

Studi Teori dan Eksperimen Sensor Pergeseran

Menggunakan *Fiber Coupler* dengan Target Cermin Cekung

Sefria Anggarani, Samian, Adri Supardi

Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

Email : sefria.anggarani@yahoo.com

ABSTRAK

Studi sensor pergeseran menggunakan *fiber coupler* dengan target cermin cekung telah dilakukan. Studi dilakukan baik secara teori maupun eksperimen untuk mengoptimalkan kemampuan *fiber coupler* sebagai sensor pergeseran. Analisis teori dilakukan melalui pendekatan bahwa cahaya keluaran dari *fiber coupler* merupakan berkas Gaussian. Prinsip pendektesian pergeseran dilakukan melalui deteksi perubahan daya optis cahaya pantulan dari cermin cekung yang diterima oleh *port sensing fiber coupler*. Perubahan daya optis cahaya tersebut terbaca melalui perubahan tegangan keluaran detektor optis. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan dua buah cermin cekung masing-masing dengan panjang fokus 4,5 mm dan 12 mm. Hasil eksperimen berupa grafik tegangan keluaran detektor optis sebagai fungsi pergeseran cermin cekung menunjukkan nilai yang tidak sesuai dengan perhitungan secara teori. Walaupun demikian, karakteristik kedua grafik menunjukkan kesamaan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sensor pergeseran dengan target cermin cekung (4,5 mm dan 12 mm) menghasilkan jangkauan sebesar 25 mm dengan step pergeseran sebesar 50 μm . Kedua cermin cekung dalam rentang jangkauan tersebut menghasilkan tiga buah daerah kerja sensor (daerah linier). Hasil yang sama juga diperoleh melalui perhitungan secara teori tetapi dengan nilai yang berbeda. Sensitivitas sensor terbaik secara eksperimen yaitu sebesar 25,31 mV/mm dihasilkan dengan menggunakan cermin cekung fokus 4,5 mm pada rentang daerah kerja 9,9 – 13,85 mm.

Kata kunci : Sensor Pergeseran, Cermin Cekung, *Fiber Coupler*.

PENDAHULUAN

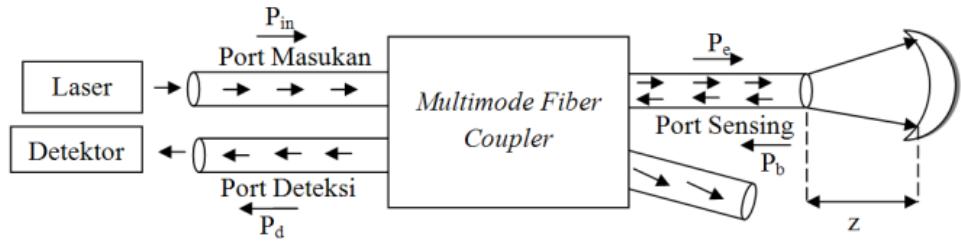
Optimasi serat optik sebagai sensor banyak dikembangkan karena memiliki keunggulan yang utama yaitu memiliki akurasi yang tinggi dan tidak kontak langsung (Krohn, 2000). Serat optik telah dapat diaplikasikan sebagai sensor pergeseran berbasis modulasi intensitas dengan berbagai desain dan konfigurasinya. Diantaranya adalah menggunakan serat optik *bundle multimode* (M. Yasin et al, 2007), *singlemode* (A. Rostami et al, 2007), *multimode fiber coupler* (Samian et al, 2008) dan *singlemode fiber coupler* (Baruch M.C. et al, 2002). Kesemuanya menggunakan cermin datar sebagai target pergeseran. Aplikasi sensor pergeseran serat optik berbasis modulasi fase dengan metode *dual fabry-perrot cavity* menghasilkan akurasi dan resolusi tinggi tetapi jangkauan kecil dan set up eksperimen kurang praktis dan harga alat-alat sangat mahal (Bitou et al, 2009).

Dalam perkembangannya, berbasis pada sensor pergeseran serat optik, telah dikembangkan sensor serat optik untuk mendekripsi suhu (Samian et al, 2010), strain bahan (Inaudi et al. 2005), dan ketinggian zat cair (Samian et al, 2011). Artinya sensor pergeseran serat optik dapat menjadi dasar bagi pengembangan sensor untuk mendekripsi parameter-parameter fisis lainnya yang diperlukan dibidang industri maupun bidang lainnya.

Untuk tujuan tersebut, sensor pergeseran serat optik telah dikembangkan melalui penggunaan serat optik *bundle multimode* (H.Z. Yang, 2010) dengan target berupa cermin cekung. Dengan tujuan yang sama, yaitu mengoptimalkan kinerja serat optik khususnya *fiber coupler* sebagai sensor pergeseran, dalam makalah dipaparkan hasil kajian secara teori dan eksperimen aplikasi *fiber coupler* jenis *multimode* sebagai sensor pergeseran menggunakan cermin cekung sebagai target.

ANALISIS TEORI

Desain sensor pergeseran menggunakan *fiber coupler* dengan cermin cekung sebagai target diperlihatkan pada Gambar 1. Perangkat sensor pergeseran terdiri dari laser, detektor optis, *fiber coupler*, dan target cermin cekung. Prinsip kerja sensor adalah pergeseran cermin cekung dideteksi melalui perubahan daya optis berkas cahaya pantulan dari cermin cekung yang terkopel pada *port sensing fiber coupler*. Mekanismenya adalah berkas laser dari sumber dilewatkan melalui *port* masukan *fiber coupler* dan sebagian berkas cahaya tersebut keluar melalui *port sensing* menuju cermin cekung. Berkas cahaya pantulan dari cermin cekung sebagian akan masuk kembali ke *port sensing*. Berkas cahaya balik tersebut kemudian akan terkopel menuju *port deteksi*.



Gambar 1. Desain Sensor Pergeseran Menggunakan *Fiber Coupler* dengan Target Cermin Cekung.

Besar daya optis cahaya yang sampai ke *port* deteksi (P_d) ditunjukkan oleh persamaan berikut.

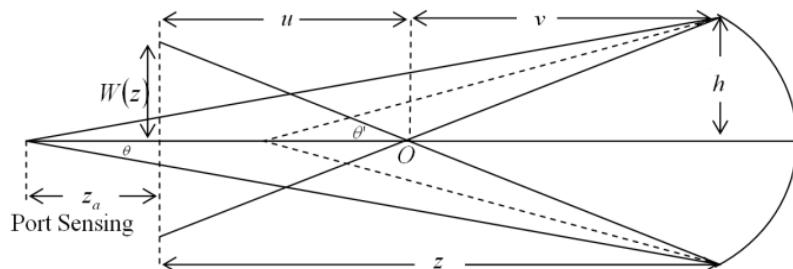
$$P_d = P_o \left(1 - \exp \left[-\frac{2a^2}{W(z)} \right] \right) \quad (1)$$

dan

$$P_o = 1,156 cr(1-cr)(10^{-0,1Le} - 10^{-0,1D})^2 P_{in} \quad (2)$$

dengan a dan $W(z)$ adalah jari-jari *core fiber coupler* dan jari-jari berkas hasil pantulan cermin. Sedangkan cr , Le , dan D masing-masing adalah rasio kopling (*coupling ratio*), *excess loss*, dan *directivity* (Samian 2009).

Secara geometris, berkas laser yang keluar dari *port sensing* menuju cermin cekung dan kembali lagi ke *port sensing* dapat dilukiskan seperti pada Gambar 2. Divergensi berkas mula-mula yang keluar dari *port sensing* sebesar θ yang berhubungan dengan tingkap numerik serat optik (*NA*) dengan hubungan $NA = \sin \theta$. Sedangkan divergensi berkas setelah terpantul dari cermin adalah sebesar θ' .



Gambar 2. Struktur geometri *port sensing* sensor pergeseran serat optik terhadap cermin cekung.

Berkas cahaya yang keluar dari *port sensing* yang terpantul oleh cermin cekung dapat ditunjukkan melalui persamaan :

$$v = \frac{f(z_a + z)}{z_a + z - f} \quad (3)$$

dengan v , f , z , z_a , dan v masing-masing merupakan jarak sumber hasil pantulan terhadap cermin cekung, panjang fokus cermin cekung, jarak berkas laser yang keluar dari *port sensing*, dan jarak *port sensing* dengan cermin cekung. Jarak sumber hasil pantulan terhadap port sensing dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$u = z - \frac{f(z_a + z)}{z_a + z - f} \quad (4)$$

Sudut θ yang dibentuk berkas cahaya yang keluar dari port sensing menuju cermin membentuk dapat ditulis :

$$\tan \theta = \frac{h}{z_a + z} = \frac{a}{z_a} \quad (5)$$

Sementara sudut θ' dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$\tan \theta' = \frac{W}{u} = \frac{h}{v} \quad (6)$$

Untuk jari-jari berkas cahaya yang terpantul kembali sebagai fungsi pergeseran dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$w = \frac{a(z_a + z)^2 - fz_a}{fz_a} \quad (7)$$

Substitusi persamaan (7) ke persamaan (1) maka akan diperoleh persamaan seperti berikut.

$$P_d = P_o \left(1 - \exp \left[- \frac{2(z_a)^2}{(z_a + z)^2 - fz_a} \right] \right) \quad (8)$$

Persamaan (8) menyatakan besar daya optis laser pada *port deteksi* yang dapat berubah terhadap pergeseran dan panjang fokus target yang berupa cermin cekung. Dengan asumsi

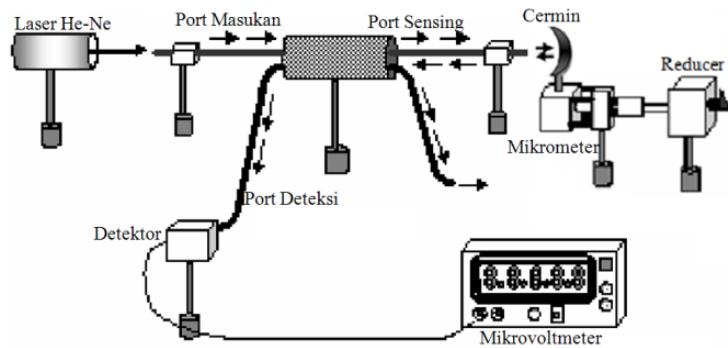
$P = cV$; $P_o = cV_o$; dan $\frac{P}{P_o} = \frac{V}{V_o}$, maka persamaan (8) dapat ditulis menjadi

$$V_d = V_o \left(1 - \exp \left[- \frac{2(z_a)^2}{(z_a + z)^2 - fz_a} \right] \right) \quad (9)$$

Persamaan (10) merupakan hubungan tegangan keluar sebagai fungsi pergeseran.

SET UP EKSPERIMENT

Set up eksperimen sensor pergeseran menggunakan *fiber coupler* dengan target cermin cekung diperlihatkan pada Gambar 3. Set up eksperimen terdiri dari laser He-Ne (Mellesgriot, 632.8 nm, 30 mW), cermin cekung, *fiber coupler* 2×2, detektor 818-SL (Newport), dan mikrovoltmeter (Leybold).

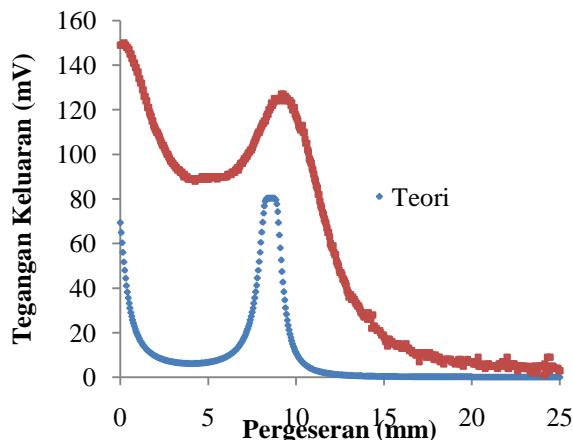


Gambar 3. Set Up Eksperimen Sensor Pergeseran menggunakan *fiber coupler* dengan Target Cermin Cekung.

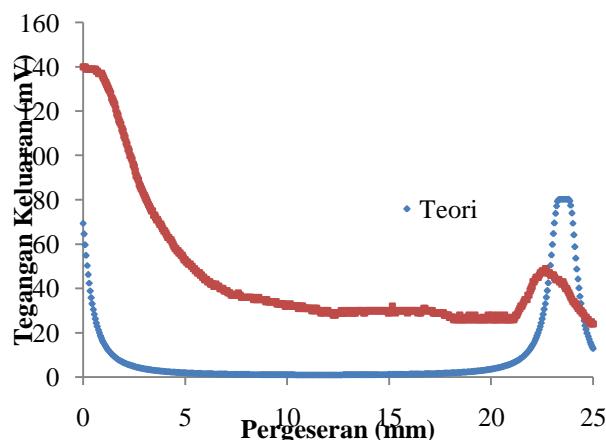
Eksperimen dilakukan dengan mencatat tegangan keluaran yang terbaca pada mikrovoltmeter untuk setiap pergeseran cermin. Pergeseran cermin dilakukan dengan step pergeseran sebesar 50 μm . Pencatatan tegangan keluaran dilakukan sampai tegangan keluaran yang terbaca oleh detektor tidak menunjukkan perubahan yang berarti (cenderung konstan). Langkah tersebut dilakukan pada masing-masing cermin cekung fokus 4,5 mm dan 12 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian baik secara teori maupun eksperimen berupa grafik tegangan keluaran detektor optis sebagai fungsi pergeseran cermin cekung. Hasil penelitian dengan menggunakan cermin cekung fokus 4,5 mm diperlihatkan pada Gambar 4 dan cermin cekung fokus 12 mm diperlihatkan pada Gambar 5.

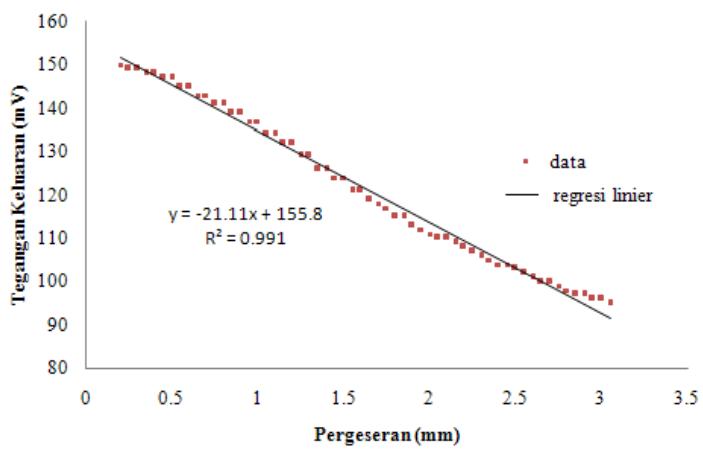


Gambar 4. Hasil Teori dan Eksperimen Sensor Pergeseran Serat Optik Menggunakan Cermin Cekung dengan Fokus 4,5 mm.

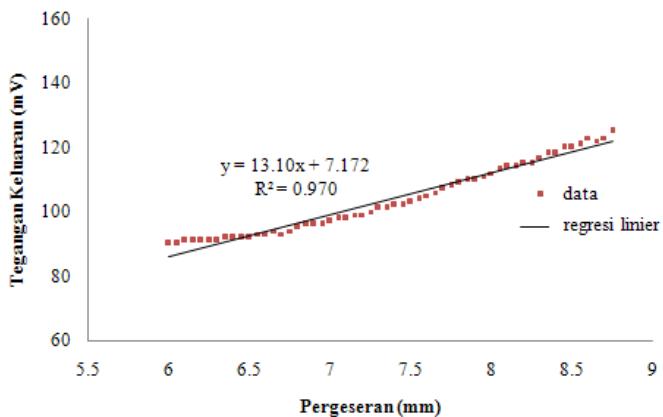


Gambar 5. Hasil Teori dan Eksperimen Sensor Pergeseran Serat Optik Menggunakan Cermin Cekung dengan Fokus 12 mm.

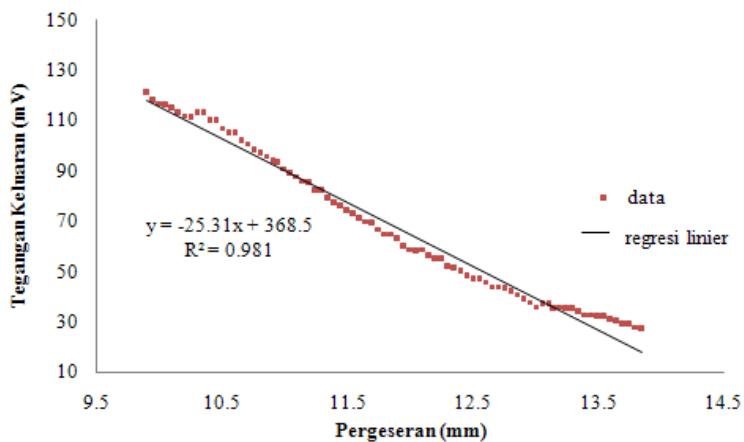
Hasil eksperimen berupa grafik tegangan keluaran detektor optis sebagai fungsi pergeseran cermin cekung pada masing-masing cermin menunjukkan nilai yang tidak sesuai dengan perhitungan secara teori. Hal ini dapat disebabkan oleh *fiber coupler* yang digunakan adalah buatan tangan sehingga diindikasikan bahwa potongan pada tiap ujung *fiber coupler* memiliki kecembungan yang mengakibatkan nilai *NA* lebih besar. Nilai *NA* yang besar menyebabkan besarnya berkas cahaya yang masuk ke *fiber coupler*. Walaupun demikian, hasil perhitungan teori dan eksperimen pada masing-masing cermin memiliki karakteristik yang sama. Kedua cermin cekung menghasilkan tiga buah daerah kerja sensor (daerah linier). Daerah kerja sensor secara eksperimen masing-masing diperlihatkan pada Gambar 6 dan untuk cermin cekung fokus 4,5 mm dan Gambar 7 untuk cermin cekung fokus 12 mm.



(a)

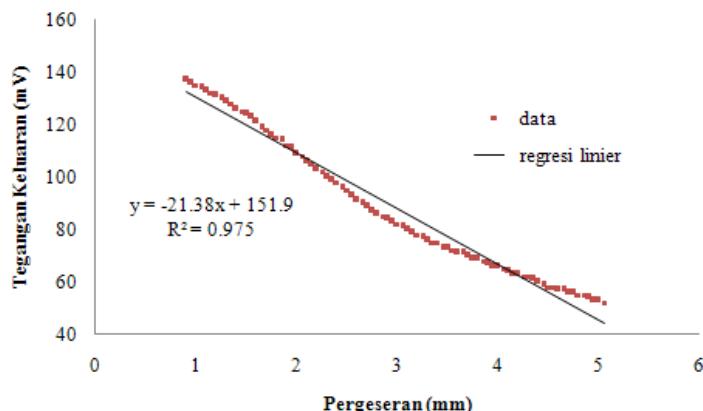


(b)

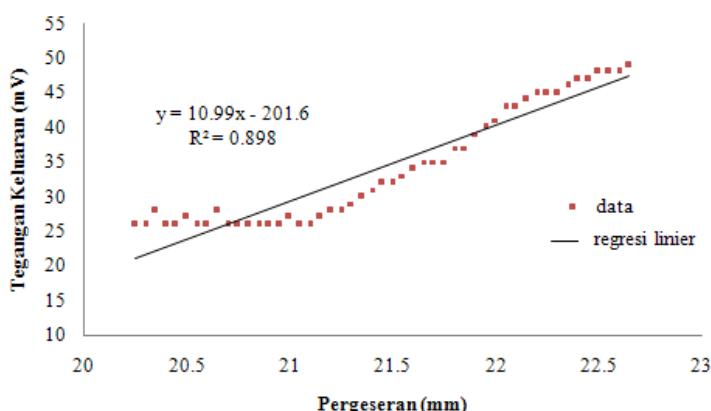


(c)

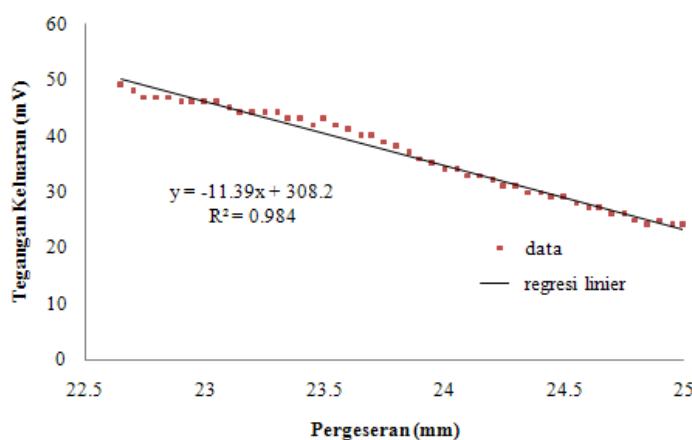
Gambar 6. Grafik Sensor Pergeseran Serat Optik Menggunakan Cermin Cekung dengan Fokus 4,5 mm. (a) Daerah Kerja 1, (b) Daerah Kerja 2, (c) Daerah Kerja 3.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Grafik Sensor Pergeseran Serat Optik Menggunakan Cermin Cekung dengan Fokus 12 mm. (a) Daerah Kerja 1, (b) Daerah Kerja 2, (c) Daerah Kerja 3.

Dari hasil regresi linier yang ditunjukkan oleh Gambar 6 dan Gambar 7 dapat diperoleh parameter-parameter sensor untuk masing-masing cermin yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter sensor pergeseran *fiber coupler* dengan target cermin cekung.

Fokus Cermin Cekung	Parameter	
	Daerah Kerja (mm)	Sensitivitas (mV/mm)
4,5 mm	0,2 – 3,05	21,11
	6 – 8,25	13,10
	9,9 – 13,85	25,31
12 mm	0,9 – 5,05	21,38
	20,25 – 22,65	13,85
	22,65 – 25,00	11,39

Dengan dihasilkan daerah kerja yang lebih banyak, maka pemanfaatan sensor pergeseran menggunakan *fiber coupler* dengan target cermin cekung untuk pengukuran besaran-besaran fisis yang lain seperti suhu, strain bahan, dan ketinggian zat cair akan lebih baik.

KESIMPULAN

Optimasi sensor pergeseran serat optik dapat dilakukan menggunakan *fiber coupler* dengan target berupa cermin cekung. Secara teori dan eksperimen sensor pergeseran menggunakan *fiber coupler* dengan target cermin cekung fokus 4,5 mm dan 12 mm menghasilkan tiga buah daerah kerja sensor pada masing-masing cermin dengan jangkauan 25 mm dengan step pergeseran 50 μm . Eksperimen menunjukkan performa sensor yang baik dengan memberikan sensitivitas sebesar 25,31 mV/mm oleh cermin cekung fokus 4,5 mm pada rentang daerah kerja 9,9 – 13,85 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Rostami, M. Noshad, H. Hedayati, A. Ghanbari dan F. Janabi (2007), *A Novel nad High Precision Optical Displacement Sensor*, IJCSNS 7, 311 – 316
 Baruch M.C., Gerdt D.W., Adkins, (2002), *Fiber Optic Couplers Displacement Sensor*, Proceeding SPIE.

- Bitou, Youichi, 2009, *High Accuracy displacement Metrology and Control Using Dual Fabry-Perot Cavity with an Optcal Frequency Comb Generator*, Precision Engineering, Vol 33, hal 187-193.
- Inaudi, D., Glisic, B., Field Application of of Fiber Optic and Temperature monitoring, Proceeding International Conference Optoelectronic Sensor Based Monitoring In Geo-Engineering, Nanjing, 1-6, 2005.
- Krohn, D.A., 2000, *Fiber Optic Sensor, Fundamental and Application*, 3rd, ISA, New York.
- H.Z. Yang, K.S. Lim, S.W. Harun, K. Damayanti, H. Ahmad, 2010, *Enhanced Bundle Fiber Displacement Sensor Based on Concave Mirror*, Sensors and Actuators A, Vol 162, hal 8-12.
- M. Yasin., Harun, W.S., Abdul Rasyid, H.A., Kusminarto, Karyono dan H.Ahmad, 2007, *The Performance of a Fiber Optic Displacement Sensor for Different Types of Probe and Target*, Laser Physics, Vol. 10, No. 1002, hal 1 – 4.
- Samian, 2008, *Directional Coupler sebagai Sensor Pergesran Mikro*, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Fotonika, Surabaya.
- Samian dan Gatut Yudoyono, 2010, Aplikasi **Multimode Fiber Coupler** sebagai Sensor Temperatur, Jurnal Fisika da Aplikasinya, Vol. 6, No.1, hal. 100104-1 - 100104-4.
- Samian dan Supadi, 2011, *Sensor Ketinggian Air Menggunakan Multimode Fiber Theoretical and Experimental Study of Fiber-Optic Displacement Sensor Using Multimode Fiber Coupler*, Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials, Vol. 1, Issue 3, 303 – 308.