

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING (TAHUN KE-2)
TAHUN ANGGARAN 2010



**RANCANG-BANGUN SISTEM SENSOR NANOPERGESERAN
DENGAN MENGGUNAKAN SERAT OPTIK BUNDEL STEP-INDEKS
MULTIRAGAM SECARA DIGITAL**

Ketua Peneliti:

Dr. Moh. Yasin, M.Si.

Anggota:

Prof. Dr. Kusminarto

Prof. Dr. Karyono, S.U.

Dibiayai oleh Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Dengan nomor kontrak : 340/H3.13/PPd/2010 Tanggal 3 Mei 2010

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING (TAHUN KE-2)
TAHUN ANGGARAN 2010



kk
kfc
LP.134/11
Yas
r



**RANCANG-BANGUN SISTEM SENSOR NANOPERGESERAN
DENGAN MENGGUNAKAN SERAT OPTIK BUNDEL STEP-INDEKS
MULTIRAGAM SECARA DIGITAL**

Ketua Peneliti:

Dr. Moh. Yasin, M.Si.

Anggota:

Prof. Dr. Kusminarto

Prof. Dr. Karyono, S.U.

Dibiayai oleh Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Dengan nomor kontrak : 340/H3.13/PPd/2010 Tanggal 3 Mei 2010

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Rancang Bangun Sistem Sensor Nanopergeseran dengan- Menggunakan Serat Optik Bundel Step-Indeks Multiragam- Secara Digital.

2. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Dr. Moh. Yasin, M.Si.
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. NIP : 196703121991021001
- d. Jabatan Struktural : -
- e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- f. Bidang Keahlian : Sensor serat optik
- g. Fakultas/ Departemen : Sains dan Teknologi/ Fisika
- h. Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga
- i. Tim Peneliti:

No.	Nama	Bidang Keahlian	Fakultas/ Departemen	Perguruan Tinggi
1	Prof. Dr. Kusminarto	Fisika Citra	FMIPA/ Fisika	Univ. Gadjah Mada
2	Prof. Dr. Karyono. S.U.	Fisika Laser	FMIPA/ Fisika	Univ. Gadjah Mada

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian:


- a. Jangka waktu penelitian : 6 bulan (bulan Mei s/d Oktober 2010)
- b. Biaya yang disetujui tahun II (2010) : 32.500.000.- (Tiga puluh dua juta lima ratus ribu rupiah).

Surabaya, 30 Oktober 2010

Ketua Peneliti,

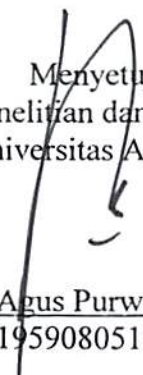
Mengetahui,


Prof. Drs. Win Darmanto, M.Si., Ph.D.
NIP. 196106161987011001


Dr. Moh. Yasin, M.Si.
NIP. 196703121991021001

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat
Universitas Airlangga




Dr. Djoko Agus Purwanto, M.Si., Apt.
NIP. 195908051987011001

RINGKASAN PENELITIAN

Kebutuhan akan pengukuran suatu besaran fisis seperti pergeseran suatu obyek berorde panjang gelombang (sub-mikrometer sampai sub-nanometer) secara tak-menyentuh (*non-contact*) dengan kepekaan, ketelitian dan stabilitas tinggi adalah kunci mikro-nano teknologi. Tujuan penelitian ini (Tahun II) adalah sebagai berikut: (1) menentukan kinerja sensor serat optik berbasis modulasi intensitas, (2) membandingkan kinerja sensor serat optik antara probe serat bundel dan coupler, dan (3) menentukan resolusi sensor pergeseran serat optik berbasis modulasi intensitas untuk probe bundel dan coupler.

Serat optik yang digunakan adalah serat optik plastik bundel step-indeks multiragam dengan panjang 2 m dengan susunan probe konsentris (terdiri dari sebuah serat pemancar dan 16 buah serat penerima dan serat optik jenis coupler). Sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne kuning (594 nm) yang dimodulasi oleh chopper mekanik secara eksternal. Metode deteksi yang digunakan adalah berbasis perubahan intensitas pantulan dari obyek yang bergeser. Sumber cahaya dilewatkan ke serat pemancar kemudian mengenai obyek dan mengalami pantulan. Berkas pantulan ini diterima oleh serat penerima dan dikonversi ke sinyal listrik oleh detektor optik (Newport, 818SL) kemudian dan disimpan dan ditampilkan di komputer secara digital.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem sensor serat optik dapat digunakan untuk mengukur pergeseran obyek dengan resolusi terbaik 0,9 μm (untuk probe serat bundel) dan jangkauan linear terpanjang sebesar 2,0 mm (untuk probe serat coupler). Kesederhanaan rancangan sistem sensor membuat sensor ini mempunyai potensi yang sangat luas untuk aplikasi di industri seperti pengaturan posisi dan pengukuran pergeseran di daerah yang sulit dijangkau dan berbahaya.

SUMMARY

The non-contact measurement of physical quantities such as displacement of objects with wavelength order (sub-micron to sub-nanometer) with high sensitivity, accuracy and stability is key of micro-nanotechnology. The aim of this research (the second year) as follows: (1) to investigate the performance of the fiber optic sensor based on intensity modulation, (2) to compare the performance of the sensor between the bundle probe and coupler, and (3) to obtain the resolution of the fiber sensor based on intensity modulation for the bundle and coupler probe.

The experimental setup consists of a light source, an optical fiber probe and a silicon detector, which is connected to a lock-in amplifier and digital voltmeter. The fiber probe is a bundled plastic fiber 2m long, which consists of one transmitting core and 16 receiving cores. The light source is a yellow He-Ne laser with a peak wavelength of 594 nm, which is modulated externally by chopper with a frequency of 200Hz. The modulated light source is used in conjunction with lock-in amplifier to reduce the dc drift and interference of ambient ray light. In this displacement sensor, the intensity modulation technique is adopted and a metal object is used as a reflecting target. The light from a light source enters a transmitting core and then radiates to the target, and the light reflected from object surface is transmitted through the receiving core to a photo-detector. The amount of light returning to detector depends on the displacement between the end of the probe and the target being monitored at a computer digitally.

The result shows that the sensor with bundle probe exhibits the best resolution was obtained at 0.9 μm and the widest linear range of 2,0 mm for the coupler probe. The simplicity of the design, high degree of sensitivity, dynamic range, non contact measurement and low cost of the fabrication make it suitable for applications in industries for position control and micro-displacement measurements in the hazardous region.

PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah S.W.T atas selesainya Penelitian Hibah Bersaing untuk tahun kedua ini dengan judul “Rancang-Bangun Sistem Sensor Nanopergeseran dengan Menggunakan Serat Optik Bundel Step-Indeks Multiragam Secara Digital”. Penelitian ini merupakan peningkatan dan pengembangan sensor pergeseran serat optik berbasis yang berbasis modulasi intensitas dan merupakan salah satu misi Lab. Optik dan Aplikasi Laser, Departemen Fisika FST Univ. Airlangga. Dengan selesainya penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. DP2M DITJEN DIKTI, DEPDIKNAS, yang telah memberikan dana sehingga kegiatan penelitian ini dapat berjalan dengan baik,
2. Rektor Universitas Airlangga dan Ketua LPPM Unair, yang telah memberi rekomendasi sehingga penelitian ini dapat didanai oleh Dikti,
3. Dekan FST dan Ketua Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Unair yang telah memberikan persetujuan penelitian ini,
4. Kepala Lab. Fotonik Universiti Malaya, yang telah banyak membantu penyediaan sebagian peralatan penelitian dan diskusi yang telah dilakukan sehingga mampu menghasilkan paper di jurnal internasional,

Akhirnya penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kemajuan dan pengembangan penelitian tentang sensor serat optik untuk pengukuran obyek berorde nanometer.

Surabaya, Oktober 2010.

Tim Peneliti.

DAFTAR ISI



	Halaman
Lembar Pengesahaan	i
Ringkasan	ii
Summary	iii
Prakata	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
Abstrak	viii
Laporan Eksekutif	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Studi Pustaka	4
2.2. Dasar Teori	7
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	13
3.1. Tujuan Penelitian	13
3.2. Manfaat Penelitian	13
BAB IV. METODE PENELITIAN	15
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	15
4.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	15
4.3. Jalan Penelitian	17
4.4. Analisis Data	19
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
5.1. Hasil Penelitian dan Pembahasan	20
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	25
6.1. Kesimpulan	25
6.2. Saran	25
Daftar Pustaka	26

DAFTAR TABEL

	Halaman
Table 5.1. Kinerja sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat bundel Aplikasi sensor serat optik secara umum	24
Table 5.2. Kinerja sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat coupler	24

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema dasar sensor serat optik	7
Gambar 2.2. Ujung probe serat bundel pemancar dan penerima	7
Gambar 2.3. Berkas kerucut cahaya yang keluar dari serat pemancar mengenai- Cermin dan masuk ke serat penerima bayangan	8
Gambar 2.4. Sebaran berkas Gaussian paraxial	10
Gambar 2.5. Sebaran berkas Gaussian dari serat pemancar ke serat penerima- (bayangan) melalui cermin	10
Gambar 2.6. Daya luaran ternormalisasi (P_N) terhadap pergeseran ternormalisasi (h_N) (Faria, 1999)	12
Gambar 4.1. Blok diagram set-up eksperimen sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat optik bundel step-indeks multiragam	18
Gambar 4.2. Blok diagram set-up eksperimen sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat coupler multiragam	18
Gambar 5.1. Tegangan luaran penguat lock-in sebagai fungsi pergeseran obyek untuk probe serat bundel	21
Gambar 5.2. Tegangan luaran penguat lock-in sebagai fungsi pergeseran obyek untuk probe serat coupler	22
Gambar 5.3. Tegangan luaran penguat lock-in sebagai fungsi pergeseran untuk probe serat coupler (90:10) untuk beberapa variasi intensitas cahaya	24

ABSTRAK

Telah dirancang dan dibuat suatu sistem sensor pergeseran serat optik berbasis modulasi intensitas. Serat optik yang digunakan adalah serat optik plastik bundel step-indeks multiragam dengan panjang 2 m dengan susunan probe konsentris (terdiri dari sebuah serat pemancar dan 16 buah serat penerima) dan serat optik jenis coupler. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne kuning ($\lambda=594$ nm) yang dimodulasi oleh chopper mekanik secara eksternal pada frekuensi 210 Hz. Metode deteksi yang digunakan adalah berbasis perubahan intensitas pantulan dari obyek yang bergeser. Sumber cahaya dilewatkan ke serat pemancar kemudian mengenai obyek dan mengalami pantulan. Berkas pantulan ini diterima oleh serat penerima dan dikonversi ke sinyal listrik oleh detektor optik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem sensor pergeseran serat optik berbasis modulasi intensitas mempunyai resolusi terbaik 0,9 μm (untuk probe serat bundel) dan jangkauan linear terpanjang sebesar 2,0 mm (untuk probe serat coupler).

Kata kunci: serat optik, probe serat bundel, serat optik coupler dan sensor pergeseran.

LAPORAN EKSEKUTIF

Rancang Bangun Sistem Sensor Nanopergeseran dengan Menggunakan Serat Optik Bundel Step-Indeks Multiragam Secara Digital

Oleh:

Dr. Moh. Yasin, M.Si.
Prof. Dr. Kusminarto
Prof. Dr. Karyono, S.U.

I. PERMASALAHAN DAN TUJUAN PENELITIAN

Kebutuhan pengukuran suatu besaran fisis seperti pergeseran suatu obyek berorde panjang gelombang (sub-mikron sampai sub-nanometer) secara tak-menyentuh (*non-contact*) dengan kepekaan, ketelitian dan stabilitas tinggi adalah kunci mikro-nano teknologi. Kebutuhan suatu piranti instrumentasi di industri dan medis dengan ketelitian dan resolusi yang tinggi seperti: sensor pergeseran, stress, strain, suhu, getaran dan sebagainya merupakan suatu hal yang mendesak untuk segera direalisasikan khususnya di dalam negeri. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut, di dalam penelitian ini telah dibuat suatu sistem sensor pergeseran secara tak-menyentuh dengan menggunakan komponen serat optik plastik jenis bundel dan coupler multiragam yang harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan jenis serat optik yang lain. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu sensor pergeseran yang mampu mendeteksi pergeseran obyek dalam jangkauan berorde sub-mikron secara tak-menyentuh dengan stabilitas yang sangat tinggi.

II. INOVASI IPTEKS

Pengembangan sensor pergeseran berbasis fenomena optik dengan menggunakan teknik modulasi intensitas pantulan merupakan suatu terobosan dalam hal pengembangan sistem instrumentasi yang selama ini menggunakan metode konvensional. Sensor pergeseran berorde sub-mikron dengan menggunakan serat optik ini mempunyai banyak keuntungan

dibandingkan dengan sensor pergeseran konvensional yang lain, seperti: non-elektrik, tahan ledakan, tak-menyentuh, dapat dikendalikan dari jarak jauh, ukuran dan berat kecil, mudah diakses, mudah diinstal, kebal terhadap interferensi frekuensi radio dan interferensi elektromagnetik, daya tahan dan ketelitian tinggi, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data, transmisi datanya aman dan kebal terhadap radiasi ionisasi.

Menurut beberapa sumber pustaka yang telah dipublikasikan di beberapa jurnal internasional, disebutkan bahwa teknik modulasi intensitas hanya mampu mendeteksi obyek sekitar 10 μm saja. Di dalam penelitian ini, telah berhasil dilakukan suatu inovasi ipteks melalui modifikasi disain sensor dan penyinerjian antara sumber cahaya, jenis probe serat optik dan detektor, sehingga dapat diperoleh resolusi pergeseran sebesar 0,9 μm (sub-mikron) dan jangkauan yang panjang dalam orde milimeter (2,0 mm).

III. KONTRIBUSI TERHADAP PEMBANGUNAN

Dengan telah dibuatnya sistem sensor pergeseran yang mempunyai kinerja yang sangat baik ini, bila dapat dibuat seluruhnya di dalam negeri dengan harga komponen optik dan elektronik yang lebih murah di masa yang akan datang, maka dapat menghemat devisa negara karena ketergantungan impor dari pihak luar akan semakin berkurang. Namun demikian, kerjasama dengan mitra bestari untuk sekarang ini masih diperlukan dalam rangka untuk mempermudah melakukan publikasi internasional.

IV. MANFAAT BAGI INSTITUSI

Penelitian ini dilakukan di tiga institusi yaitu: (1) Laboratorium Optik dan Aplikasi Laser, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, (2) Laboratorium Fisika Atom dan Inti, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada dan (3) Photonics Research Center (PRC),

Department of Physics, Faculty of Science, University of Malaya, Kuala Lumpur Malaysia.

Dengan melibatkan ketiga institusi tersebut, maka telah berhasil dibuat sistem sensor dengan kualitas dan kinerja yang sangat baik serta sekaligus dapat mempererat kerjasama yang kuat di bidang pengembangan sensor serat optik yang perkembangannya sangat cepat.

Salah satu manfaat yang diperoleh bagi institusi (universitas airlangga) adalah jumlah publikasi yang meningkat pada jurnal internasional (ISI Index), sehingga dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam mempertahankan bahkan meningkatkan peringkat universitas airlangga menuju universitas kelas dunia (*world class university*). Selama dilakukan penelitian sensor pergeseran serat optik dan beberapa aplikasinya, telah dihasilkan 13 paper yang dipublikasikan di beberapa jurnal internasional (ISI Index) seperti jurnal-jurnal: *laser physics letters*, *laser physics*, *fiber and integrated optics*, *microwave and optical technology letters*, *journal of optoelectronics and advanced materials*. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan beberapa staf di departemen fisika FST Unair, sehingga beberapa staf (antara lain: Prof. Suhariningsih, Dr. Moh. Yasin, Dr. Retna Apsari, Samian, M.Si., A.H. Zaidan, M.Si. dan Drs. Pujiyanto, M.S.) sudah mempunyai indeks-h (*h-index*) berkisar antara 1-3 yang dikeluarkan oleh ISI Web of Knowledge (Thompson Reuters).

V. PUBLIKASI ILMIAH (Artikel Terlampir)

Hasil penelitian ini telah dipublikasikan di Jurnal Internasional (ISI Index):

Yasin M., S.W. Harun, Z.A.Ghani, Pujiyanto, and H. Ahmad, "Performance Comparison between Plastic-Based Fiber Bundle and Multimode Fused Coupler as Probes in Displacement Sensors", *Laser Physics*, Vol. 20, No. 10 (2010) pp. 1890-1893.

Seminar Nasional:

Moh. Yasin, "*Fiber Optic Sensor and Its Applications*", Prosiding Simposium Fisika Nasional ke-23 (SFN ke-23), Himpunan Fisika Indonesia (HFI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) - Surabaya, 5 Oktober 2010.

BABI PENDAHULUAN

M I L I K
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
S U R A B A Y A

1.1. Latar Belakang Penelitian

Kebutuhan pengukuran suatu besaran fisis seperti pergeseran suatu obyek berorde panjang gelombang (sub-mikron sampai sub-nanometer) secara tak-menyentuh (*non-contact*) dengan kepekaan, ketelitian dan stabilitas tinggi adalah kunci mikro-nano teknologi. Sensor pergeseran berorde nanometer dengan menggunakan serat optik mempunyai banyak keuntungan dalam pemanfaatannya dibandingkan dengan sensor pergeseran konvensional yang lain (Krohn, 2000). Keuntungan sensor optik tersebut antara lain: non-elektrik, tahan ledakan, tak-menyentuh, dapat dikendalikan dari jarak jauh, ukuran dan berat kecil, mudah diakses, mudah diinstal, kebal terhadap interferensi frekuensi radio dan interferensi elektromagnetik, daya tahan dan ketelitian tinggi, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data, transmisi datanya aman dan kebal terhadap radiasi ionisasi.

Banyak besaran fisis dapat dideteksi secara optis dengan menggunakan serat optik dan detektor optik. Berbagai besaran fisis seperti: intensitas cahaya, pergeseran (posisi), suhu, tekanan, putaran, suara, regangan (*strain*), medan magnetik, medan listrik, radiasi, aliran, tingkat ketinggian cairan, analisis kimia dan getaran adalah besaran yang dapat diindra dan dideteksi oleh serat optik dan detektor optik. Perubahan yang dapat dideteksi oleh serat optik dan detektor optik dapat dikonversi menjadi perubahan intensitas, perubahan fase dan perubahan panjang gelombang.

Pemanfaatan serat optik sebagai sensor dapat dibagi menjadi tiga metode, yaitu: berbasis teknik perubahan fase, perubahan gelombang dan perubahan intensitas. Pertama, sensor yang berbasis perubahan-fase adalah membandingkan fase cahaya yang

diindera oleh serat optik penguji (*probe*) terhadap serat optik acuan (*reference*) dalam piranti interferometri laser. Beda fase dapat diukur dengan sangat peka, namun memerlukan piranti yang lebih kompleks dan relatif mahal. Piranti interferometri laser yang bekerja atas dasar pencacahan rumbai (*fringe*) mempunyai stabilitas dan resolusi yang tinggi, tetapi ketelitian dan stabilitasnya bergantung pada panjang gelombang cahaya yang digunakan. Kedua, sensor berbasis perubahan-panjang gelombang yang menggunakan FBG (*Fiber Bragg Grating*) sebagai pengindera (*sensing*) untuk melakukan transformasi langsung besaran fisis yang diindera kedalam pergeseran panjang gelombang. Penggunaan sensor FBG ini memerlukan peralatan yang khusus dan mahal, seperti Optical Spectrum Analyzer (OSA) yang digunakan untuk mendeteksi perubahan panjang gelombang atau demodulator untuk mengkonversi perubahan panjang gelombang kedalam perubahan daya atau arus. Beberapa penelitian tentang sensor FBG telah dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya laser tertala (*tunable*) (Chan et al., 2001) atau menggunakan gabungan sumber cahaya pita-lebar (*broadband*) dan filter tertala Fabry-Perot (Kersey et al., 1993). Metode ini memerlukan peralatan yang sangat mahal dan kecepatan pengukurannya dibatasi oleh kecepatan penyapuan (*scanning*) penalaan filter atau penalaan laser. Selanjutnya metode ini juga memerlukan manipulasi data lanjutan (algoritma pencarian puncak) untuk menentukan pergeseran panjang gelombang (Jun Hong et al., 2007). Dan yang ketiga adalah sensor optik berbasis teknik perubahan intensitas pantulan, metode ini adalah metode yang paling sederhana untuk mendapatkan ketelitian pengukuran yang tinggi (Huimin Cao et al., 2007). Sensor berbasis modulasi intensitas ini mempunyai keuntungan antara lain: pengukurannya tak menyentuh, kebal terhadap interferensi elektromagnetik, ketelitian tinggi, tanggapan frekuensi lebar, struktur sederhana, biaya murah dan ukuran kecil. Teknik ini tidak hanya digunakan sebagai sensor pergeseran saja, tetapi juga dapat

berfungsi sebagai transduser sekunder untuk pengukuran sifat fisis yang berhubungan dengan pergeseran, seperti suhu (Zhao et al., 2003), tekanan (Park et al., 1999) dan suara (He dan Cuomo, 1991).

Di dalam penelitian ini, dibuat suatu sistem sensor pergeseran serat optik berbasis perubahan intensitas pantulan dengan menggunakan probe serat bundel dan serat coupler. Jenis serat optik yang digunakan adalah serat optik bundel jenis plastik (*plastic optical fibers/POFs*), bila dibandingkan dengan serat optik jenis kaca (*glass optical fibers/ GOFs*) serat dengan jenis POF memiliki beberapa keunggulan, yaitu: konektornya tidak rumit, harganya murah dan bahaya kerusakan konektor sangat kecil (Gonalbi dan Azimi, 2008). Dalam perancangan dan pembuatan sensor ini juga diukur kinerja sensor yang meliputi kepekaan, jangkauan linear, linearitas dan resolusi.

1.2. Rumusan Masalah

Dengan mengacu pada latar belakang permasalahan, maka dapat disusun permasalahan penelitian untuk tahun pertama ini adalah sebagai berikut,

1. Apakah serat optik plastik bundel step-indeks multiragam dan probe serat optik coupler dapat digunakan sebagai komponen sensor pergeseran obyek berorde sub-mikrometer yang berbasis perubahan intensitas pantulan?
2. Berapakah resolusi dan jangkauan linear yang dapat dicapai oleh sistem sensor pergeseran yang telah dibuat dengan menggunakan probe serat optik bundel dan serat optik coupler?

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Pustaka

Metode deteksi tak-menyentuh dengan teknik pengungkit optis pada awalnya diusulkan oleh Frank and Kissinger pada tahun 1966-1967 (Suganuma et al., 1999) dan kemudian dilakukan analisis geometri oleh Cook dan Hamm (1979) dengan model yang terdiri dari sumber cahaya, serat optik bundel kembar dan fotosensor. Susunan bundel terdiri dari satu serat pemancar dan enam serat penerima disekelilingnya. Sumber cahaya masuk kedalam serat pemancar dan mengenai sasaran dan dipantulkan kembali masuk serat penerima yang kemudian dideteksi oleh fotodetektor sebagai fungsi jarak antara probe serat bundel dan permukaan obyek.

Shimamoto dan Tanaka (1995) telah memperagakan bundel serat optik dengan susunan acak dengan menggunakan sumber cahaya LED termodulasi untuk meningkatkan resolusi dan mengurangi hanyutan termal (*thermal drift*). Selanjutnya perkembangan sensor pergeseran dengan pendekatan analisis teoritis berbasis pendekatan geometri dan pendekatan berkas Gaussian terus diikuti dan dipelajari (Shimamoto dan Tanaka, 1996; Faria, 1998; Buchade dan Shaligram, 2006; Huimin Cao et al., 2007).

Upaya pengembangan ke arah rancang bangun sensor pergeseran serat optis di dalam negeri telah dirintis oleh Yasin (1999) melalui penelitian Tesis S-2 (Magister Fisika) di Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan sumber cahaya LED. Kemudian dilanjutkan dengan eksperimen tentang hubungan linearitas yang baik antara rugi daya optis terhadap jarak antar dua ujung serat optik indeks-undak multiragam (Yasin, 1999; Yasin dan Pujiyanto, 2000; Yasin et al., 2000). Pengembangan rancang

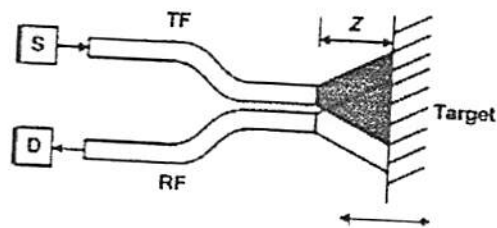
bangun sistem sensor pergeseran serat optik dengan susunan bundel berbentuk pasangan (*pair*) terus dilakukan sampai pada orde pergeseran mikrometer (Yasin dan Pujiyanto, 2001) kemudian upaya pengembangan ke arah dasar-dasar digitisasi dilakukan dengan menggunakan detektor CCD (Yasin, 2005). Pemanfaatan prinsip sensor pergeseran serat optik untuk pengukuran gaya berat dilakukan dengan hasil yang cukup baik (Yasin, 2003). Hasil-hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan mempunyai beberapa kelemahan, antara lain: kinerja dan stabilitasnya rendah.

Setelah masuk abad ke-21, perkembangan sensor pergeseran serat optik sangat pesat baik berbasis teknik modulasi fase, panjang gelombang dan intensitas. Pengembangan sensor serat optik berbasis modulasi fase telah dikembangkan oleh Qiu et al., (2004) dengan membuat sensor pergeseran berbasis interferensi berkas Gaussian untuk mengukur pergeseran pada permukaan bahan dielektrik dan bahan transparan optis. Pengembangan sensor pergeseran berbasis teknik modulasi panjang gelombang telah dilakukan oleh Chan et al., (2006) untuk mengukur pergeseran dan amplitudo getaran dengan menggunakan sensor FBG secara kompak, kemudian Jun Hong et al., (2007) telah merancang dan membuat sensor pergeseran kisi Bragg dengan kepekaan 75,77 mV/mm untuk daerah linear 0-3,3 mm dan 165,48 mV/mm untuk daerah linear lebih dari 3,3 mm. Eksperimen sensor pergeseran serat optik bundel konsentris dengan obyek berupa cermin datar juga telah dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya laser merah (laser He-Ne) berpanjang gelombang 633 nm yang menghasilkan kepekaan sebesar 0,1688 mV/ μ m untuk daerah 50 sampai 350 μ m dan 0,0298 mV/ μ m untuk daerah 1050 sampai 2200 μ m (Yasin et al., 2007). Hasil penelitian terakhir yang berhasil dicapai adalah pergeseran obyek dengan resolusi berorde mikrometer (Yasin et al., 2008).

Pengembangan sensor pergeseran berbasis teknik modulasi intensitas berkas pantulan telah dilakukan oleh Kulkarini et al., (2006) yang melakukan eksperimen sensor pergeseran serat optik dengan menggunakan coupler dan sumber cahaya inframerah yang menghasilkan luaran linear dengan slope tunggal dengan kepekaan $6,28 \mu\text{W}/\text{mm}$, dan jangkauan linear 1mm dengan linearitas 95%. Kemudian Prella et al., (2006) telah mendeteksi pergeseran dengan resolusi tinggi (orde nanometer) dan jangkauan linear mencapai $80 \mu\text{m}$. Huimin Cao et al., (2007) telah mempelajari secara analisis teori dan eksperimen sensor pergeseran serat optik dengan berbagai susunan bundel serat optik singlemode dan dua luaran yang berbentuk nisbah antara jumlah dan pengurangan masing-masing sinyal luaran, kepekaan yang diperoleh sebesar $0.0008993 \mu\text{m}^{-1}$, jangkauan linear $405 \mu\text{m}$, dan jangkauan dinamis 120 dB. Binu et al., (2007) telah memanfaatkan sensor pergeseran untuk mengukur amplitudo dan frekuensi getaran, yang mampu mengukur amplitudo getaran dari 0,008 sampai dengan 0,74 mm dalam jangkauan frekuensi 75 sampai 275 Hz, kepekaan yang dicapai $0,893 \text{ V}/\text{mm}$ dari 0,6 sampai 2,1 mm dan $-0,226$ dari 2,9 sampai 5,9 mm. Binu et al., (2006) juga telah melakukan simulasi dan eksperimen untuk berbagai macam sudut antara serat pemancar (*transmitting fiber/ TF*) dan serat penerima (*receiving fiber/ RF*), kepekaan yang diperoleh meningkat 16 kali dan jangkauan linear berkurang 33% ketika sudut antara TF dan RF divariasi dari 0° sampai 30° . Kinerja sistem sensor pergeseran dengan menggunakan sumber cahaya laser tanpa modulasi juga telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan menghasilkan kinerja yang cukup baik dengan jangkauan dinamis sampai 2,2 mm (Yasin et al., 2008) dan sistem sensor pergeseran dengan menggunakan sumber cahaya laser termodulasi dapat meningkatkan stabilitas pengukuran dan jangkauan dinamis sampai 4 mm (Yasin et al., 2008).

2.2. Dasar Teori

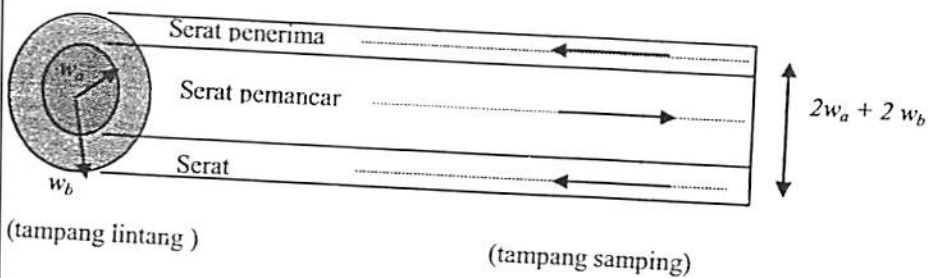
Gambar 2.1 menunjukkan skema dasar sensor pergeseran serat optik, sumber cahaya (S) masuk kedalam serat pemancar (TF) dan mengenai sasaran (*target*), kemudian cahaya dipantulkan oleh permukaan sasaran dan ditransmisikan kembali melalui serat penerima (RF) yang kemudian ke detektor optik (D).



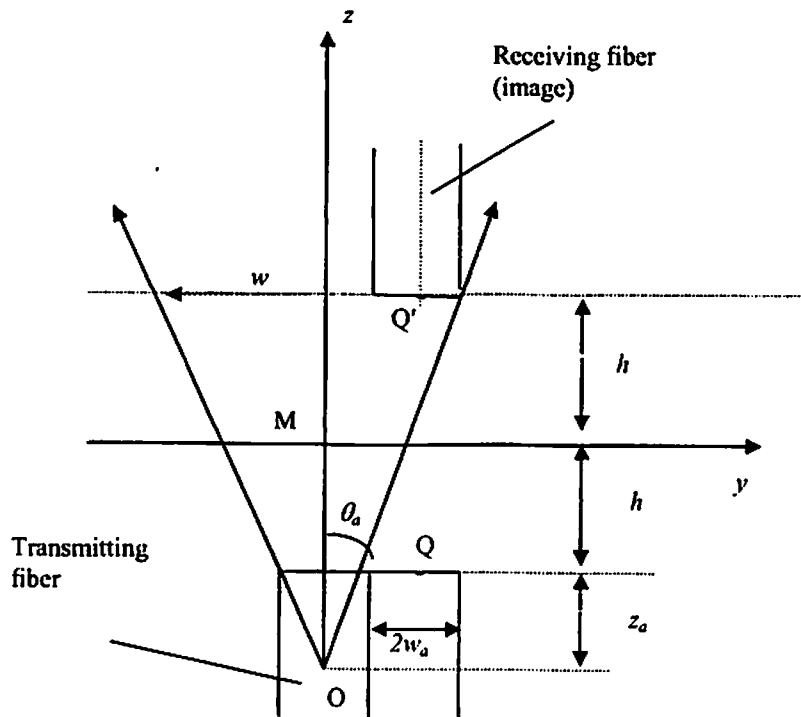
Gambar 2.1. Skema dasar sensor serat optik

Dalam analisis teori dengan menggunakan serat optik bundel dengan susunan berbentuk pasangan (*pair*) dapat diasumsikan sebagai berikut (Faria, 1998),

1. Susunan ujung bundel di depan cermin antara serat pemancar dan serat penerima dianggap sejajar dan tidak ada ruang atau jarak pisah antara keduanya. Luas penampang kedua serat dianggap berbentuk lingkaran sempurna dengan luas S_a dan jari-jari w_a (Gambar 2.2),
2. Cahaya yang meninggalkan serat bundel pemancar diwakili oleh kerucut simetris sempurna dengan sudut sebaran (*divergence*) θ_a , pusatnya di titik O dengan jarak z_a di dalam serat bundel (Gambar 2.3).



Gambar 2.2. Ujung probe serat bundel pemancar dan penerima



Gambar 2.3. Berkas kerucut cahaya yang keluar dari serat pemancar mengenai cermin dan masuk ke serat penerima bayangan

Di dalam menentukan berkas cahaya yang masuk ke serat penerima, tidak diperlukan peninjauan berkas pantulan oleh cermin ke serat penerima. Oleh karena pemantul merupakan cermin datar sempurna dan sederhana, maka serat penerima dapat dianggap sebagai serat bayangan yang berada di belakang cermin (Gambar 2.3).

Sekarang dikenalkan koordinat z yang lurus dengan sumbu (*longitudinal*) pancaran kerucut berkas cahaya yang beawal di posisi O dan diperluas sampai permukaan cermin.

Koordinat pusat di Q' di dalam ujung bundel penerima:

$$\begin{aligned}
 y &= 2w_a \\
 z &= z_a + 2h
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dengan h adalah jarak pergeseran yang akan dipantau. Pendekatan yang akan dilakukan adalah berbasis gelombang elektromagnetik berkas Gaussian paraxial.

Sekarang ditinjau berkas gelombang dengan profil Gaussian, radiasi berkas cahaya yang dipancarkan tidak dipertahankan tetap tetapi berkurang secara radial yang memenuhi hukum eksponensial (Saleh dan Teich, 1991), yaitu:

$$I(r, z) = \frac{2P_E}{\pi w^2(z)} \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2(z)}\right) \quad (2)$$

Dengan r adalah koordinat radial, z adalah koordinat longitudinal dan w adalah ukuran berkas pada jarak z yang dapat ditulis sebagai berikut:

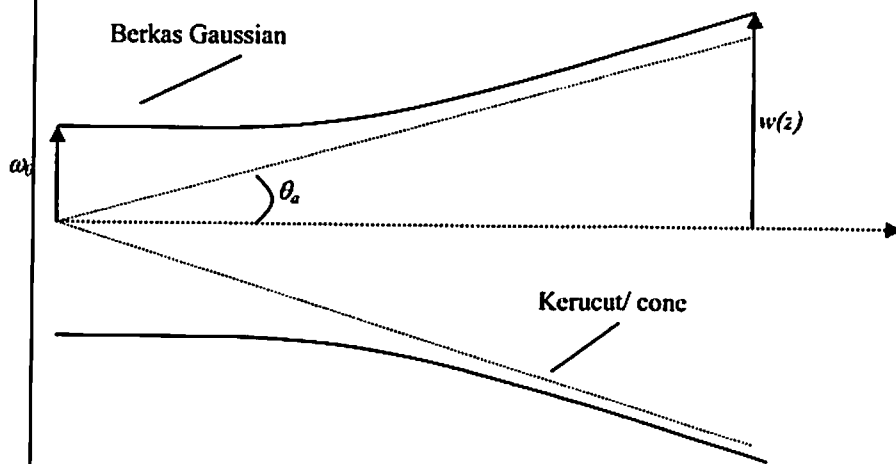
$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + (z/z_R)^2} \quad (3)$$

Tetapan w_0 (jari-jari pinggang berkas cahaya/ *waist radius*) dan z_R (jangkauan Rayleigh) adalah parameter berkas karakteristik yang mempunyai hubungan dengan panjang gelombang cahaya yaitu $\pi w_0^2 = \lambda z_R$, untuk keadaan medan jauh dari pusat berkas ($z \gg z_R$) berkas memenuhi bentuk gelombang bola yang dibatasi oleh kerucut (Gambar 2.4) yang dicirikan oleh sudut sebaran sebagai berikut:

$$\theta_a \approx \tan \theta_a = \frac{w(z)}{z} = \frac{w_0}{z_R} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (4)$$

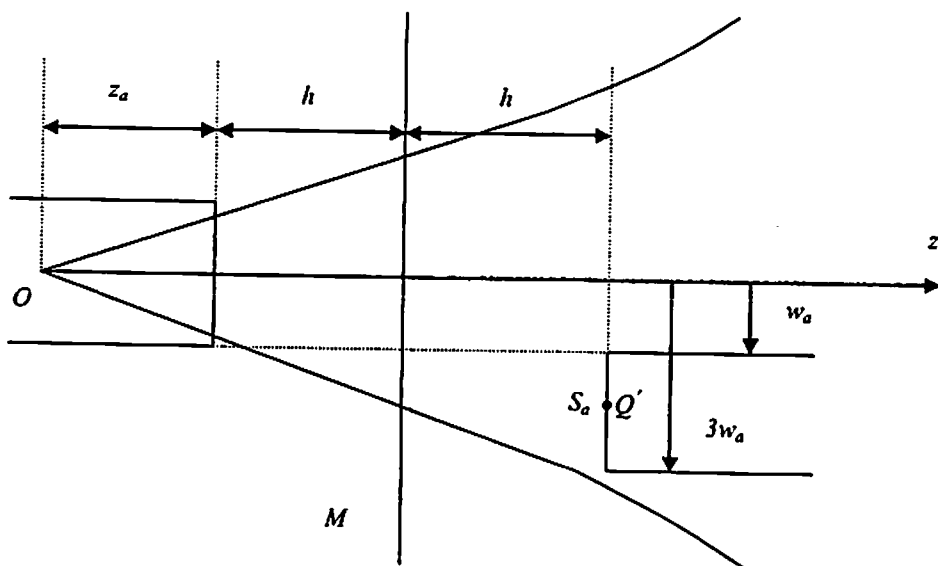
Untuk penyederhanaan ($z \gg z_R$) fungsi intensitas radiasi dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$I(r, z) = \frac{2}{z^2} \frac{P_E}{\pi \theta_a^2} \exp\left(-\frac{2r^2}{\theta_a^2 z^2}\right) \quad (5)$$



Gambar 2.4. Sebaran berkas Gaussian paraxial

Untuk cermin pada posisi h dari ujung bundel serat pemancar dan serat penerima (Gambar 2.5), terdapat hubungan: $z = z_a + 2h$ dan $w_a < r < 3w_a$, dan untuk medan jauh diperlukan asumsi $z_a \gg z_R$ yang biasanya cocok untuk serat optik multimode dengan nilai aperture numeric (NA) yang cukup besar, yaitu sekitar 0,2.



Gambar 2.5. Sebaran berkas Gaussian dari serat pemancar ke serat penerima (bayangan) melalui cermin

Daya optis yang masuk ke serat penerima dilakukan dengan mengintegrasikan intensitas berkas cahaya (I) yang diberikan oleh persamaan (5) yang mencakup luasan penampang ujung bundel S_a :

$$P(z) = \int_{S_a} I(r, z) dS \quad (6)$$

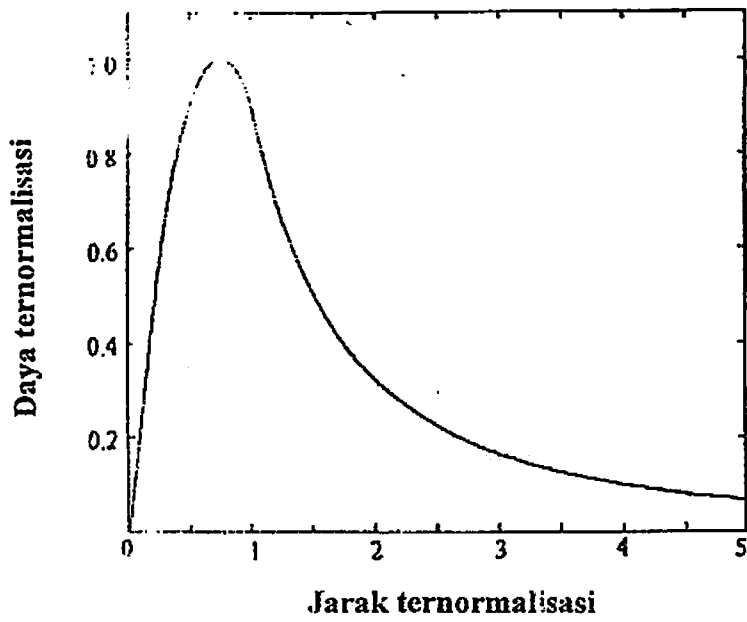
Pendekatan pertama yang digunakan untuk menghitung daya pada persamaan (6) adalah luas permukaan bundel penerima, $S_a = \pi w_a^2$, intensitas berkas cahaya $I(r, z)$ dipertahankan tetap dan sama dengan nilai di pusat bundel (titik Q'; $r = 2w_a \approx 2\theta_a z_a$), dalam kasus ini diperoleh:

$$P = IS = \frac{2P_E}{\xi^2} \exp\left(-\frac{8}{\xi^2}\right) \quad (7)$$

Dengan $\xi = z/z_a = 1 + 2h/z_a = 1 + 2h_N$. Dengan menganalisis keadaan $dP/d\xi = 0$ diperoleh $\xi = \sqrt{8}$ (yaitu $h_N = 0,9142$) daya akan mencapai maksimum $P_{maks} = P_E / (4e)$, dengan meninjau hal ini, persamaan (7) dapat ditulis dalam bentuk daya ternormalisasi, $P_N = P/P_{maks}$ sebagai fungsi pergeseran relatif (*a relative displacement*, h_N) sebagai berikut:

$$P_N = \frac{8}{\xi^2} \exp\left(1 - \frac{8}{\xi^2}\right) \quad (8)$$

Persamaan (8) ini akan digunakan sebagai acuan untuk membandingkan profil daya luaran hasil eksperimen khususnya untuk ujung bundel serat yang berbentuk pasangan. Grafik persamaan (8) dapat dilihat pada Gambar (2.6), kurva menunjukkan bahwa daya luaran serat optik akan bertambah dengan bertambah jarak pergeseran obyek dari bundel serat optik, setelah mencapai puncak daya luaran akan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya jarak.



Gambar 2.6. Daya iuaran ternormalisasi (P_N) terhadap pergeseran relatif (h_N) (Faria, 1998).

SECRET
U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE
1964 O - 348-000

BAB III
TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN



3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan khusus penelitian tahun kedua ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat sistem serat optik plastik bundel step-indeks multiragam sehingga dapat digunakan sebagai komponen sensor pergeseran obyek berorde sub-mikrometer yang berbasis perubahan intensitas pantulan,
2. Menentukan resolusi dan jangkauan linear sistem sensor pergeseran yang menggunakan probe serat optik bundel dan serat optik coupler?

3.2. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini mempunyai manfaat yang besar terutama dalam hal pengembangan sistem instrumentasi optik dengan khususnya sensor pergeseran dengan skala mikron sampai nanometer. Sistem alat ini dapat digunakan untuk keperluan aplikasi mulai dari skala mikroskopis sampai skala besar (makroskopis) antara lain:

1. Dalam bidang penelitian mikroskopis: pengukuran berbagai gaya mikroskopis seperti: pengukuran gaya atom mikroskopis dan gaya gesek mikroskopis,
2. Dalam bidang industri: pengukuran pergeseran tak-menyentuh dalam bidang sistem penyimpanan informasi, robotik dan mikromekanik,
3. Dalam bidang material sains: pengukuran tak- menyentuh besaran suhu dan regangan (*strain*) secara simultan, serta tegangan (*stress*) pada suatu lapisan tipis karena adanya beda sifat mekanis dan termal antara lapisan dan substrat yang

merupakan parameter penting dalam proses pembuatan superkonduktor dan bahan semikonduktor,

4. Dalam bidang metrologi: sebagai kalibrasi alat ukur pergeseran dengan orde sub-mikrometer bahkan sampai nanometer, serta aplikasi lain dalam bidang medis seperti pengukuran potensial aksi jaringan kulit dan sebagainya,
5. Dalam bidang geofisika: pengukuran tak menyentuh suatu amplitudo dan frekuensi getaran (*vibration*) pada jembatan dan pergeseran struktur tanah sehingga bisa dilakukan adanya deteksi dini adanya bencana alam seperti gempa bumi.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan mulai bulan Mei 2010 sampai dengan bulan Oktober 2010 di Laboratorium Optik dan Aplikasi Laser, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga bekerja sama dengan Laboratorium Fisika Atom dan Inti, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada dan Photonics Research Center, Department of Physics, Faculty of Science, University of Malaya, Kuala Lumpur Malaysia.

4.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan dan peralatan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Serat Optik

Serat optik yang digunakan adalah serat optik plastik bundel step-indeks multiragam komersial yang dijual di pasaran dengan harga yang relatif murah. Susunan probe serat bundel adalah berbentuk konsentris (panjang 2 m; 1 buah serat pemancar dengan diameter 1,0 mm dan 16 buah serat penerima masing-masing berdiameter 0,25 m) dan jenis coupler 2x2 (panjang 1 m dan diameter 1,0 m).

2. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne warna kuning (panjang gelombang, $\lambda=594$ nm).

3. Detektor Optik

Detektor optik yang digunakan adalah detektor silikon intrinsik dengan tipe 818-SL, buatan Newport Corp., dengan tanggapan (*response*) panjang gelombang antara: 400-1100 nm.

4. Penguat *lock-in* dan *Chopper*

Penguat *lock-in* ini digunakan untuk menguatkan sinyal listrik luaran detektor optik yang dimodulasi oleh *chopper* dengan frekuensi tertentu. Penguat *lock-in* yang digunakan adalah tipe SR510 buatan Stanford Research System (SRS).

5. Obyek-obyek

Obyek yang digunakan adalah cermin datar yang bekerja pada daerah cahaya tampak (*visible mirror*).

6. Mikrometer posisi dan picomotor

Mikrometer posisi digunakan untuk menggerakkan obyek ke arah longitudinal (sejajar dengan sumbu serat optik) dengan ketelitian pergeseran sampai 10 μm . Sedangkan untuk pergeseran cermin dengan step pergeseran sekitar 12-25 nm digunakan picomotor yang terbuat dari transduser piezoelektrik (buatan newfocus).

7. Komponen mekanik

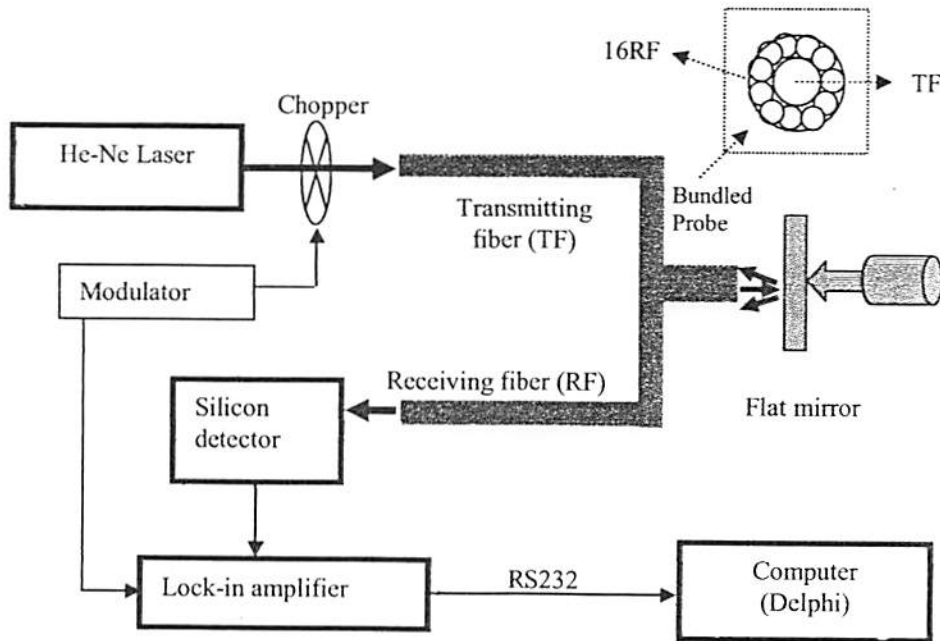
Komponen mekanik sebagai pendukung peralatan optik antara lain meja anti getar (*vibration free table*), holder/ statif/ klem dan komponen lain. Holder ini dilengkapi dengan mikrometer posisi untuk tempat dudukan sumber cahaya laser He-Ne sehingga berkas cahaya dapat masuk ke serat optik pemancar secara optimal, sedangkan holder dan statif/klem pada ujung-ujung serat optik pemancar, penerima dan probe serat bundel dan serat coupler yang dilengkapi dengan mikrometer posisi untuk mengatur kelurusan dan kesejajaran antara sumber cahaya dengan serat optik, kesejajaran antara obyek dengan permukaan bundel dan posisi serat penerima dengan detektor optik.

4.3. Jalan Penelitian

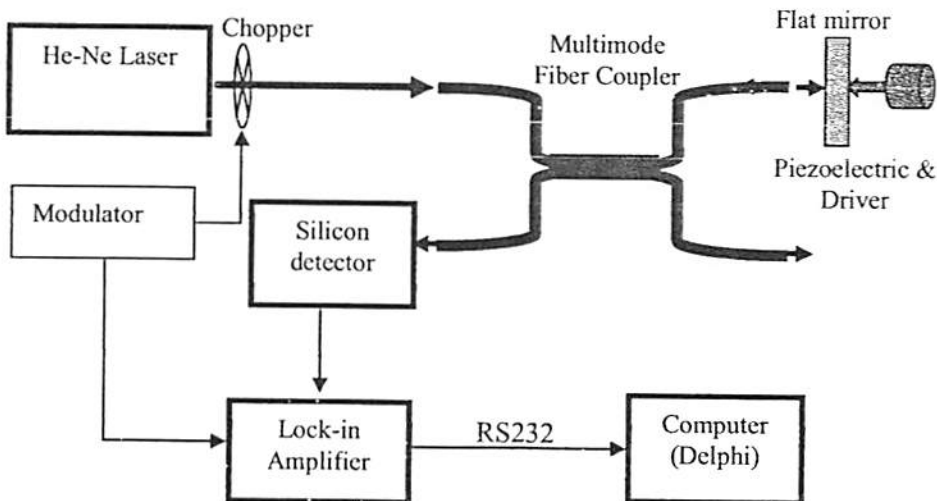
Langkah-langkah yang dilakukan melakukan eksperimen tentang rancang-bangun sensor pergeseran serat optik berbasis modulasi intensitas adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan dan peralatan eksperimen (sumber cahaya laser He-Ne, serat optik bundel step-indeks multiragam dan serat coupler, detektor optik, obyek (cermin datar) dan komponen lain di atas sebuah meja optik (meja anti getar).
2. Menentukan daya luaran optik sumber cahaya laser He-Ne warna kuning (594 nm) dengan cara menembakkan laser secara langsung ke detektor silikon (Newport, 818-SL) dan mengukur luaran tersebut dengan voltmeter digital. Dalam eksperimen ini, daya luaran optik dinyatakan dengan tegangan luaran detektor optik.
3. Memastikan bahwa sumber cahaya laser dapat merambat di sepanjang serat optik bundel multimode dengan melewati berkas laser ke serat optik bundel dan langsung dideteksi oleh detektor optik.
4. Menyusun setup eksperimen sensor pergeseran dengan probe serat optik bundel seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1. dan probe serat coupler (Gambar 4.2). Penggunaan penguat lock-in digunakan untuk menghilangkan sinyal derau (*noise*) yang berasal dari sumber cahaya luar/lingkungan sehingga selama pengukuran tidak perlu ruang gelap.
5. Memastikan bahwa berkas cahaya yang telah diset pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 telah benar-benar lurus, sejajar dan optimal.
6. Menentukan perubahan tegangan luaran detektor optik terhadap perubahan jarak/pergeseran obyek yang dilakukan dengan menggeser obyek melalui mikrometer posisi (untuk step pergeseran 10 μm) dan picomotor (untuk step pergeseran 12-25 nm).

7. Menentukan kinerja sensor pergeseran yang meliputi: (a) kepekaan untuk daerah slope depan dan slope belakang (untuk probe serat bundel) dan satu daerah linear saja (untuk serat coupler), (b) jangkauan daerah linear, (c) linearitas, (d) jangkauan dinamis dan (e) resolusi sensor.



Gambar 4.1. Blok diagram set-up eksperimen sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat optik bundel step-indeks multiragam.



Gambar 4.2. Blok diagram set-up eksperimen sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat coupler multiragam.

4.4. Analisis Data

Di dalam penelitian ini digunakan variabel-variabel pengukuran sebagai berikut:

- Variabel bebas : pergeseran obyek (dalam satuan μm atau nm)
- Variabel terikat : tegangan luaran detektor optik (dalam satuan mV)

Sedangkan parameter yang digunakan adalah perbandingan konfigurasi rasio kopling (50:50, 80:20 dan 90:10) untuk probe serat coupler. Data yang diperoleh adalah berupa tegangan luaran detektor (dalam satuan mV) dan pergeseran obyek (dalam satuan mikrometer). Berdasarkan data sensor pergeseran tersebut, dibuat grafik hubungan antara tegangan luaran detektor optik terhadap pergeseran obyek ke arah axial, yang kemudian akan ditentukan daerah linear baik untuk daerah front slope (*slope depan*) dan back slope (*slope belakang*). Berdasarkan kedua daerah linear tersebut dapat ditentukan kinerja sensor yang meliputi: kepekaan, jangkauan daerah linear, jangkauan dinamis pergeseran, linearitas dan step-pergeseran yang dapat dicapai oleh sensor pergeseran serat optik.

Dalam analisis data pada daerah linear antara tegangan luaran detektor optik dan pergeseran obyek pada daerah linear digunakan metode uji regresi linear dengan pendekatan fungsi linear yang akan menghasilkan persamaan garis lurus antara variabel masukan (*input*) dan luaran (*output*). Bila nilai koefisien korelasi linear (R) persamaan garis tersebut mendekati satu ($R \approx 1$), maka dapat disimpulkan bahwa hubungan antara tegangan luaran merupakan fungsi linear yang baik terhadap pergeseran obyek (Taylor, 1982).

BAB V

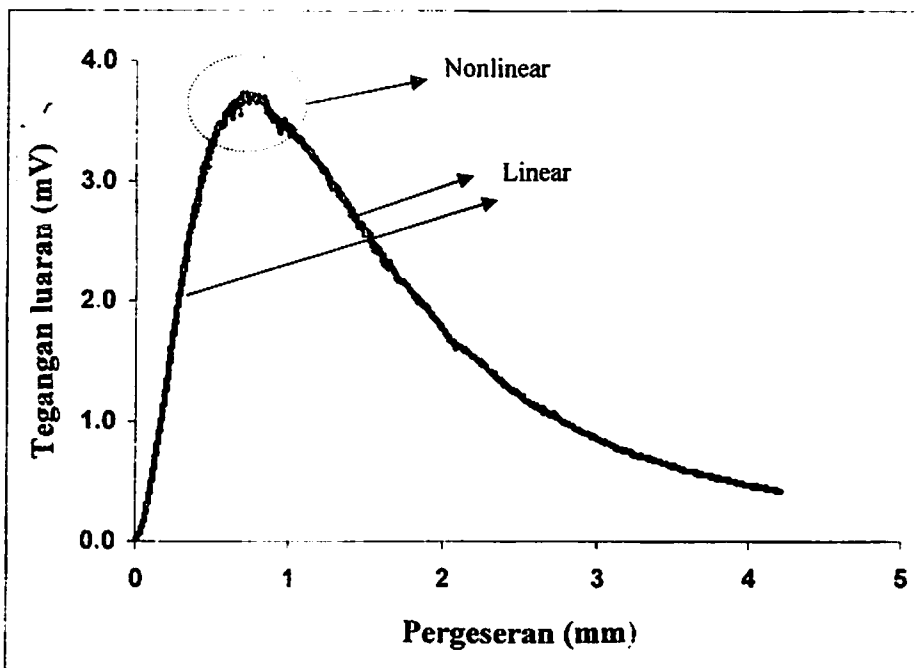
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian dan Pembahasan

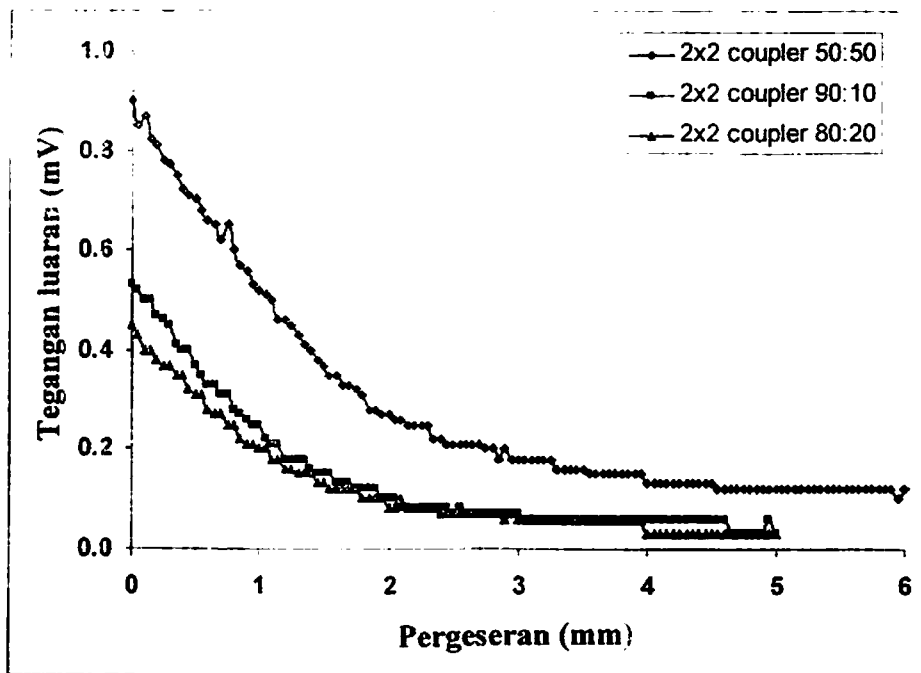
Hasil eksperimen sensor pergeseran ini adalah hubungan antara tegangan luaran detektor optik terhadap pergeseran obyek, hasil pengukuran obyek dengan menggunakan sumber cahaya laser He-Ne kuning (panjang gelombang, $\lambda = 594 \text{ nm}$) termodulasi oleh *chopper* pada frekuensi sekitar 200 Hz ditunjukkan masing-masing oleh Gambar 5.1 (untuk probe serat optik bundel) dan Gambar 5.2 (untuk probe serat coupler dengan konfigurasi splitter yang berbeda). Cermin digerakkan dengan step pergeseran kecil dan arahnya dipertahankan tetap tegak lurus antara berkas cahaya dan cermin. Hasil luaran sensor menunjukkan bahwa grafik sensor mempunyai bagian linear dan non-linear. Berdasarkan grafik di Gambar 5.1, bagian linear adalah di slope depan dan slope belakang, sedangkan di puncak adalah bagian non-linear. Di dalam eksperimen ini, pergeseran didefinisikan sebagai jarak antara ujung probe serat optik dan permukaan cermin. Ketika ujung probe serat optik sangat berdekatan dengan permukaan cermin, tidak ada pantulan cahaya yang terekam karena sinyal cahaya yang lewat serat pemancar dan serat penerima adalah serat yang berbeda. Meskipun demikian, ketika jarak bertambah, intensitas cahaya yang diukur di bagian slope depan akan bertambah sampai mencapai nilai maksimum di jarak pergeseran sekitar 0,9 mm. Pergeseran selanjutnya yang dilakukan lewat stage translasi menghasilkan penurunan intensitas cahaya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.1.

Kepekaan sensor ditentukan lewat slope kurva tersebut. Sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 5.1, diperoleh kepekaan sensor sebesar $0,0076 \text{ mV}/\mu\text{m}$ untuk slope depan, dan $0,0017 \text{ mV}/\mu\text{m}$ untuk slope belakang. Slope pertama dan kedua berturut-turut menunjukkan linearitas lebih dari 99% dalam jangkauan 0,064 sampai 0,5

mm dan 1,10 mm sampai 2.12 mm. Resolusi terbaik sekitar $0,9 \mu\text{m}$ dan $4 \mu\text{m}$ masing-masing untuk slope depan dan belakang. Stabilitas sensor juga ditentukan, dan dilakukan pengukuran dengan diperoleh nilai yang lebih kecil dari 0,6% untuk probe serat optik bundel. Tegangan luaran laser He-Ne kuning diukur oleh foto-detektor silikon dan diperoleh sebesar 14,1 mV. Kinerja sensor dirangkum di dalam Tabel 5.1. jangkauan dinamis sensor pergeseran yang berbasis serat bundel diperoleh sebesar 4,0 mm (Yasin et al., 2010).



Gambar 5.1. Tegangan luaran penguat lock-in sebagai fungsi pergeseran obyek untuk probe serat bundel.



Gambar 5.2. Tegangan luaran penguat lock-in sebagai fungsi pergeseran obyek untuk probe serat coupler.

Gambar 5.2 menunjukkan karakteristik tegangan luaran terhadap pergeseran obyek untuk eksperimen yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 yang menggunakan probe serat coupler. Fungsi luaran sensor (yaitu intensitas cahaya terhadap jarak obyek) menunjukkan hanya satu slope saja sebagai pengganti dua slope dalam kasus serat bundel. Slope depan tidak muncul oleh karena pemancaran dan penerimaan cahaya terjadi pada serat yang sama. Ketika jarak antara ujung serat dan cermin sama dengan nol, serat menerima intensitas cahaya maksimum sehingga intensitas berkas pantulan juga bernilai maksimum seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.2. Meskipun demikian, intensitas cahaya pantulan cahaya yang terukur menurun hampir linear pada jarak yang dekat dengan obyek. Secara teori, hubungan daya terpantul dan jarak pergeseran mengikuti hukum kuadrat jarak terbalik menurut persamaan matematis berikut (Kulkarni et al., 2006),

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{d^2}{(2x \tan \theta)^2} \quad (5.1)$$

dengan P_r , P_t , d , x , and θ berturut-turut adalah daya terpantul, daya transmisi, diameter teras, pergeseran aksial dan sudut penerimaan serat. Kinerja sensor dengan probe serat coupler tersebut dirangkum di dalam Tabel 5.2 untuk rasio kopling yang berbeda dengan jangkauan dinamis pergeseran sampai 5 mm. Sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 5.2, semua kurva hanya mempunyai satu slope saja dengan rasio kopling 50:50 menunjukkan kepekaan tertinggi. Dengan menggunakan coupler ini, diperoleh kepekaan sebesar 0,00032 mV/ μ m dan slope menunjukkan linearitas yang baik (lebih dari 99%) dalam jangkauan 2,0 mm. Resolusi terbaik mendekati 34 μ m juga diperoleh pada serat coupling dengan rasio kopling 50:50. Stabilitas sensor pergeseran juga diukur dan diperoleh kurang dari 1,1% untuk semua sensor. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa jangkauan linear sensor pergeseran berbasis coupler lebih baik dari pada sensor dengan probe serat bundel.

Gambar 5.3 menunjukkan karakteristik tegangan luaran terhadap pergeseran obyek untuk beberapa variasi intensitas cahaya (laser He-Ne). Dalam eksperimen ini, coupler 90:10 digunakan sebagai probe dan laser He-Ne warna kuning dengan intensitas yang bervariasi dari 0,45 sampai 0,90 mV. Sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 5.3, semua kurva menunjukkan pola yang sama dan jangkauan dinamis tertinggi diperoleh pada sumber cahaya dengan intensitas tertinggi dan bernilai minimum pada intensitas terendah. Jangkauan linear tertinggi diperoleh sekitar 2,0 mm, sementara kepekaan tertinggi dan resolusi terbaik berturut-turut diperoleh sebesar 0,00022 mV/ μ m dan 46 μ m (Yasin et al., 2010). Hasil ini menunjukkan bahwa sensor pergeseran dengan probe serat optik sangat cocok untuk keperluan pengukuran pergeseran dalam jangkauan milimeter dan resolusi mikrometer. Sensor ini mempunyai potensi di

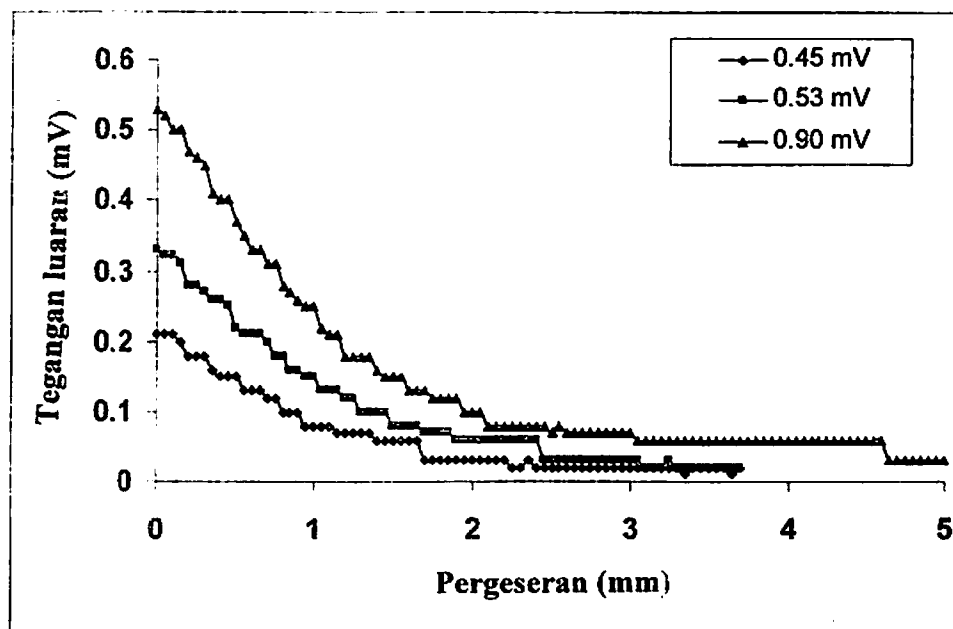
berbagai aplikasi di industri seperti kontrol posisi secara otomatis dan dalam lingkungan yang sulit dijangkau serta berbahaya.

Tabel 5.1. Kinerja sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat bundel.

Parameter kinerja sensor	Slope depan	Slope belakang
Kepekaan	0,0076 mV/ μ m	-0,0017 mV/ μ m
Jangkauan linear	438 (64-502) μ m	1020 (1104-2124) μ m
Resolusi	0,92 μ m	4 μ m

Tabel 5.2. Kinerja sensor pergeseran dengan menggunakan probe serat coupler.

Rasio kopling	Kepekaan (mV/ μ m)	Jangkauan linear (mm)	Resolusi (μ m)	Jangkauan dinamis (mm)
50:50	0,00032	2,0	34	5.0
90:10	0,00022	2,0	46	3.0
80:20	0,00018	2,0	51	4.0



Gambar 5.3. Tegangan luaran penguat lock-in sebagai fungsi pergeseran untuk probe serat coupler (90:10) untuk beberapa variasi intensitas sumber cahaya laser He-Ne.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Sistem sensor pergeseran dengan probe serat optik plastik bundel step-indeks multiragam dan probe serat coupler dapat digunakan sebagai komponen sensor pergeseran obyek berorde sub-mikrometer yang berbasis perubahan intensitas pantulan,
2. Resolusi terbaik sensor pergeseran diperoleh pada probe serat bundel dengan nilai sebesar $0,9 \mu\text{m}$ (orde sub-mikron) dan jangkauan linear terpanjang diperoleh probe serat coupler yaitu sebesar $2,0 \text{ mm}$ (orde milimeter).

6.2. Saran

Untuk meningkatkan kualitas hasil penelitian sensor pergeseran serat optik ini disarankan agar kesinergian panjang gelombang sumber cahaya, sifat pelemahan serat optik (sebagai fungsi panjang gelombang) dan tanggapan panjang gelombang detektor optik lebih ditingkatkan serta dengan digunakan normalisasi luaran sensor terhadap luaran sumber cahaya (referens) sehingga dapat tercapai resolusi pergeseran sampai di tingkat nanometer bahkan sampai sub-nanometer.

DAFTAR PUSTAKA

- Binu S., Pillai V.P.M., and Chandrasekaran, 2007, "Fibre optic displacement sensor for the measurement of amplitude and frequency of vibration", *Optics and Laser Technology*, Vol. 39, pp.1537-1543.
- Buclade P.B. and Shaligram A.D., 2006, " Simulation and experimental studies of inclined two fiber displacement sensor", *Sensors and Actuators A*, Vol. 128, pp. 312-316.
- Chan T.H.T., Yu L., Tam H.Y., Ni Y.Q., Liu S.Y., Chung W.H., and Cheng L.K., 2006, " Fiber Bragg grating sensors for structural health monitoring of Tsing Ma bridge: Background and experiment observation", *Engineering Structures*, Vol. 28, pp. 648-659.
- Chan C.C., Jin W., Ho H.L., Wang D.N., and Wang Y., 2001, *Electron. Letters*, Vol. 37, p. 742.
- Cook R.O., and Hamm C.W., 1979, " Fiber Optic Lever Displacement transducer", *Applied Optics*, Vol. 18, No. 10, pp. 3230-3240.
- Faria J.B., 1998, " A theoretical analysis of the bifurcated fiber bundle displacement sensor", *IEEE Trans on Inst and Meas.*, Vol. 47, pp. 742-747.
- Golnabi H and Azimi P., 2008, "Design and operation of a double-fiber displacement sensor", *Optics Comm.*, Vol. 281, pp. 614-620.
- He G. and Cuomo F.W., 1991, "Displacement response detection limit and dynamic range of fiber-optic lever sensors," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 9, pp. 1618-1625.
- Huimin Cao, Chen Y., Zhou Z. And Zhang G., 2007, " Theoretical and experimental study on the optical fiber bundle displacement sensor", *Sensors and Actuators A*, Vol. 136, pp. 580-587.
- Jun Hong Ng, Zhou X., Yang X., and Hao J., 2007, "A simple temperature-insensitive fiber Bragg grating displacement sensor", *Optics Comm.*, Vol. 272, pp. 398-401.
- Kersey A.D., Berkoff T.A., and Morey W.W., 1993, *Optics Letters*, Vol.18 p. 1370.
- Krohn D.A., 2000 "*Fiber Optics Sensor*", The Instrumentation, System, and Automation Society, USA.
- Kulkarni V.K., Anandkumar S., Lalasangi I.I., Pattanashetti U.S., and Raikar S., 2006, "Fiber optic micro-displacement sensor using coupler", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 8, No. 4, pp. 1610-1612.
- Park J., Kim M., Kim Y., Kim K., and Kim I., 1999, "Intensity-based fiber optic pressure sensor with an Au/NiCr/Si3N4/SiO2/Si3N4 diaphragm," *Proc. SPIE*, Vol. 3897, pp. 565-569.

- Prelle C., Lamarque F., and Revel P., 2006, "Refective optical sensor for long range and high-resolution displacements", *Sensors and Actuators A*, Vol. 127, pp. 139-146.
- Qiu T., Kuo L.S., and Yeh H.C., 2004, "A novel type of fiber optic displacement sensor based on Gaussian beam interference", *Optics Comm.*, Vol. 234, pp. 163-168.
- Saleh B. and Teich M., 1991, "*Fundamentals of Photonics*". New York: Wiley,
- Shimamoto A., and Tanaka K., 1996, "Geometrical Analysis of an Optical Fiber Bundle Displacement Sensor", *Applied Optics*, Vol. 35, No. 34, pp. 6767-6774.
- Shimamoto A. and Tanaka K., 1995, "Optical Fiber Bundle Displacement Sensor using an ac-modulated Light Source with Subnanometer Resolution and Low Thermal Drift", *Applied Optics*, Vol. 34, No. 25, pp. 5854-5860.
- Suganuma F., Shimamoto A., and Tanaka K., 1999, "Development of a Differential Optical Fiber Displacement Sensor", *Applied Optics*, Vol. 38, No. 7, pp. 1103-1109
- Taylor J.R., 1982, "*An Introduction to Error Analysis*", University Sciences Books, Mill Valley, California.
- Yasin M., S.W. Harun, Z.A.Ghani, Pujiyanto, and H. Ahmad, 2010, "Performance Comparison between Plastic-Based Fiber Bundle and Multimode Fused Coupler as Probes in Displacement Sensors", *Laser Physics*, Vol. 20, No. 10, pp. 1890-1893.
- Yasin M., Kusminarto dan karyono, 2008, "*Rancang-Bangun Sistem Sensor Nanopergeseran dengan Menggunakan Serat Optik Bundel Step-Indeks Multiragam Secara Digital*", Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Lembaga Penelitian Universitas Airlangga.
- Yasin M., S. W. Harun, H. A. Abdul-Rashid, Kusminarto, Karyono, and H. Ahmad., 2008, "The Performance of a Fiber Optic Displacement Sensor for Different Types of Probes and Targets", *Journals of Laser Physics Letters*, Vol. 5, No.1, pp. 55-58.
- Yasin M., S.W. Harun, Kusminarto, Karyono dan H. Ahmad, 2008, "Fiber-optic displacement sensor using a multimode bundle fiber", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 50, No. 3, pp. 661-663.
- Yasin M., S.W. Harun, Kusminarto, Karyono, H. Ahmad, 2007, "Construction of fiber optic sensor for micro-displacement measurement based on reflectivity intensity modulation technique", *2nd Jogja International Physics Conference*, 6-8 September, Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Yasin M., 2005, "*Pengembangan Sistem Sensor Mikropergeseran dengan Menggunakan Serat Optik dan Detektor CCD (Charge Coupled Device)*", Laporan Penelitian DIPA-LPPM, Universitas Airlangga.

Yasin M., 2003, "Rancang Bangun Sistem Sensor Gaya Berat dengan Menggunakan Serat Optik Step-index Multiragam Komersial", Laporan Penelitian Dosen Muda DP3M-Dikti, Lembaga Penelitian, Universitas Airlangga.

Yasin M. dan Pujiyanto, 2001, "Pemanfaatan Serat Optik Step-index sebagai Sensor mikropergeseran dengan Sumber Cahaya Termulasi", Laporan Penelitian Dosen Muda-DP3M-Dikti, Lembaga Penelitian, Universitas Airlangga.

Yasin M. dan Pujiyanto, 2000, "Aplikasi Serat Optik Bundel Step-index Multiragam Komersial sebagai Sensor Pergeseran Berorde nanometer dengan Menggunakan Sumber Cahaya Termulasi", Laporan Penelitian DIK-Rutin Unair, Lembaga Penelitian, Universitas Airlangga.

Yasin M., Soemartono, Karyono, 2000, "Serat Optik Indeks-Undak Multiragam Komersial Sebagai Piranti Sensor Mikropergeseran Menyumbu", *Berkala Ilmiah MIPA-UGM*, No. 2, Tahun X.

Yasin M., 1999, "Pengkuran Efisiensi Sambatan Serat Optis dengan Sumber Cahaya Termulasi-AC", *Journal of Mathematics and Science, FMIPA UNAIR*, Vol. 1, No. 4.

Yasin M., 1999, " Serat Optik Indeks-Undak Multiragam Komersial Sebagai Piranti Sensor Mikropergeseran", *Tesis S-2, Program Pascasarjana, UGM-Yogyakarta*.

Yen C.F., Chu M.C., Seung H.S., Dasari R.R., and Feld M.S., 2004, "Noncontact measurement of nerve displacement during action potential with a dual beam low-coherence interferometer", *Optics Letters*, Vol 29, No. 17, pp. 2028-2030.

Zhao Y., Rong M., and Liao Y., 2003, " Reflective optical fiber sensor and compensation technique for temperature measurement under offshore oil well", *Chin. J. Lasers*, Vol. 30, pp. 75-78.

Performance Comparison between Plastic-Based Fiber Bundle and Multimode Fused Coupler as Probes in Displacement Sensors¹

M. Yasin^{a,*}, S. W. Harun^{b,c,**}, Pujiyanto^a, Z. A. Ghani^d, and H. Ahmad^c

^a Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Airlangga University, Surabaya 60115, Indonesia

^b Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia

^c Photonics Research Centre, Department of Physics, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia

^d Faculty of Applied Sciences, MARA University of Technology, 40450 Shah Alam, Malaysia

*e-mail: yasin@unair.ac.id

**e-mail: swharun@um.edu.my

Received April 11, 2010; in final form, April 22, 2010; published online September 2, 2010

Abstract—Fiber optic displacement sensors with bundled and fused coupler fiber probes are being investigated. The effects of axial displacements on the detected output voltages are also investigated for fiber bundle probe sensor. The resolutions obtained are 0.9 and 4.0 μm , for the front and back slopes, respectively. A comparison is made with a commercial plastic based multimode fused coupler which gives a better range of 2.0 mm. This is longer than that achieved by the fiber bundle probe which is only 0.4 mm and has a lower resolution of 34 μm for the case of 50:50 coupling ratio.

DOI: 10.1134/S10546660X10190199

INTRODUCTION

Optical fiber-based sensor technology offers the possibility of developing a variety of physical sensors for a wide range of physical parameters [1–8]. The use of optical fiber samples for development of optical fiber sensors allows us to obtain very high performances in their response to many physical parameters (displacement, pressure, temperature, electric field, etc.) compared to conventional transducers. High precision fiber displacement sensors have received significant attention in recent years for applications that range from industrial to medical fields that include inverse engineering, micro-assembly, and micro-surgery [9]. This is attributed to their inherent advantages such as simplicity, small size, mobility, wide frequency capability, extremely low detection limit and non-contact properties.

One of the interesting and important methods of displacement measurement is based on interferometer technique [10]. However, this technique is quite complicated although it can provide very good sensitivity. Normally, for optical fiber-based displacement sensor, intensity modulation technique is used in conjunction with a multimode fiber as the probe. The multimode fiber probes are preferred because of their better axial coupling, large core radius and high numerical aperture as well as ability to receive the maximum

reflected or transmitted light from the target [11]. For future applications, there is a need for better resolution, longer range, better linearity, simple construction and low cost unit.

Previously, many optical displacement sensors have been demonstrated using bundle fibers as a probe [12, 13]. In this paper, a new displacement sensor is demonstrated using a multimode optical coupler as a probe. The performances of the sensors are investigated for different coupling ratios. The experiment on bundle fiber based sensor is also carried out for comparison purposes. Compared to the bundled fiber sensor, the proposed sensor shows an improvement in the displacement measuring range.

EXPERIMENTAL SETUP

Figure 1 shows a schematic diagram for the axial displacement measurement using two different methods namely (a) multimode bundle probe and (b) plastic based multimode fused coupler at different coupling ratios. The first method, as shown in Fig. 1a consists of two sets of fibers; plastic-based multimode bundled together with one of them acting as the transmitting fiber connected to the light source, and the other acts as the receiving fiber which is connected to a silicon photodiode. The transmitting fiber is a single core of dimension 1 mm in diameter and the receiving is a 16 core fiber surrounding the transmitting core with each of them having a core diameter of 0.25 mm.

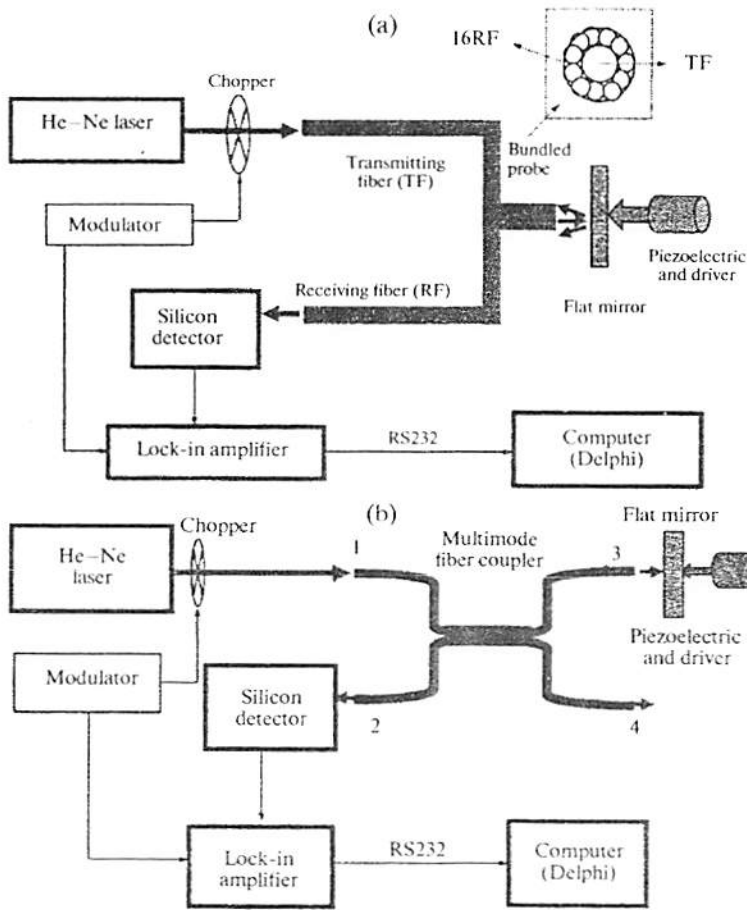


Fig. 1. Schematic diagram of the displacement sensor using (a) bundled probe (1TF; 16RF) and (b) multimode fiber coupler.

In this demonstration, a flat mirror is used to provide the necessary reflection that will be captured by the receiving fibers. The light source used is a He-Ne yellow line (594 nm) which is chopped using a mechanical chopper at 210 Hz as to avoid the harmonics from the line frequency which is about 50 to 60 Hz. The detected optical signal is detected by the silicon photodiode (818 SL, Newport) and the electrical signal is then fed into the lock-in amplifier (SR-510, Stanford Research System) together with the reference signal of the mechanical chopper. The output result from the lock-in amplifier is then connected to a computer through a RS232 port interface and the signals are processed using Delphi software. The mirror is fixed on a piezoelectric stage that can be moved with a 0.5 μm resolution.

The second method, as shown in Fig. 1b, shows a similar set-up as Fig. 1a, except the fiber bundle is replaced with a plastic-based fused coupler. A similar He-Ne laser at 594 nm is used as the light source which is chopped at 210 Hz. The output light from the mechanical chopper is launched into leg 1 of the fused coupler. The output powers at legs 3 and 4 are divided based on the coupling ratios. For instance, for the

50:50 coupler, the output power will be divided equally. However, the total power of legs 3 and 4 are not exactly the same as that of leg 1 due to insertion loss of the fused coupler. Leg 4 of the coupler can be used to monitor the power coupling ratio of the fused coupler.

The reflected output from the mirror then enters back into leg 3 and will be split accordingly by the coupling of the fused coupler and the output signal detected at leg 2. The output light is then sent into the silicon photo-detector which is connected to the lock-in amplifier for processing, similar to the earlier case. In this experiment, the displacement of the mirror is done in steps of 50 μm although 0.5 μm can also be implemented. This is largely due to wider linear behavior when using a fused coupler as compared to the bundled fiber. The performance of the sensor is investigated for various coupling ratios such as 50:50, 90:10, and 80:20.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The results of Fig. 1a are shown in Fig. 2a which shows the output voltage of the lock-in amplifier as a

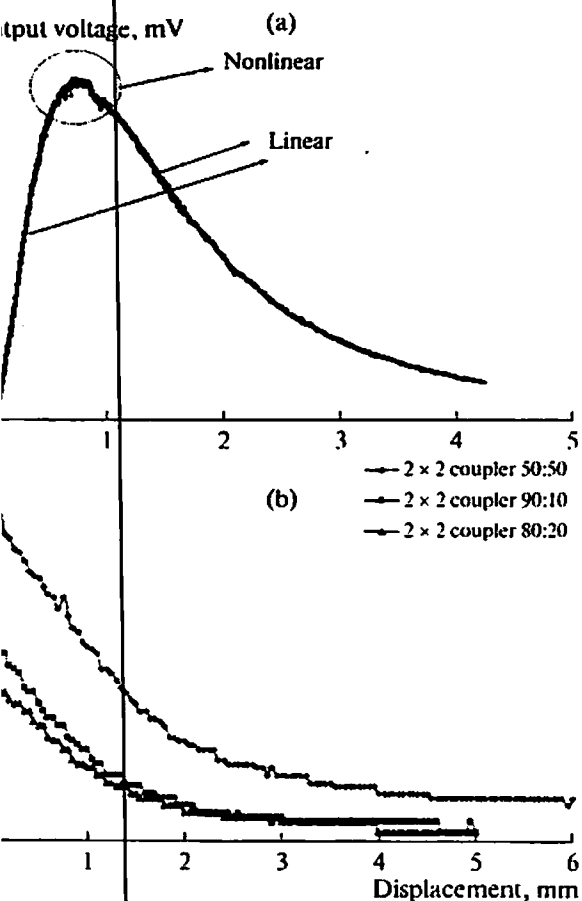


Fig. 2. The output voltage of the lock-in amplifier as a function of displacement using (a) bundled probe and (b) fused coupler probe.

tion of the mirror displacements. The mirror was moved in slow steps, maintaining the perpendicularity between the light beam and the mirror. The output results show a composition of the linear and nonlinear parts of the measurement. From the graph, the linear part is the front and back slopes, and the peak is the nonlinear part. In this experiment, displacement is defined as the distance between the probe tip and the mirror surface. When the probe is in contact with the mirror surface, no reflection is recorded due to the fact that the transmitting and receiving signals are from different fibers. However, as the distance is increased, the measured intensity

increases linearly as manifested by the front slope before achieving the maximum value at a displacement of around 0.9 mm.

Further movement of the translational stage has resulted in a decrease of the light intensity as indicated by the back slope of Fig. 2a.

The sensitivity of the sensor was determined by the slope of the curves. As indicated in Fig. 2a, the sensitivity was found to be 0.0076 mV/μm for the front slope, and 0.0017 mV/μm for the back slope. The first slope and the second slope demonstrate good linearities of more than 99% within a range of 0.64 to 0.50 mm and 1.10 to 2.12 mm, respectively. The highest resolutions of approximately 0.9 and 4.0 μm were obtained at the front and back slopes, respectively. The stability of the displacement sensor is also investigated, and the measurement error is observed to be less than 0.6% for the bundle fiber sensor. The output voltage of a yellow He–Ne laser was measured by silicon photodetector and obtained at 14.1 mV. The performance of the sensor is summarized as in Table 1. The dynamic range of the displacement based on a bundled fiber is determined to be 4.0 mm.

Figure 2b shows the output voltage characteristics against displacement for the experiment in Fig. 1b using a fused coupler. The sensor output function (i.e., light intensity versus distance to target flat surface) indicates only one slope instead of two slopes in the case of bundle fiber. The front slope disappears in this sensor because the transmitting and receiving of light occur through the same fiber of the coupler. When the gap between the fiber tip and the mirror is zero, the fiber receives the maximum light and thus the measured intensity of the reflected light is a maximum as shown in Fig. 2b. However, the measured intensity of the reflected light decreases almost linearly with the gap distance especially for close distance target. Theoretically, the distance and the reflected power vary according to the inverse square law, where the output transmission function is given by

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{d^2}{(2x \tan \theta)^2}, \tag{1}$$

where P_r , P_i , d , x , and θ are the reflected power, transmitted power, core diameter, axial displacement and fiber's acceptance angle, respectively. The performance of the sensor is summarized in Table 2 for dif-

Table 1. Performance of the fiber optic displacement sensor using a bundled probe

Parameter	Front slope	Back slope
Sensitivity	0.0076 mV/μm	−0.0017 mV/μm
Linear range	438 (64–502) μm	1020 (1104–2124) μm
Resolution	0.92 μm	4 μm

Table 2. Performance of the fiber optic displacement sensor using a multimode fused coupler

Coupling ratio	Sensitivity, mV/μm	Linear range, mm	Resolution, μm	Dynamic range, mm
50 : 50	0.00032	2.0	34	5.0
90 : 10	0.00022	2.0	46	3.0
80 : 20	0.00018	2.0	51	4.0

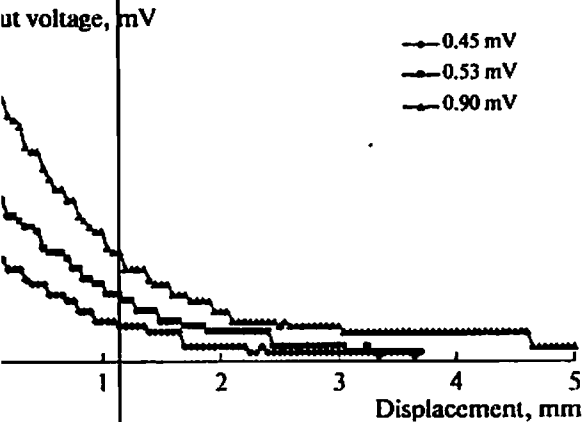


Fig. 3. The output voltage of the lock-in amplifier as a function of displacement for the coupler probe (90:10) for various intensities of the light source.

nt coupling ratios where the displacement range defined was up to 5 mm. As shown in Fig. 2b, all the placement curves only have one slope with the coupling ratio of 50:50 showing the highest sensitivity. In this coupler, the sensitivity is obtained at 0.032 mV/ μm and the slope shows a good linearity more than 99% within the range of 2.0 mm. The best resolution of approximately 34 μm is also obtained with the coupling ratio of 50:50. The stability of the displacement sensor is also investigated and the measurement errors are observed to be less than 1.1% of all the sensors. The experimental results show that the linear range of the coupler based sensors is better than the bundle fiber sensor.

Figure 3 shows the output voltage characteristics versus displacement at various intensities of the light source (He-Ne laser). In this experiment, 90:10 coupler is used as the probe and the yellow He-Ne laser output intensity is varied from 0.45 to 0.90 mV. As shown in Fig. 3, all the curves demonstrate a similar form and the highest dynamic range was obtained at the highest intensity of the light source and decreasing the minimum value at the lowest intensity. The best linear range was obtained around 2.0 mm, where the highest sensitivity and the best resolution were obtained at 0.00022 mV/ μm and 46 μm , respectively. These results offer good quantitative guidance for the design and implementation of the displacement sensors with millimetric range and micrometric resolution. This sensor has many potential applications in various industries such as automated monitor-

ing control, position control and micro-displacement sensor in the hazardous regions.

CONCLUSIONS

Fiber optic displacement sensors are demonstrated using both a bundled fiber and multimode coupler as a probe. The coupler-based sensor demonstrates a better linear range but lower sensitivity as compared to the bundle fiber sensor. In the case of coupler-based sensor, the resolution and the best linear range are obtained at 34 μm and 2.0 mm (0–2.0 mm), respectively, using 50 : 50 coupling ratio. The measurement is done using different coupling ratios and it is found that 50 : 50 provide the best results. The bundle fiber-based sensor provides the best resolution with a value of 0.92 μm . However, its linear range is restricted to only 0.4 mm.

REFERENCES

1. X. H. Li, X. M. Liu, Y. K. Gong, H. B. Sun, L. R. Wang, and K. Q. Lu, *Laser Phys. Lett.* **7**, 55 (2010).
2. Q. Wang and Q. X. Yu, *Laser Phys. Lett.* **6**, 607 (2009).
3. H. Ahmad, K. Thambiratnam, A. H. Sulaiman, N. Tamchek, and S. W. Harun, *Laser Phys. Lett.* **5**, 726 (2008).
4. S. A. Babin, S. I. Kablukov, I. S. Shelemba, and A. A. Vlasov, *Laser Phys.* **17**, 1340 (2007).
5. Yu. N. Kulchin, O. B. Vitrik, A. V. Dyshlyuk, A. M. Shalagin, S. A. Babin, and A. A. Vlasov, *Laser Phys.* **17**, 1335 (2007).
6. J. Chang, Q. Wang, X. Zhang, L. Ma, H. Wang, S. Zhang, Q. Wang, J. Ni, and Y. Wu, *Laser Phys.* **18**, 911 (2008).
7. C. Cui, Q. Wang, X. Hu, Y. Yu, and S. Zhao, *IEEE Trans. Appl. Superconduct.* **18**, 836 (2008).
8. M. Yasin, S. W. Harun, H. A. Abdul-Rashid, K. Kusminarto, and H. Ahmad, *Laser Phys. Lett.* **5**, 55 (2008).
9. D. A. M. P. Malta, M. A. M. Kreidler, G. E. Villa, M. F. de Andrade, C. R. Fontana, and R. F. Z. Lizarrelli, *Laser Phys. Lett.* **4**, 153 (2007).
10. Q. Sun, D. Liu, J. Wang, and H. Liu, *Opt. Commun.* **281**, 1538 (2008).
11. M. Yasin, S. W. Harun, W. A. Fawzi, K. Kusminarto, and H. Ahmad, *Microwave Opt. Tech. Lett.* **51**, 2038 (2009).
12. M. Yasin, S. W. Harun, K. Kusminarto, D. Lelono, Samian, A. H. Zaidan, and H. Ahmad, *Laser Phys.* **20**, 824 (2010).
13. M. Yasin, S. W. Harun, Samian, Kusminarto, and H. Ahmad, *Laser Phys.* **19**, 1446 (2009).

FIBER OPTIC SENSOR AND ITS APPLICATIONS*

^{1,2,**} Dr. Moh. Yasin, M.Si.

¹ Dept. Physics, Fakultas Science and Technolgy, Airlangga University, Surabaya 60115, Indonesia.

² Photonic Research Center, Dept. of Physics, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.

** Email: yasin@unair.ac.id or mohyasin@lycos.com

ABSTRACT

High precision non-contact displacement measurement is the key to micro-nanotechnology. In applications, fiber optic displacement sensor offers many advantages if compared to conventional sensors such as non-electric, explosion proof, non-contact, remote-able, small size and weight, ease to access and install, immune to radio frequency interference and electromagnetic interference, solid-state reliability and high accuracy, can be interfaced with data communications systems, secure data transmission and resistant to ionizing radiation. A fiber optic submicron-displacement sensor based on the intensity modulation technique is demonstrated using reflective. The sensor consists of laser as a light source, multimode bundle plastic fiber optic and photo-detector. A used light source is a red He-Ne laser (633 nm), a yellow He-Ne laser (594 nm), a green He-Ne laser (543) nm and green pointer laser (533 nm). A yellow laser has a highest intensity. The sensor probe consists of transmitting and receiving fibers which are bundled together and fiber coupler. A detector which is used in experiment is silicon detector with wavelength tange of 400-1100 nm. The experiment is carried out in the vibration free optical bench. The result shows a highest performance with a bundled probe, a yellow He-Ne laser (594 nm) which has a highest intensity and intensity modulation technique for axial displacement of the mirror as the object. The highest sensitivity, resolution, a linear range and stability are obtained at 0.0076 mV/ μm , 921 nm, more than 99% and 0.6%, respectively. The sensor also exhibits a good repeatability and a good output profile from a theoretical and experimental perspective as well as a fitting function and theoretical model approaches. The fiber optic sensor can be used widely for the measurement of vibration, metal surface roughness, glucose level and colour change detection of artificial teeth. The simplicity of the design, high degree of sensitivity, dynamic range and the low cost of the fabrication make it suitable for potential application in physics, chemistry, biology, medical and a real industry.

Keywords: *fiber optic, fiber optic sensor, light source and detector.*

*It was presented on the 23th Physics National Seminar in Nopember Technology Institute, Surabaya on October 5-6, 2010.

SENSOR SERAT OPTIK DAN APLIKASINYA*

Oleh:

^{1,2,**} Dr. Moh. Yasin, M.Si.

¹Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya 60115, Indonesia.

²Photonic Research Center, Dept. of Physics, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.

** Email: yasin@unair.ac.id or mohyasin@lycos.com

ABSTRAK

Pengukuran pergeseran tak-menyentuh (*non-contact*) ketelitian tinggi adalah kunci mikro-nano teknologi. Sensor pergeseran serat optik menawarkan banyak keuntungan dalam pemanfaatannya dibandingkan dengan sensor konvensional yang lain seperti: non-elektrik, tahan ledakan, tak-menyentuh, dapat dikendalikan dari jarak jauh, ukuran dan berat kecil, mudah diakses, mudah diinstal, kebal terhadap interferensi gelombang elektromagnetik, daya tahan dan ketelitian tinggi, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data, transmisi datanya aman dan kebal terhadap radiasi ionisasi. Sistem sensor serat optik berbasis modulasi intensitas terdiri dari sumber cahaya laser, serat optik plastik bundel multiragam dan foto-detektor. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne merah (633 nm), kuning (594 nm), hijau (543 nm) dan laser pointer hijau (533 nm). Probe sensor serat optik dapat berbentuk serat bundel dan serat coupler. Detektor yang digunakan adalah detektor silikon tipe 818 SL (Newport) yang bekerja pada daerah panjang gelombang antara 400-1100 nm dan semua eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan meja optik bebas getaran (*vibration free optical bench*). Hasil eksperimen untuk aplikasi pengukuran pergeseran dengan probe serat optik bundel dengan teknik modulasi intensitas pantulan, sensor memiliki kinerja antara lain kepekaan tertinggi, resolusi, linearitas dan stabilitas berturut-turut sebesar 0,0076 mV/ μm , 921 nm, lebih dari 99% dan 0,6%. Sensor ini juga mempunyai sifat *repeatability* yang baik dan profil luaran sensor antara hasil pendekatan teori dan eksperimen juga telah menunjukkan kesesuaian yang baik. Aplikasi sensor serat optik ini sangat luas dan telah berhasil dilakukan untuk berbagai pengukuran seperti getaran, kekasaran permukaan logam, kadar glukosa, dan perubahan warna gigi tiruan. Kesederhanaan dan ketelitian yang tinggi serta biaya yang relatif murah, sensor serat optik ini mempunyai potensi aplikasi yang sangat luas di bidang fisika, kimia, biologi, medis dan industri.

Keywords: *serat optik, sensor serat optik, sumber cahaya dan detektor.*

^{*)} Disajikan pada Seminar Nasional Fisika (SFN-23) di ITS, Surabaya, pada tanggal 5-6 Oktober 2010.

I. INTRODUCTION

High precision non-contact displacement measurement is the key to micro-nanotechnology. In applications, fiber optic displacement sensor offers many advantages if compared to conventional sensors such as non-electric, explosion proof, non-contact, remote-able, small size and weight; ease to access and install, immune to radio frequency interference and electromagnetic interference, solid-state reliability and high accuracy, can be interfaced with data communications systems, secure data transmission and resistant to ionizing radiation

Optical fiber based sensor technology offers the possibility of developing a variety of physical sensors for a wide range of physical parameters [1-8]. The use of optical fiber samples for development of optical fiber sensors allows us to obtain very high performances in their response to many physical parameters (displacement, pressure, temperature, electric field, etc.) compared to conventional transducers. High precision fiber displacement sensors have received significant attention in recent years for applications that range from industrial to medical fields that include reverse engineering, microassembly, and microsurgery [9].

Three distinct methods are competent and normally used for the displacement measurement: laser interferometry, wavelength modulation and reflective intensity modulation technique. Laser interferometry [5] is based on fringe counting and has high resolution and stability of measurement. However, its precision and stability are depended on the wavelength of light. Wavelength modulation need fiber Bragg grating (FBG) and optical spectrum analyzer (OSA) for physical parameter detection and data acquisition, respectively, which are very costly. A large number of fiber optic displacement sensors are based on intensity modulation of the light, which is the simplest method to obtain a high resolution measurement. The intensity modulated based sensors use the modulation of light power transmitted between the head of the sensor and the target surface [6]. They are relatively inexpensive, noncontact measurement, easy to be fabricated and suitable for employment in harsh environments.

II. FIBER OPTIC BASIC

An optical fiber is composed of three parts; the core, the cladding, and the coating or buffer. The basic structure is shown in Figure 1. The core is a cylindrical rod of dielectric material and is generally made of glass. Light propagates mainly along the core of the fiber. The cladding layer is made of a dielectric material with an index of refraction. The index of refraction of the cladding material is less than that of the core material. The cladding is generally made of glass or plastic. The cladding executes such functions as decreasing loss of light from core into the surrounding air, decreasing scattering loss at the surface of the core, protecting the fiber from absorbing the surface contaminants and adding mechanical strength. The coating or buffer is a layer of material used to protect an optical fiber from physical damage. The material used for a buffer is a type of plastic. The buffer is elastic in nature and prevents abrasions. The light-guiding principle along the fiber is based on the "total internal reflection". The angle at which total internal reflection occurs is called the critical angle of incidence. At any angle of incidence, greater than the critical angle, light is totally reflected back into the glass medium (see Figure 2). The critical angle of incidence is determined by using Snell's Law. Optical fiber is an example of electromagnetic surface waveguide [10]. Optical fibers are divided into two groups called single mode and multimode. In classifying the index of refraction profile, we differentiate between step index and gradient index. Step index fibers have a constant index profile over the whole cross section. Gradient index fibers have a nonlinear, rotationally symmetric index profile, which falls off from the center of the fiber outwards [11]. Figure 3 shows the different types of fibers.

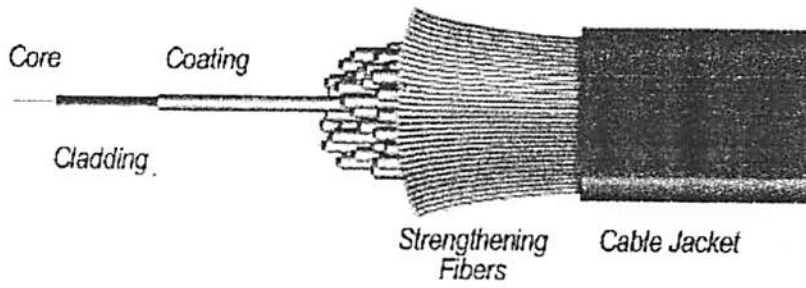


Figure 1. Basic structure of an optical fiber.

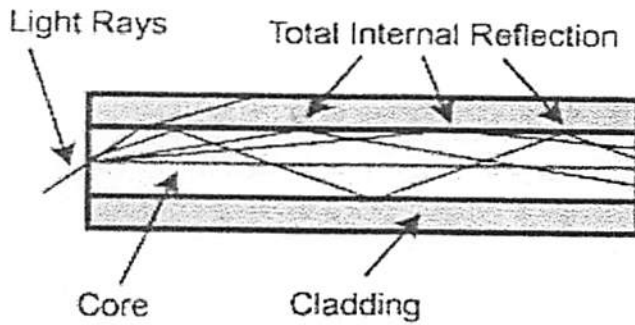


Figure 2. Total internal reflection in an optical fiber.

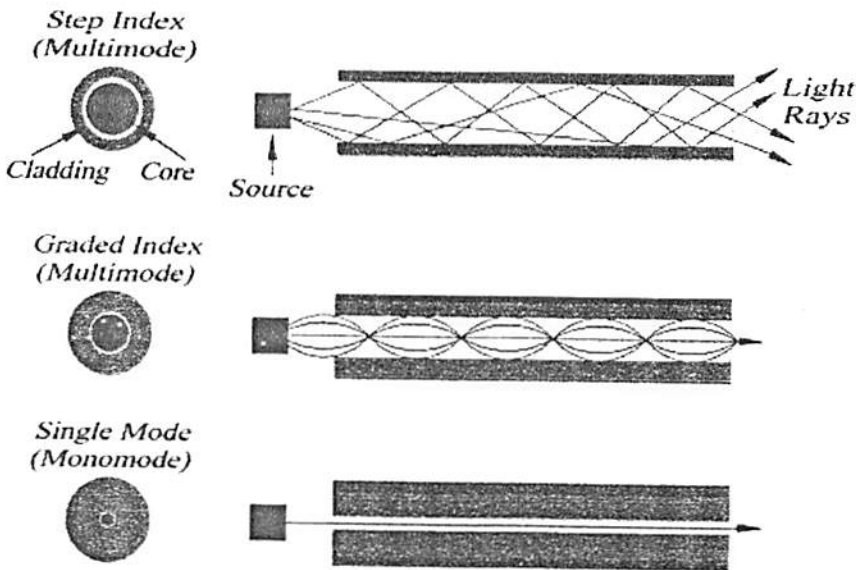


Figure 3. Different types of optical fibers.

III. FIBER OPTIC SENSOR PRINCIPLES

The configuration of an optical fiber sensor system is shown in Figure 4. It consists of an optical source (Laser, LED, Laser diode etc), optical fiber, sensing or modulator element (which transduces the measurand to an optical signal), an optical detector and signal processing (voltmeter, oscilloscope, optical spectrum analyzer, computer etc).

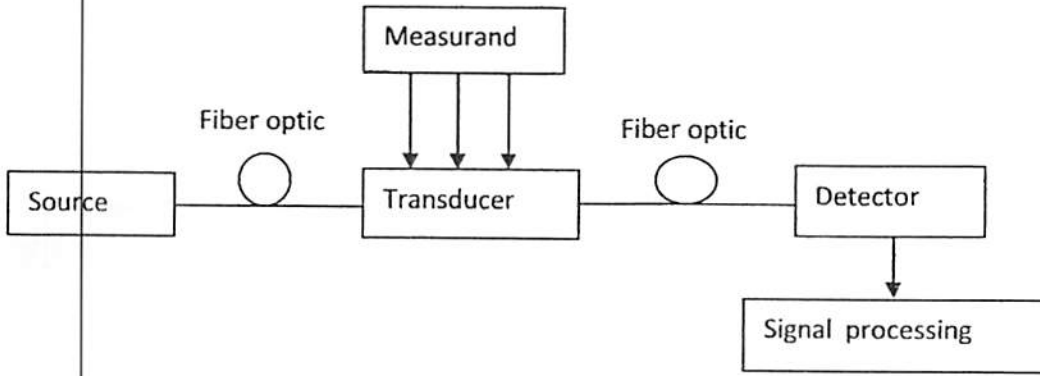


Figure 4. Configuration of an optical fiber sensor system.

Fiber optic sensors can be classified under three categories: The sensing location, the operating principle, and the application. Based on the sensing location, a fiber optic sensor can be classified as extrinsic or intrinsic. In an extrinsic fiber optic sensor (Figure 5), the fiber is simply used to carry light to and from an external optical device where the sensing takes place. In this cases, the fiber just acts as a means of getting the light to the sensing location. On the other hand, in an intrinsic fiber optic sensor one or more of the physical properties of the fiber undergo a change (Figure 5). Perturbations act on the fiber and the fiber in turn changes some characteristic of the light inside the fiber [12]. Based on the operating principle or modulation and demodulation process, a fiber optic sensor can be classified as an intensity, a phase, a frequency, or a polarization sensor. All these parameters may be subject to change due to external perturbations. Thus, by detecting these parameters and their changes, the external perturbations can be sensed [13].

Based on the application, a fiber optic sensor can be classified as follows: (a) physical sensors: used to measure physical properties like temperature, stress, etc., (b) chemical sensors: used for pH measurement, gas analysis, spectroscopic studies, etc., and (c) bio-medical sensors: used in bio-medical applications like measurement of blood flow, glucose content etc.

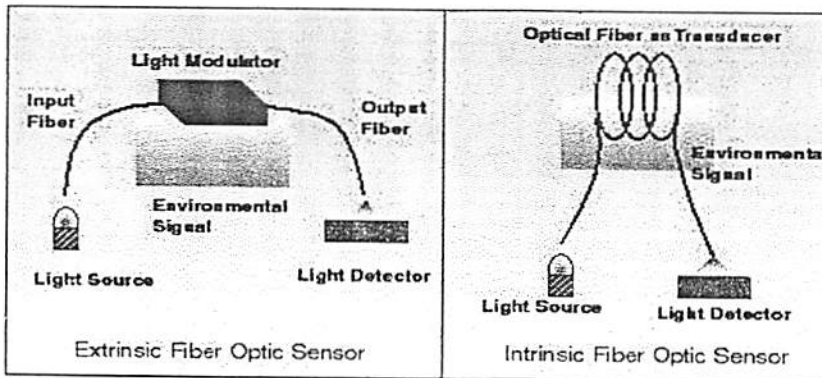


Figure 5. Extrinsic and intrinsic types of fiber optic sensors [10].

IV. FIBER OPTIC SENSOR TYPES

4.1. Intensity Based Fiber Optic Sensors

Intensity-based fiber optic sensors rely on signal undergoing some loss. They are made by using an apparatus to convert what is being measured into a force that bends the fiber and causes attenuation of the signal. Other ways to attenuate the signal is through absorption or scattering of a target. The intensity-based sensor requires more light and therefore usually uses multimode large core fibers [14]. There are a variety of mechanisms such as microbending loss, attenuation, and evanescent fields that can produce a measurand-induced change in the optical intensity propagated by an optical fiber. The advantages of these sensors are: Simplicity of implementation, low cost, possibility of being multiplexed, and ability to perform as real distributed sensors. The drawbacks are: Relative measurements and variations in the intensity of the light source may lead to false readings, unless a referencing system is used [15]. One of the intensity-based sensors is the microbend sensor, which is based on the principle that mechanical periodic micro bends can cause the energy of the guided modes to be coupled to the radiation modes and consequently resulting in attenuation of the transmitted light. As seen in Figure 6, the sensor is comprised of two grooved plates and between them an optical fiber passes.

The upper plate can move in response to pressure. When the bend radius of the fiber exceeds the critical angle necessary to confine the light to the core area, light starts leaking into the cladding resulting in an intensity modulation [16]. Another type of intensity based fiber optic sensor is the evanescent wave sensor that utilizes the light energy which leaks from the core into the cladding. These sensors are widely used as chemical sensors. The sensing is accomplished by stripping the cladding from a section of the fiber and using a light source having a wavelength that can be absorbed by the chemical that is to be detected. The resulting change in light intensity is a measure of the chemical concentration. Measurements can also be performed in a similar method by replacing the cladding with a material such as an organic dye whose optical properties can be changed by the chemical under investigation [17].

4.2. Wavelength Modulated Fiber Optic Sensors.

Wavelength modulated sensors use changes in the wavelength of light for detection. Fluorescence sensors, black body sensors, and the Bragg grating sensor are examples of wavelength-modulated sensors. Fluorescent based fiber sensors are being widely used for medical applications, chemical sensing and physical parameter measurements such as temperature, viscosity and humidity. Different configurations are used for these sensors where two of the most common ones are shown in Figure 8. In the case of the end tip sensor, light propagates down the fiber to a probe of fluorescent material. The resultant fluorescent signal is captured by the same fiber and directed back to an output demodulator [18].

One of the simplest wavelength based sensor is the blackbody sensor. A blackbody cavity is placed at the end of an optical fiber. When the cavity rises in temperature it starts to glow and act as a light source. Detectors in combination with narrow band filters are then used to determine the profile of the blackbody curve. This type of sensor has been successfully commercialized and has been used to measure temperature to within a few degrees centigrade under intense RF fields. The most widely used wavelength based sensor is the Bragg grating sensor. Fiber Bragg gratings (FBGs) are formed by constructing periodic changes in index of refraction in the core of a single mode optical fiber. This periodic change in index of refraction is normally created by exposing the fiber core to an intense interference pattern of UV energy. The variation in refractive index so produced, forms an interference pattern which acts as a grating. The Bragg grating sensor operation is shown in Figure 10 where light from a broadband source (LED) whose center wavelength is close to the Bragg wavelength is launched into the fiber. The light propagates through the grating, and part of the signal is reflected at the Bragg wavelength. The complimentary part of the process shows a small sliver of

signal removed from the total transmitted signal. This obviously shows the Bragg grating to be an effective optical filter [19].

4.3. Phase Modulated Fiber Optic Sensors

Phase modulated sensors use changes in the phase of light for detection. The optical phase of the light passing through the fiber is modulated by the field to be detected. This phase modulation is then detected interferometrically, by comparing the phase of the light in the signal fiber to that in a reference fiber. In an interferometer, the light is split into two beams, where one beam is exposed to the sensing environment and undergoes a phase shift and the other is isolated from the sensing environment and is used for as a reference. Once the beams are recombined, they interfere with each other [14]. Mach-Zehnder, Michelson, Fabry-Perot, Sagnac, polarimetric, and grating interferometers are the most commonly used interferometers.

There are similarities and differences between the Michelson and Mach-Zehnder interferometers. In terms of similarities, the Michelson is often considered to be folded Mach-Zehnder, and vice versa. Michelson configuration requires only one optical fiber coupler. Because the light passes both through the sensing and reference fibers twice, the optical phase shift per unit length of fiber is doubled. Thus, the Michelson can intrinsically have better sensitivity. Another clear advantage of the Michelson is that the sensor can be interrogated with only a single fiber between the source-detector module and the sensor. However, a good-quality reflection mirror is required for the Michelson interferometer [13].

V. APPLICATIONS

5.1. Displacement sensor

Fig. 6 shows a schematic diagram for the axial displacement measurement using two different methods namely (a) multimode bundle probe and (b) plastic based multimode fused coupler at different coupling ratios. The first method, as shown in Fig. 6 (a) consists of two sets of fibers; plastic-based multimode bundled together with one of them acting as the transmitting fiber connected to the light source, and the other acts as the receiving fiber which is connected to a silicon photodiode. The transmitting fiber is a single core of dimension 1mm in diameter and the receiving is a 16 core fiber surrounding the transmitting core with each of them having a core diameter of 0.25mm. In this demonstration, a flat mirror is used to provide the necessary reflection that will be captured by the receiving fibers. The light source used is a He-Ne yellow line (594nm) which is chopped using a mechanical chopper at 210Hz as to avoid the harmonics from the line frequency which is about 50Hz to 60Hz. The reflected optical signal is detected by the silicon photodiode (818 SL, Newport) and the electrical signal is then fed into the lock-in amplifier (SR-510, Stanford Research System) together with the reference signal of the mechanical chopper. The output result from the lock-in amplifier is then connected to a computer through a RS232 port interface and the signals are processed using Delphi software. The mirror is fixed on a piezoelectric stage that can be moved with a 0.5µm resolution.

The second method, as shown in Fig. 6(b), shows a similar set-up as Fig. 6(a), except the fiber bundle is replaced with a plastic-based fused coupler. A similar He-Ne laser at 594nm is used as the light source which is chopped at 210Hz. The output light from the mechanical chopper is launched into leg 1 of the fused coupler. The output powers at legs 3 and 4 are divided based on the coupling ratios. For instance, for the 50:50 coupler, the output power will be divided equally. However, the total power of legs 3 and 4 are not exactly the same as that of leg 1 due to insertion loss of the fused coupler. Leg 4 of the coupler can be used to monitor the power coupling ratio of the fused coupler. The reflected output from the mirror then enters back into leg 3 and will be split accordingly by the coupling of the fused coupler and the output signal detected at leg 2. The output light is then sent into the silicon photo-detector which is connected to the lock-in amplifier for processing, similar to the earlier case. In this experiment, the displacement of the mirror is done in steps of 50µm although

0.5 μ m can also be implemented. This is largely due to wider linear behavior when using a fused coupler as compared to the bundled fiber. The performance of the sensor is investigated for various coupling ratios such as 50:50, 90:10 and 80:20.

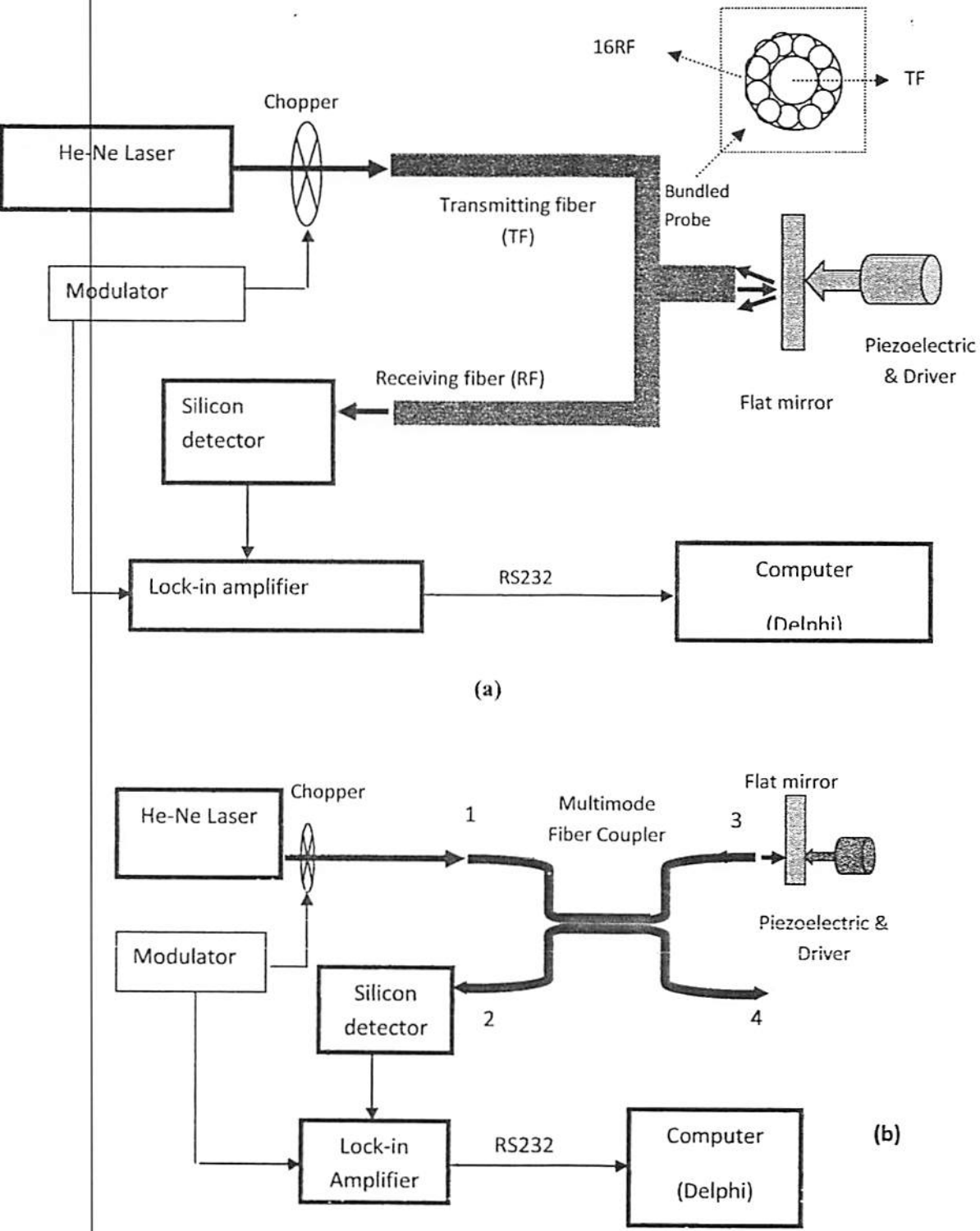


Fig. 6: Schematic diagram of the displacement sensor using (a) bundled probe (1TF; 16RF) and (b) multimode fiber coupler.

The sensitivity of the sensor was found to be 0.0076mV/ μ m for the front slope, and 0.0017mV/ μ m for the back slope. The first slope and the second slope demonstrate good linearities of more than 99% within a range of 0.064 to 0.50 mm and 1.10 to 2.12 mm, respectively. The highest resolutions of approximately 0.9 μ m and 4 μ m were obtained at the front and back slopes, respectively. The stability of the displacement sensor is also investigated, and the measurement error is observed to be less than 0.6% for the bundle fiber sensor. The output voltage of a yellow He-Ne laser was measured by silicon photo-detector and obtained at 14.1mV. The performance of the sensor is summarized as in Table 1 [20].

The performance of the sensor using a multimode fused coupler is summarized in Table 2 for different coupling ratios where the displacement range obtained was up to 5 mm. All the displacement curves only have one slope with the coupling ratio of 50:50 showing the highest sensitivity. With this coupler, the sensitivity is obtained at 0.00032mV/ μ m and the slope shows a good linearity of more than 99% within the range of 2.0mm. The highest resolution of approximately 34 μ m is also obtained with the coupling ratio of 50:50. The stability of the displacement sensor is also investigated and the measurement errors are observed to be less than 1.1% for all the sensors [20]. The experimental results show that the linear range of the coupler based sensors is better than the bundle fiber sensor.

Table 1. Performance of the fiber optic displacement sensor using a bundled probe.

Parameter	Front slope	Back slope
Sensitivity	0.0076 mV/ μ m	-0.0017 mV/ μ m
Linear range	438 (64-502) μ m	1020 (1104-2124) μ m
Resolution	0.92 μ m	4 μ m

Table 2. Performance of the fiber optic displacement sensor using a multimode fused coupler.

Coupling ratio	Sensitivity (mV/ μ m)	Linear range (mm)	Resolution (μ m)	Dynamic range (mm)
50:50	0.00032	2.0	34	5.0
90:10	0.00022	2.0	46	3.0
80:20	0.00018	2.0	51	4.0

5.2. Estimation of Metal Surface Roughness

The application of fiber optic sensor was conducted for stainless steel metal surface. The level of roughness is obtained at around 26%, which corresponds to distance variation or maximum gap of about 37 μ m. The results of surface roughness measurements for the copper surface show that the level of roughness is approximately 20% which corresponds to distance variation or maximum gap of about 37 μ m. Table 2 summarizes the experimental results for all metal surface roughness. The surface finish roughness parameter used throughout in this work is the average surface roughness (R_a) as it is the most widely used surface finish parameter by researchers and in industry as well. The value of R_a of the metal surface finish samples as summarized in Table 2. The reflectivity of stainless steel, aluminum and copper is obtained at 74%, 70% and 64%, respectively [21].

Table 3. Level of surface roughness and surface finish parameter (R_a) for various metal surfaces.

No.	Type of metal surface	Level of roughness (%)	Level of roughness (μm)	Average surface roughness, R_a (μm)
1.	Aluminum	8-27	15-52	33
2.	Stainless steel	8-26	19-37	30
3.	Copper	7-20	13-37	22

5.3. Detection of tea concentration macerated onto the artificial teeth using fiber optic displacement sensor

The fiber-optic sensor to differentiate various tea concentrations on the macerated teeth and the results are summarized in Table 4. From these results, it is observed that the highest sensitivity of $0.0001\text{mV}/\mu\text{m}$ is achieved for a concentration of 0% and the lowest sensitivity is obtained at 10%. This shows that tea concentration reduces the intensity of the light beam reflected from the teeth surface. On the other hand, the linear range is observed to random for different tea concentration. The highest linear range of 1290nm is obtained at back slope for a concentration of 0%. Based on these results, it is found that the tea concentration affects reflectivity of artificial teeth, then the sensitivity and the location of maximum intensity of the sensor are changed [22]. This finding may be quite useful for chemical, pharmaceutical, biomedical and process control sensing applications.

Table 4. The performance of the displacement sensor for teeth samples

Tea concentration (%)	Front slope		Back slope	
	Sensitivity ($\text{mV}/\mu\text{m}$)	linear range (μm)	Sensitivity ($\text{mV}/\mu\text{m}$)	linear range (μm)
0	0.00010	480 (75-555)	0.00005	1290 (1485-2775)
2	0.00007	105 (75-180)	0.00002	1080 (855-1935)
6	0.00002	405 (30-435)	0.00002	840 (1080-1920)
10	0.00002	180 (30-210)	0.00002	1080 (645-1725)

5.4. Measurement of glucose concentration in distilled water

Fig. 7 shows the variation of peak voltage and its position with increasing concentration of glucose. In the present investigation, it is found that the peak voltage is increases linearly with the glucose concentration at a rate of $0.0103\text{mV}/(\%)$, this is far the case when the glucose concentration is varied from 0 to 25%. The peak voltage position also increases linearly with concentration as shown in Fig. 3. From the experimental results it can be concluded that as the glucose concentration increases, the refractive index also increases proportionally [23].

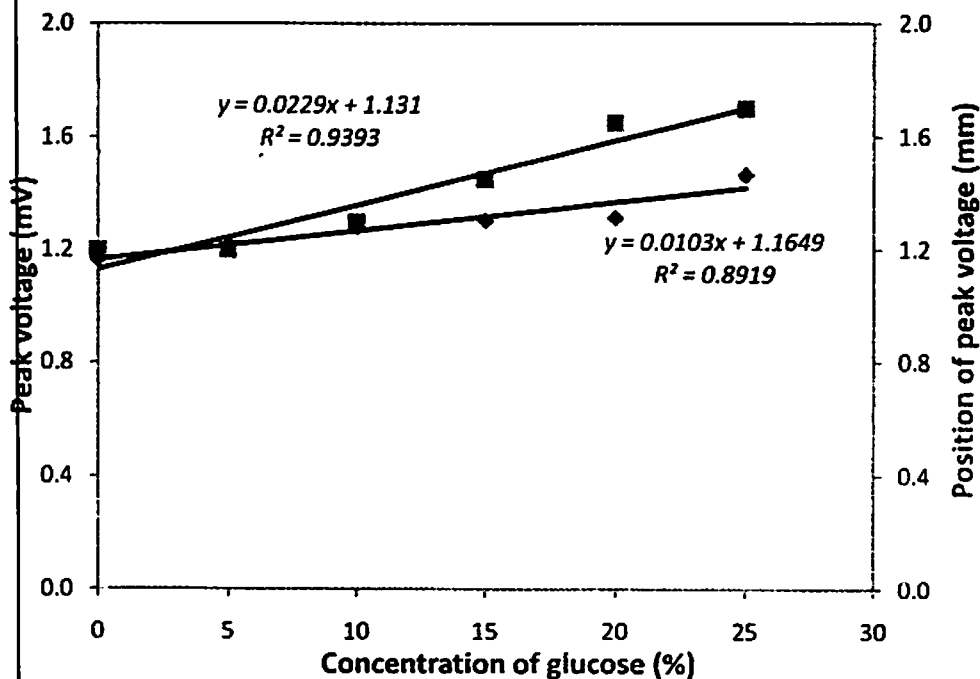


Fig. 7. Variations of peak voltage and its position with increased concentration of glucose in distilled water.

VI. CONCLUSIONS

High precision non-contact displacement measurement is the key to micro-nanotechnology. Fiber optic displacement sensors are demonstrated using both a bundled fiber and multimode coupler as a probe. The coupler-based sensor demonstrates a better linear range but lower sensitivity as compared to the bundle fiber sensor. In the case of coupler-based sensor, the resolution and the best linear range are obtained at $34\mu\text{m}$ and 2.0mm ($0\text{-}2.0\text{mm}$), respectively, using 50:50 coupling ratio. The measurement is done using different coupling ratios and it is found that 50:50 provide the best results. The bundle fiber-based sensor provides the best resolution with a value of $0.92\mu\text{m}$. However, its linear range is restricted to only 0.4mm . The fiber optic sensor can be used widely for the measurement of vibration, metal surface roughness, glucose level and colour change detection of artificial teeth.

REFERENCES

1. X.H. Li, X.M. Liu, Y.K. Gong, H.B. Sun, L.R. Wang, and K.Q. Lu, *Laser Phys. Lett.* **7**, 55-59 (2010).
2. Q. Wang and Q.X. Yu, *Laser Phys. Lett.* **6**, 607-610 (2009).
3. H. Ahmad, K. Thambiratnam, A.H. Sulaiman, N. Tamchek, and S.W. Harun, *Laser Phys. Lett.* **5**, 726-729 (2008).
4. S. A. Babin, S. I. Kablukov, I. S. Shelemba and A. A. Vlasov, *Laser Phys.* **17**, 1340-1344 (2007).
5. Yu. N. Kulchin, O. B. Vitrik, A. V. Dyshlyuk, A. M. Shalagin, S. A. Babin and A. A. Vlasov, *Laser Phys.* **17**, 1335-1339 (2007).
6. J. Chang, Q. Wang, X. Zhang, L. Ma, H. Wang, S. Zhang, Q. Wang, J. Ni and Y. Wu, *Laser Phys.* **18**, 911-913 (2008).

7. C. Cui, Q. Wang, X. Hu, Y. Yu, and S. Zhao, *IEEE Trans. on App. Superconductivity*, **18**, 836-839 (2008).
8. M. Yasin, S.W. Harun, H.A. Abdul-Rashid, Kusminarto, Karyono, and H. Ahmad, *Laser Phys. Lett.* **5**, 55-58 (2008).
9. D. A. M. P. Malta, M. A. M. Kreidler, G. E. Villa, M. F. de Andrade, C. R. Fontana, and R. F. Z. Lizarelli, *Laser Phys. Lett.* **4**, 153-156 (2007).
10. K. Fidanboylu and H.S. Efendioglu, 5th International Advanced Technology Symposium (IATS'09), May 13-15, 2009, Turkey.
11. Jenny, R., *Fundamentals of Fiber Optics: An Introduction for Beginners*, Volpi Manufacturing USA Co., New York, 2000.
12. Tracey, P. M., *Intrinsic Fiber-Optic Sensors*, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **27**, 1, 1991.
13. Yu, F. T. S., and Shizhuo, Y., *Fiber Optic Sensors*, Marcel Dekker, Inc., Newyork, 2002.
14. Krohn, D. A., *Fiber Optic Sensors: Fundamental and Applications*, Instrument Society of America, Research Triangle Park, North Carolina, 1988.
15. Casas J. R., and Paulo, J. S., *Fiber Optic Sensors for Bridge Monitoring*, *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 2003.
16. Berthold, J. W., *Historical Review of Microbend Fiber Optic Sensors*, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, 1193-1199, 1995.
17. Connelly, M. C., *Fiber Sensors*, Elsevier Ltd., Limerick, 2005.
18. Udd, E., W. Schulz, J. Seim, J. Coronas, and H. M. Laylor, *Fiber Optic Sensors for Infrastructure Applications*, Oregon Department of Transportation, Washington D.C, 1998.
19. Méndez, A., *Overview of fiber optic sensors for NDT applications*, IV NDT Panamerican Conference, 1-11, 2007.
20. M. Yasin, S. W. Harun, Pujiyanto, Z. A. Ghani, and H. Ahmad, "Performance Comparison between Plastic Based Fiber Bundle and Multimode Fused Coupler as Probes in Displacement Sensors", *Laser Physics*, Vol. 20, No. 10, (2010) 1890–1893.
21. S. W. Harun, M. Yasin, H. Z. Yang, Kusminarto, Karyono, and H. Ahmad., "Estimation of Metal Surface Roughness Using Fiber Optic Displacement Sensor", *Laser Physics*, Vol. 20, No. 4, (2010) 1–6.
22. M. Yasin, S. W. Harun, R. Apsari, Suhariningsih, Kusminarto, Karyono, H. Ahmad, "Detection of tea concentration macerated onto the artificial teeth using fiber optic displacement sensor", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Comm.*, Vol 4, Issue 2 (2010) 141-143.
23. M. Yasin, S. W. Harun, H. Z. Yand and H. Ahmad. "Fiber optic displacement sensor for measurement of glucose concentration in distilled water", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Comm.*, Vol 4, Issue 8 (2010) 1063-1065.