlit-uny.org](mailto:sekreta@lemlit-uny.org)

Jurnal Penelitian Sainstek merupakan lanjutan dari  
Jurnal Penelitian Iptek dan Humaniora  
Frekuensi terbit: tengah tahunan

Semua tulisan yang ada dalam Jurnal Penelitian Sainstek bukan merupakan cerminan sikap dan/atau pendapat Dewan Redaksi. Tanggung jawab terhadap isi dan/atau akibat dari tulisan tetap terletak pada penulis.

JURNAL PENELITIAN  
**S a i n t e k**

DAFTAR ISI

	Halaman
Daftar Isi .....	i
Meningkatkan Efisiensi Termis Kompor Minyak Tanah dengan Menerapkan Prinsip Efek Rumahkaca <i>Oleh: Jarwo Puspito</i> .....	1-12
Perancangan dan Implementasi Sistem <i>E-commerce</i> dengan Teknologi <i>Framework</i> Berorientasi Objek <i>Oleh: Herman Dwi Surjono</i> .....	13-34
Evaluasi Pasca Huni Gedung Perkuliahan dan Administrasi Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik UNY <i>Oleh: Bambang Sugestiyadi</i> .....	35-50
Keunggulan Sistem Deteksi Hamburan Cahaya Fiber Optik untuk Mengamati Hamburan Rayleigh Dibanding dengan Sistem Konvensional <i>Oleh: Suparno</i> .....	51-64

*Keunggulan Sistem Deteksi Hamburan Cahaya Fiber Optik untuk Mengamati Hamburan Rayleigh Dibanding dengan sistem Konvensional (Suparno)*

## **KEUNGGULAN SISTEM DETEKSI HAMBURAN CAHAYA FIBER OPTIK UNTUK MENGAMATI HAMBURAN RAYLEIGH DIBANDING DENGAN SISTEM KONVENSIONAL**

**Oleh:  
Suparno  
Staf Pengajar FMIPA UNY**

### **Abstract**

*A single mode fibre optics of 4.6 $\mu$ m diameter and a quarter pitch GRIN lens has been coupled by the use of ST connector and stainless steel housing to produce a very reliable light transducer. The transducer is capable of transmitting light thousands times compared to that of using fibre optics only. Besides its ability in transmitting light it has some other advantages such as small dimension and relatively cheap cost of production. The reliability of the transducer in transmitting light was tested to observe scattered light from very small particles of toluene known as Rayleigh scattering.*

*Keywords: Light scattering, Rayleigh scattering, fibre optic*

### **PENDAHULUAN**

Tanaka dan Benedek adalah ilmuwan pertama yang memanfaatkan fiber optik dalam hamburan cahaya yakni untuk menentukan kecepatan aliran darah. Kemudian diikuti oleh banyak ilmuwan lain termasuk Dhadwal dan Ross, 1980 yang telah merintis penggunaan fiber optic doppler anemometer untuk menentukan ukuran dan konsentrasi partikel dalam syton. Brown, 1987 menunjukkan bahwa fiber optik ragam tunggal sangat sesuai untuk dijadikan detektor hamburan cahaya dinamik.

Kemanfaatan fiber optik dalam bidang hamburan cahaya tidak diragukan lagi, akan tetapi persoalan lemahnya transmisi cahaya yang menyertainya perlu diatasi. Haller dkk, 1983 mencoba mengatasi persoalan tersebut dengan memanfaatkan lensa cembung-cembung konvensional. Sedang Dhadwal, 1989 mencoba mempergunakan lensa *GRIN* untuk memfokuskan cahaya ke dalam fiber. Dia menunjukkan dengan pemilihan ukuran lensa *GRIN* dan diameter fiber optik yang sesuai dapat dibuat sebuah probe fiber optik yang memiliki diameter bukaan dan sudut kritis tertentu. Adapun Strawbridge dkk., 1991 dan Ricka, 1993 tetap mempergunakan lensa konvensional seperti yang dipergunakan oleh Haller.

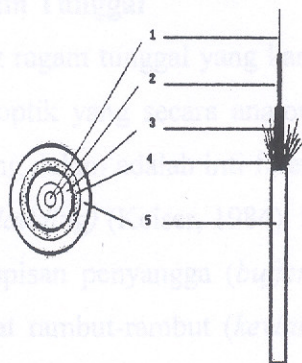


Diagram of fiber optics

Gambar 1. Diagram fiber optik. 1. inti fiber (*fibre core*), 2. kulit fiber (*fibre cladding*), 3. penyangga (*buffer*), 4. rambut-rambut (*kevlar*), dan 5. jaket (*jacket*)

*Keunggulan Sistem Deteksi Hamburan Cahaya Fiber Optik untuk Mengamati Hamburan Rayleigh Dibanding dengan sistem Konvensional (Suparno)*

Dilhami oleh penelitian-penelitian yang dilakukan oleh Brown, 1987 dan Dhadwal, 1989 peneliti melakukan penelitian untuk membuat sebuah transduser cahaya yang dapat dipergunakan untuk penelitian jangka panjang dalam bidang hamburan cahaya baik dinamik maupun statik untuk karakterisasi partikel koloid. Setelah melalui berbagai pertimbangan maka pilihan utama jatuh pada fiber optik ragam tunggal dengan diameter inti 4,6  $\mu\text{m}$  yang dikawinkan dengan lensa *GRIN* yang berukuran 1/4 pitch. Sedang untuk mengkopel fiber optik dengan lensa dipergunakan konektor jenis *ST* dan rumah lensa *GRIN* dari baja tahan karat berbentuk silinder.

#### **Fiber Optik Ragam Tunggal**

Fiber optik ragam tunggal yang kami pergunakan adalah dari jenis kabel fiber optik yang secara anatomis terdiri dari 5 lapisan. Lapisan yang paling dalam adalah inti fiber (*fibre core*) yang dilapisi kulit fiber (*fibre cladding*) (Keiser, 1984). Dua bagian utama tersebut dilindungi oleh lapisan penyangga (*buffer*). Sedang di luar lapisan penyangga terdapat rambut-rambut (*kevlar*) yang dibungkus dengan jaket (*jacket*) di luarnya. Untuk bisa dikopel dengan bahan atau piranti lain fiber ini harus dipotong, dikupas lapisan-lapisan pelindungnya, sehingga yang tersisa hanyalah inti fiber dan kulit fibernya. Jaket fiber dapat dikupas dengan pengupas sarung kabel (*cord sheath stripper*), sedangkan untuk memotong kevlar harus

dipergunakan gunting kevlar dari keramik (*ceramic kevlar scissors*). Kevlar ini terbuat dari bahan yang sangat kuat, sulit dipotong dengan mempergunakan gunting biasa. Buffer dipisahkan dari kulit dan inti fiber (*fibre stripper*). Dua bagian yang tersisa inilah yang nantinya harus dimasukkan ke dalam konektor ST untuk kemudian disemen dengan epoxy.

### **Kopling Fiber Optik dengan Konektor ST**

Konektor ST dipilih karena harganya yang murah dan mudah dibongkar beberapa bagiannya untuk dibuang sehingga akan memperkecil ukuran. Pegangan luar konektor ST (*conector holder*) yang berdiameter 10 mm dibuang untuk disisakan pegangan dalam (*ferule holder*) yang berdiameter 4 mm dan ferule yang berdiameter 2,5 mm. Ke dalam ferule yang berbentuk silinder inilah fiber optik disisipkan. Sebagai penguat hubungan antara konektor ST dan jaket fiber, bagian belakang pegangan ferule dilengkapi dengan lengan kerut (*crimp sleeve*) dan boot penopang (*boot support*).

Fiber yang telah dikupas dimasukkan ke dalam ferule konektor ST setelah sebelumnya ferule tersebut disuntik dengan menggunakan epoxy berwarna melalui bagian belakangnya. Penggunaan epoxy berwarna sangat penting untuk membedakan antara permukaan fiber dengan permukaan ferule konektor ST ketika melakukan penggosokan permukaan fiber (Suparno, 1994). Epoxy

yang bening (tidak berwarna) sukar dibedakan dari permukaan ferule yang berwarna putih. Setelah posisi fiber dirasa mantap lengan kerut diklep kuat dan epoxy dikeringkan dengan menggunakan mesin pengering (*curing machine*) dan sisa fiber dibiarkan menonjol di depan ferule untuk kemudian dipotong dan digosok halus.

### **Lensa GRIN**

Lensa GRIN yang bentuknya silinder ini berbeda dengan lensa biasa, karena lensa GRIN ini sebenarnya merupakan fiber optik dengan diameter raksasa. Di dalam lensa ini cahaya menjalar dengan lintasan yang berbentuk sinusoidal, sehingga panjang lensa inipun dinyatakan sebagai fungsi panjang gelombang dari lintasan cahaya di dalam lensa.

Lensa yang panjangnya 1 pitch adalah lensa yang di dalamnya cahaya membentuk lintasan 1 (satu) panjang gelombang (Melles Griot, 1990). Bukan panjang gelombang cahaya tetapi panjang gelombang lintasan sinusoidal yang dilewati cahaya di dalam lensa GRIN. Dengan demikian di dalam lensa yang panjangnya  $1/4$  pitch akan membentuk lintasan  $1/4$  panjang gelombang. Hal ini berarti bahwa cahaya yang sejajar sumbu lensa yang masuk ke permukaan salah satu lensa akan terfokus pada permukaan lensa yang lain dan sebaliknya. Kelebihan inilah yang dapat dimanfaatkan untuk mengkolimasi sinar sejajar sumbu utama ke dalam fiber optik.



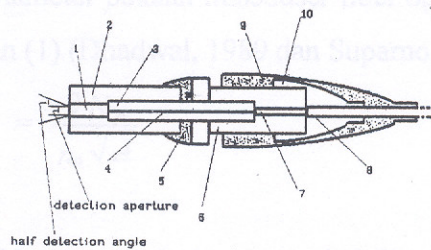
Persoalan yang muncul adalah karena diameter fiber optik yang sangat kecil ( $4,6 \mu\text{m}$ ), maka sulit sekali membawa sinar terfokus untuk masuk ke dalamnya. Hal ini diatasi dengan membuat rumah lensa yang konsentrik dengan fiber optik yang telah dimasukkan ke dalam ferule. Rumah lensa dari baja tahan karat dengan lensa GRIN didalamnya dirangkai dengan ferule dengan menggunakan perekat jenis epoxy yang mudah kering (*five minute epoxy*), sehingga fiber optik yang berada di tengah ferule bersentuhan dengan lensa GRIN.

#### **Desain Transduser Fiber Optik**

Dua bagian utama transduser ini adalah fiber optik dan lensa GRIN. Sedang bagian penunjang yang fungsinya untuk merangkai kedua bagian utama sehingga dapat berfungsi sesuai dengan yang dikehendaki adalah konektor ST dan rumah dari baja tahan karat. Konektor ST disamping berfungsi untuk memudahkan fiber dirangkai dengan lensa GRIN juga berfungsi sebagai pegangan fiber agar dapat digosok halus. Tanpa digosok halus fiber ini tidak bisa bekerja dengan efisiensi tinggi. Permukaan yang sedikit kasar akan membuat penempelan fiber pada lensa GRIN tidak rapat, sehingga akan banyak sinar yang terbuang. Demikian juga permukaan yang kasar ini akan menyebabkan banyak sinar yang datang terpantul kembali dari pada masuk ke dalam fiber. Keberhasilan pembuatan

*Keunggulan Sistem Deteksi Hamburan Cahaya Fiber Optik untuk Mengamati Hamburan Rayleigh Dibanding dengan sistem Konvensional (Suparno)*

transduser ini amat dipengaruhi oleh keberhasilan penggosokan fiber sehingga permukaan inti fiber benar-benar halus. Kehalusan permukaan fiber senantiasa dimonitor dengan mempergunakan mikroskop pada saat penggosokan. Gambar 4 adalah gambar desain fiber optik yang telah kami buat (Suparno, 1994).



**Gambar 2.** Diagram transduser cahaya fiber optik. 1. lensa GRIN, 2. perumahan baja tahan karat, 3. ferule keramik, 4. fiber optik, 5. epoxy, 6. pegangan ferule, 7. buffer, 8. jaket, 9. boot penyangga, dan 10. lengan kerut

### Karakteristik Transduser Fiber Optik

Transduser fiber optik ini memiliki dua buah ciri utama yakni diameter bukaan (*detection aperture diameter*) lensa dan sudut kritisnya (*divergence angle*). Diameter bukaan lensa yang lebar berpengaruh pada banyak dan mudahnya sinar untuk memasuki lensa yang berarti juga memasuki fiber optik. Tanpa menggunakan lensa sangat sulit mengarahkan fiber ke sasaran berkas sinar yang akan

diamati dan jumlah sinar yang masukpun sangat sedikit. Sedangkan sudut kritis transduser ini sangat kecil, jauh lebih kecil bila dibanding sudut kritis fiber optik. Sudut kritis yang kecil ini sangat bermanfaat untuk menahan sinar yang tak diharapkan untuk masuk ke dalam transduser. Sehingga probe fiber optik tersebut tidak sensitif terhadap jarak.

Diameter bukaan transduser fiber optik di atas diberikan oleh persamaan (1) (Dhadwal, 1989 dan Suparno, 1994)

$$d = \frac{2 N_A}{n_o \sqrt{A}} \quad (1)$$

dimana

$N_A$  = numerical aperture dari fiber

$n_o$  = indeks bias sumbu lensa GRIN

$\sqrt{A}$  = konstanta kuadrat

Sedang sudut kritisnya diberikan oleh persamaan (2) (Dhadwal, 1989 dan Suparno, 1994)

$$\theta = \frac{n_o r_i \sqrt{A}}{n_s} \quad (2)$$

dimana  $r_i$  = jari-jari fiber optik

$n_s$  = indeks bias larutan penghambur

### **Pengujian Transmisi Transduser Fiber Optik**

Pengujian ini dilakukan dengan cara menjatuhkan sinar laser HeNe 5,2 mW (daya terukur) ke dalam fiber yang telah dimasukkan ke dalam konektor ST sebelum dan sesudah fiber dikopel dengan lensa GRIN. Dengan bantuan dudukan yang bisa diatur dengan 5 derajat kebebasan (*five angle adjuster*) posisi transduser diatur sehingga berkas sinar laser masuk ke dalam fiber dengan maksimal. Daya input maupun output diukur dengan menggunakan Wattmeter digital. Hasil pengamatan ini disajikan dalam Tabel 1.

Dari Tabel 1 didapat bahwa 11 fiber optik tanpa menggunakan lensa GRIN mentransmisikan cahaya rata-rata hanya  $2,43 \times 10^{-3}\%$ , namun dengan menggunakan lensa GRIN transduser yang dihasilkan berhasil mentransmisikan cahaya rata-rata 43,25%. Satu peningkatan yang mengagumkan. Hal ini dapat dimengerti karena setelah dikopel dengan lensa GRIN, maka fiber optik menerima cahaya terfokus dari lensa GRIN yang diameter bukaanannya jauh lebih besar. Karena inputnya jauh lebih besar maka output yang dihasilkan oleh fiber yang samapun jauh lebih besar.

Tabel 1. Transmisi Daya Sinar Laser HeNe 5,2 mW oleh Fiber Optik dan Transduser Fiber Optik

Nomor fiber	Fiber optik		Transduser fiber optik	
	daya output (nW)	efisiensi (%)*	daya output (mW)	efisiensi (%)*
1	125	0,002404	2,24	43,07692
2	129	0,002481	2,48	47,69231
3	112	0,002154	1,88	36,15385
4	130	0,002500	2,38	45,76923
5	139	0,002673	2,22	42,69231
6	121	0,002327	2,45	47,11538
7	135	0,002596	2,54	48,84615
8	127	0,002442	1,62	31,15365
9	122	0,002346	2,35	45,19231
10	129	0,002481	2,31	44,42308
11	118	0,002269	2,27	43,65385

\* Persentase antara daya output dengan daya laser yang dimasukkan ke fiber optik & transduser.

### Pengamatan Hamburan Rayleigh

Pengamatan dilakukan dengan mengganti susunan lensa-pinhole dan detektor yang ada pada lengan putar sistem hamburan standard BI-2030AT (Brookhaven Instrument Corp., Holtsville, NY) (Suparno, 1994) dengan transduser fiber optik. Hamburan Rayleigh dari partikel toluene pertama diamati dengan menggunakan sistem konvensional dengan memakai pinhole berdiameter 100  $\mu\text{m}$  dan 3 mm, kemudian dilanjutkan dengan menggunakan fiber optik (Suparno, 1994 dan Suparno, 1994). Pengamatan dilakukan pada 10 sudut hamburan yang berbeda dan hasilnya disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

*Keunggulan Sistem Deteksi Hamburan Cahaya Fiber Optik untuk Mengamati Hamburan Rayleigh Dibanding dengan sistem Konvensional (Suparno)*

**Tabel 2. Pengamatan Hamburan Rayleigh dengan Sistem Optik Konvensional**

Sudut Hambur $\theta$ ( $^{\circ}$ )	<i>Fiber Optik</i>			<i>Transduser Fiber Optik</i>		
	cacah rerata, I(cps)	ISin $\theta$	% kesalahan relatif	cacah rerata, I(cps)	ISin $\theta$	% kesalahan relatif
15	167	43	15,6	19736	5108	0,0*
20	125	43	14,0	15218	5205	1,9
30	83	42	11,5	10204	5102	-0,1*
45	59	42	11,1	7260	5063	-0,9*
60	47	40	7,9	5903	5112	0,1*
90	37	37	0,0*	5107	5107	0,0*
120	44	38	0,8*	5915	5123	0,3*
135	45	32	-14,4	7271	5141	0,7*
150	81	41	8,7	10418	5209	2,0
160	111	38	1,9	15993	5470	7,1

\* kesalahan relatif terhadap sudut hambur  $90^{\circ}$  yang lebih kecil dari 1%.

Dengan menggunakan pinhole berdiameter 100 mm hanya didapat 2 diantara 10 posisi yang memiliki kesalahan relatif di bawah 1%. Kesalahan terbesarnya adalah 15,6% dan sisanya terletak antara 1,9% dan 15,6%. Pada sudut hambur kecil kesalahannya yang konstan besar yakni di atas 11%. Satu hasil yang jauh dari harapan. Hal ini boleh jadi disebabkan karena pinhole yang kecil sangat sensitif terhadap gerakan lengan putar dan sulit diarahkan ke pusat hamburan (*scattering area*). Hal ini dikuatkan ketika diameter pinhole diubah menjadi 3 mm, ada 7 posisi yang memiliki kesalahan relatif kurang 1%, sedang kesalahan terbesar 7,1% pada sudut terbesar  $160^{\circ}$ . Dua posisi yang lain kesalahannya hanya sekitar 2%. Diameter yang besar akan

memudahkan kita mengarahkan pinhole ke daerah hamburan dan tidak begitu sensitif terhadap gerakan lengan putar.

Tabel 3. Pengamatan Hamburan Rayleigh dengan Transduser Fiber Optik

sudut hambur, $\theta$ ( $^{\circ}$ )	cacah rerata, I (cps)	ISin $\theta$	% kesalahan relatif
15	1694	438	-0,2*
20	1257	430	-2,1
30	869	435	-1,1
45	602	426	-3,1
60	501	434	-1,2
90	439	439	0,0*
120	508	440	0,2*
135	621	439	0,0*
150	861	431	-2,0
160	1281	438	-0,3*

\* kesalahan relatif terhadap sudut hambur  $90^{\circ}$  yang lebih kecil dari 1%.

Di sisi lain dengan mempergunakan fiber optik didapat 5 posisi yang memiliki kesalahan kurang dari 1%, sedang kesalahan terbesarnya hanya 3,1%. Posisi yang lain hanya menunjukkan kesalahan relatif antara 1,1% dan 2,1%. Satu hasil yang jauh lebih baik dibanding dengan menggunakan pinhole 100  $\mu\text{m}$ . Sedang dibanding dengan menggunakan pinhole 3 mm, hasil yang ditunjukkan oleh fiber optikpun relatif masih lebih baik karena kesalahan relatifnya yang nampak konstan kecil, tak ada kesalahan yang mencolok. Hal ini dimungkinkan karena probe yang terbentuk memiliki diameter bukaan yang cukup besar sehingga kurang sensitif terhadap gerakan lengan putar.

## **SIMPULAN**

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa pengkoplingan fiber optik dengan lensa GRIN merupakan pilihan yang tepat untuk mengatasi lemahnya output yang ditransmisikan oleh fiber optik saja. Melihat kemampuannya mentransmisikan cahaya yang demikian baik, maka probe ini potensial untuk menjadi transduser dalam pengamatan hamburan cahaya, terutama hamburan Rayleigh. Karena dimensi transduser fiber optik yang kecil maka dimungkinkan untuk melakukan modifikasi sistem hamburan cahaya yang ada sehingga menjadi lebih kompak (*compact*).

Diperlukan penelitian lanjutan untuk memanfaatkan probe ini dalam berbagai bidang yang melibatkan transmisi cahaya. Amat dimungkinkan merubah non imaging detektor probe ini menjadi imaging probe dengan beberapa modifikasi.

## **Ucapan Terima Kasih**

Banyak terima kasih dihaturkan kepada Dr. Stewart Martin atas bimbingannya untuk memahami fiber optik. Begitu pula terima kasih kepada Prof. JC Thomas atas bantuan, dukungan saran dan bimbingan dalam bidang hamburan cahaya. Penelitian ini sepenuhnya didanai oleh the University of South Australia.



#### DAFTAR PUSTAKA

- Brown, R.G.W. (1987). *Applied Optics*, 26, 4846-4851.
- Brown, R.G.W. (1987). *J. Phys. E.*, 20, 1312-1320.
- Dhadwal, H.S. dan D.A. Ross. (1980). *J. Coll. Int. Sci.*, 76, 478-489.
- Dhadwal, H.S. dan B. Chu. (1989). *Rev. Sci. Instrum.*, 60(5), 845-853.
- Dhadwal, H.S., W. Wu dan B. Chu. (1989). *Applied Optics*, 28, 845-853.
- Haller, R.H., C. Destor dan D.S. Cannell. (1983). *Rev. Sci. Instrum.*, 54, 973-983.
- Keiser, G. (1984). *Optical Fiber Communications*, 2nd ed., Singapore: McGraw-Hill International Book Company, 19-21.
- Melles Griot Inc. (1990). *Optics Guide 5*. California.
- NSG America Inc. (1991). *SELFOC Product Guide*. Sommerset: NJ.
- Ricka, J. (1993). *Applied Optics*, 32(15), 2860-2875.
- Strawbrige, K.B., F.R. Hallet dan J. Watton. (1991). *Canadian J. Applied Spectroscopy*, 36(3), 53-60.
- Suparno. (1994). *Applied Optics*, 33(30), 7200-7205.
- Suparno. (1994). *A Fibre Optic Light Scattering System*. M.App.Sc. thesis, Univ. of South Australia.
- Tanaka, T dan G.B. Benedek. (1975). *Applied Optics*, 14, 189-196.