

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI
SENSOR SERAT OPTIK
UNTUK MENUJU KEMANDIRIAN BANGSA**



Pidato

Disampaikan pada Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Fisika Optik
pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga
di Surabaya pada Hari Sabtu, Tanggal 10 Desember 2016

Oleh

MOH. YASIN

Printing by
Airlangga University Press (AUP)
OC 327/11.16/B8E

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua,

Yang terhormat,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Airlangga,

Ketua, Sekretaris, Para Ketua Komisi, dan Anggota Senat Akademik Universitas Airlangga,

Rektor dan Para Wakil Rektor Universitas Airlangga,

Para Guru Besar Universitas Airlangga dan Guru Besar Tamu,

Para Dekan dan Wakil Dekan di Lingkungan Universitas Airlangga,

Para Direktur di Lingkungan Universitas Airlangga,

Para Pimpinan Lembaga, Badan, Ketua dan Sekretaris Departemen,

Koordinator Program Studi di Lingkungan Universitas Airlangga,

Teman Sejawat dosen dan segenap Civitas Akademika Universitas Airlangga,

Sejawat Himpunan Fisikawan Indonesia (HFI),

Himpunan Optika Indonesia (HOI),

Bapak dan Ibu para Undangan dan Hadirin yang saya hormati,

Hadirin yang saya muliakan,

Puji syukur kehadiran Allah swt seru sekalian alam, yang telah memberikan limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya bagi kita sekalian, sehingga kita dapat berkumpul bersama dalam keadaan sehat walafiat dan berbahagia menghadiri Sidang Terbuka Senat Akademik Universitas Airlangga dalam acara pengukuhan saya sebagai Guru Besar Universitas Airlangga dalam Bidang

Ilmu Fisika Optik pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Saya haturkan terima kasih yang sedalam-dalamnya disertai penghargaan setinggi-tingginya atas kehadiran Bapak dan Ibu sekalian dalam pengukuhan ini, yang sekaligus menjadi saksi dan sebagai titik-tolak bagi bertambah beratnya amanah dan tanggung jawab saya sebagai insan akademik di kampus tercinta ini. Semoga nikmat yang tak terhingga ini menjadi kekuatan pada saya untuk meningkatkan ibadah kepada-Nya, menjadi kekuatan untuk pengabdian bagi keluarga, masyarakat, bangsa dan umat, serta menjadi kekuatan untuk senantiasa berjalan di jalan yang benar menjauhi semua larangan-Nya dan melaksanakan semua perintah-Nya.

Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad S.A.W, beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Amin.

Pada kesempatan yang sangat terhormat ini, perkenankan saya menyampaikan pandangan pemikiran saya dengan judul :

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI SENSOR SERAT OPTIK UNTUK MENUJU KEMANDIRIAN BANGSA

Judul tersebut saya pilih sesuai dengan ilmu yang saya tekuni selama ini yaitu Fotonika dan Pirantinya sebagai salah satu kajian dalam lingkup keilmuan fisika, khususnya yang terkait dengan prinsip dan aplikasi fenomena optis dalam interaksinya dengan bahan yang disebut dengan Fisika Optik.

Hadirin yang saya muliakan,

Melalui proses evolusi yang panjang, perkembangan peradaban manusia telah memasuki era informasi. Teknologi informasi telah menjadi tren dari perkembangan kontemporer.

Dengan semakin banyak produk teknologi tinggi yang masuk ke dalam kehidupan manusia, akan semakin banyak permintaan pembawa informasi dengan kecepatan tinggi dan kapasitas yang besar. Hal tersebut telah menjadi sasaran para peneliti dalam mengembangkan penelitiannya. Selama 40 tahun, revolusi dibawa ke dalam teknologi informasi disebabkan oleh perkembangan industri optoelektronik dan telekomunikasi. Peningkatan kualitas dan pengurangan biaya dalam komponen optoelektronik telah membawa industri menghasilkan piranti optik dengan kinerja tinggi seperti CD, player, bar code scanner, laser printer, kamera CCD, proyektor LCD, fotodetektor kepekaan tinggi dan lain-lain. Perkembangan laser *ultrafast* dalam bidang komunikasi yang dihasilkan oleh perkembangan industri komunikasi serat optik berhasil menyediakan jaringan komunikasi yang handal dan lebih banyak, *bandwidth* lebih besar sebagai pembawa informasi dengan biaya rendah.

Fisika Optik (*Optical Physics*) merupakan cabang Ilmu Fisika yang mempelajari tentang pembangkitan radiasi elektromagnetik, sifat radiasi dan interaksi cahaya dengan bahan. Interaksi cahaya dengan bahan dapat terjadi berdasarkan atas fenomena optis seperti pantulan, pembiasan, transmisi, dan hamburan. Sensor serat optik yang merupakan bagian dari sensor optik (*optical sensor*) adalah sensor yang menggunakan serat optik sebagai unsur pengindera (*sensing element*) perubahan fisis yang akan dideteksi.

Penemuan sumber cahaya laser pada tahun 1960 telah membuka jendela baru bagi para peneliti untuk mempelajari serat optik dalam bidang untuk komunikasi optis, sensor dan aplikasi lain dalam decade yang akan datang. Para peneliti telah melakukan eksperimen dengan cara mentransmisikan berkas cahaya laser pada panjang gelombang yang bervariasi. Di awal perkembangannya, rugi daya serat optik masih besar dan belum dapat menggantikan

kabel ko-aksial. Saat itu, serat optik mempunyai rugi daya yang cukup besar, yaitu 1000 dB/km, artinya hanya 1% cahaya yang ditransmisikan dalam media serat optik yang panjangnya 20 m, sehingga membuat serat optik masih kurang praktis untuk keperluan komunikasi. Charles Kao yang memenangkan hadiah Nobel tahun 2009 atas kontribusinya bersama rekan kerjanya, G. A. Hockham telah meneliti sifat dasar serat optik yang pada kesimpulan yaitu rugi-daya bahan dielektrik sebagian besar disebabkan oleh serapan dan hamburan. Serat optik bahan kaca dengan pengotoran yang lebih tinggi mampu menjadi kandidat sebagai bahan yang baik untuk aplikasi sistem komunikasi optik, seperti *coating* yang dilakukan oleh Cao, dibandingkan dengan kabel ko-aksial dan sistem komunikasi gelombang radio yang ada, bentuk pandu gelombang ini mempunyai kapasitas yang lebih besar dan keuntungan dalam biaya pembuatan bahan dasar.

Sekarang ini, keberhasilan pandu gelombang serat optik bergantung pada bahan dielektrik rugi-rendah yang sesuai. Rugi daya sebesar 20 dB/km masih jauh lebih besar dari batas bawah rugi daya yang disyaratkan oleh mekanisme bahan serat optik. Selanjutnya pada tahun 1969 C. Kao dan rekan kerja telah membuktikan bahwa silica (SiO_2) murni dapat digunakan untuk komunikasi optik yang baik. Sebuah penelitian di seluruh dunia telah dimulai secara intensif yang ditujukan untuk menghasilkan serat optik dengan rugi daya rendah. Pada tahun 1970, tim peneliti dari Corning Glass (USA) yang terdiri dari F.P. Kapron, D. B. Keck, P. C. Schultz, F. Zimar di bawah pimpinan R. D. Maurer, telah sukses membuat serat kaca dari bahan silica dengan rugi daya rendah sebagaimana yang telah diimpikan oleh Kao. Tim tersebut telah membuat serat optik dengan metode kimia yang disebut endapan uap kimia (*chemical vapor deposition/ CVD*). Untuk membuat teras dan *cladding* dengan beda indeks bias yang sangat kecil, dilakukan doping pada bagian teras silica

dan silica murni digunakan sebagai bahan *cladding*. Setelah beberapa tahun kemudian (1974), telah dicapai rugi daya 4 dB/km pada panjang gelombang 850 nm dengan menggunakan bahan germanium sebagai pengganti titanium. Beberapa teknologi lain telah dikembangkan di beberapa Negara seperti Jepang, USA dan UK. Di bawah arahan J. B. MacChesney dan rekan kerjanya di Laboratorium Bell telah dikembangkan teknik CVD termodifikasi, yang menghasilkan produk bahan serat optik yang lebih efisien. Dalam beberapa tahun kemudian, telah dapat dicapai pelemahan kurang dari 1 dB/km, yang jauh di bawah target yang ditetapkan oleh C. Kao. Sampai hari ini, pelemahan cahaya pada panjang gelombang 1,55 μm telah dicapai di bawah 0,2 dB/km. Serat optik modern adalah bahan transparan *extraordinary*, dengan lebih dari 95% cahaya yang ditransmisikan setelah merambat 1 km. Kemampuan membawa informasi orde gigabit pada kecepatan cahaya akan meningkatkan potensi penelitian di dalam pengembangan serat optik. Peningkatan kinerja dan pengurangan biaya komponen elektronik telah mengarah ke munculnya area produk baru. Dengan peningkatan teknologi manufaktur, rugi bahan serat optik telah berkurang dan kepekaan deteksi telah dapat ditingkatkan. Dengan pengembangan detektor untuk pengukuran daya rendah, seseorang dapat mendeteksi perubahan fase kecil, intensitas dan panjang gelombang cahaya yang dibawa oleh serat optik karena adanya gangguan kecil dari luar serat optik. Serat optik menjadi media fisis mengalami gangguan dari satu atau jenis lainnya. Oleh karena itu serat optik tersebut mengalami perubahan geometris (ukuran, bentuk, strain) atau sifat optis (indeks Bias, konversi ragam) yang tergantung pada sifat alami dan besar gangguan tersebut.

Di dalam aplikasi telekomunikasi, seseorang mencoba untuk meminimisasi beberapa efek sedemikian rupa sehingga transmisi dan penerima sinyal dapat diandalkan. Di sisi lain, dalam bidang

sensor serat optik, respons terhadap gangguan eksternal dapat ditingkatkan, sehingga perubahan yang dihasilkan oleh radiasi optik dapat digunakan sebagai ukuran dari gangguan eksternal. Di aplikasi Sensor serat optik, serat optik sebagai modulator dan juga berfungsi sebagai transduser yang mengonversi data pengukuran seperti suhu, stres, ketegangan, rotasi atau arus listrik dan magnetik ke dalam perubahan radiasi optik. Di dalam sub-cabang teknologi serat optik telah memunculkan bidang baru yang disebut “Sensor Serat Optik/SSO” (*Fiber Optic Sensor/FOS*). Pengembangan sensor serat optik telah dimulai pada tahun 1977 meskipun beberapa demonstrasi bahan serat optik telah dibuat dan dikenalkan sebelumnya.

Banyak laboratorium masuk ke dalam bidang sensor dan menghasilkan kemajuan yang sangat pesat. Di dalam bidang sensor serat optik mulai dikembangkan untuk penginderaan suara (Cole *et al.*, 1977; Bucaro and Hickman, 1979; Lagakos *et al.*, 2013), tekanan (Budiansky *et al.*, 1979; Hocker, 1979; Lagakos and Bucaro, 1981), suhu (Yariv and Winsor, 1980), medan magnet (Dandridge *et al.*, 1980; Rasleigh, 1981), rotasi (Bergh *et al.*, 1981; Arditty *et al.*, 1981), arus listrik (Dandridge *et al.*, 1981; Tangonan *et al.*, 1980), akselerasi, tingkat cairan, torsi, akustik foto, arus, perpindahan dan lain-lain (Giallorenzi *et al.*, 1982). Cahaya dicirikan oleh fase, polarisasi, frekuensi, panjang gelombang dan intensitas (amplitudo). Salah satu atau lebih dari parameter fisis ini dapat mengalami perubahan karena adanya gangguan luar. Kemampuan untuk mengukur dan menghitung perubahan secara akurat adalah *state of the art* dalam desain sensor. Di dalam sensor serat optik, informasi dapat disampaikan baik melalui perubahan fase, polarisasi, frekuensi, panjang gelombang, intensitas maupun kombinasi sifat-sifat serat optik tersebut; sedangkan di bagian fotodetektor, merupakan perangkat semikonduktor yang dapat

mengindra intensitas cahaya di bagian permukaan detektor tersebut. Oleh karena itu, seni penginderaan melalui modulasi fase, frekuensi atau polarisasi melibatkan untai optis pemrosesan sinyal berbasis interferometric atau kisi.

KEUNTUNGAN SENSOR SERAT OPTIK

Sampai sekarang ini, pendorong utama penelitian di bidang SSO adalah menghasilkan teknik berbasis serat optik yang dapat digunakan untuk mengukur perbedaan parameter fisis, yang memberikan landasan untuk teknologi pengukuran yang efektif, memperkuat teknologi yang dapat bersaing dengan metode konvensional dan menanggulangi kesulitan kondisi pengukuran di mana sensor konvensional tidak cocok untuk digunakan dalam lingkungan tertentu (misalnya lingkungan yang sulit dijangkau). Sensor serat optik yang dihasilkan memiliki banyak karakteristik yang menguntungkan secara signifikan bila dibandingkan dengan sensor konvensional. Berikut ini adalah beberapa keuntungan SSO dibandingkan dengan sensor konvensional (Bishnu, 2013).

1. Sinyal yang diindra kebal terhadap interferensi elektromagnetik (IEM) dan interferensi frekuensi radio (IFR).
2. *Non-contact* dan aman terhadap lingkungan yang mudah meledak.
3. Keandalannya tinggi dan aman serta tidak ada resiko kebakaran/percikan api.
4. Dapat mengisolasi tegangan tinggi dan tidak ada loop tanah sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan piranti isolasi seperti opto-coupler.
5. Volume rendah dan ringan (1 km serat silica 200 μm beratnya 70 gram dan menempati volume sekitar 30 cm^3).

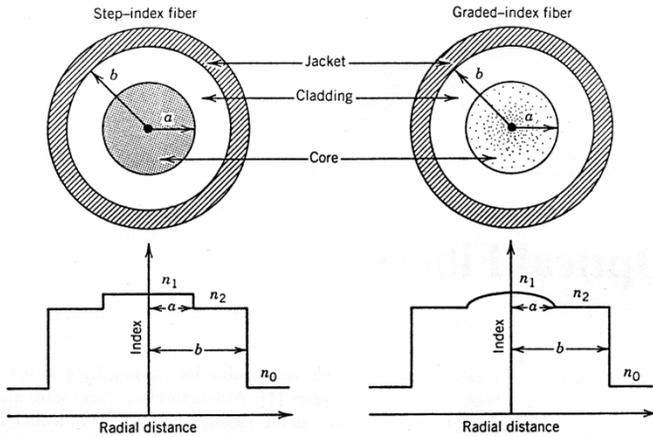
6. Dapat digunakan untuk mengindera parameter-parameter di daerah yang tidak dapat diakses tanpa adanya gangguan transmisi sinyal.
7. Dapat dihubungkan dengan antarmuka melalui telemetri serat optik rugi-daya rendah dan dapat dikontrol dari jarak jauh.
8. Lebar-pita besar dan dapat memilih banyak jalur individu menjadi satu luaran dari titik-titik sensor di dalam jaringan serat optik.
9. Lamban secara kimia dan dapat dengan mudah digunakan dalam proses kimia dan instrumentasi biomedis karena ukurannya kecil dan fleksibel.
10. Kemampuan penginderaan multifungsi seperti regangan, tekanan, korosi, suhu dan sinyal akustik.
11. Kuat, lebih tahan terhadap lingkungan yang keras.

Beberapa keuntungan ini cukup untuk menarik para peneliti guna melakukan penelitian secara intensif dan mengembangkan sensor berbasis serat optik di seluruh dunia. Hal ini menghasilkan berbagai sensor serat optik untuk keperluan pengukuran dan penginderaan parameter fisis yang akurat (Bishnu, 2013). Beberapa kerugian SSO juga diperhatikan selama pengembangan sensor. Salah satunya adalah sifat elastis yang rendah dan membuat serat optik sangat rapuh. Hal ini membuat SSO tidak cocok untuk beberapa aplikasi, sehingga dalam pengerjaannya memerlukan kehati-hatian yang cukup besar. Juga setiap proses memerlukan keahlian khusus. Dengan teknologi saat ini, perakitan sistem optik merupakan proses yang rumit termasuk proses penyambungan yang memerlukan keahlian teknis yang khusus. Namun, setelah ditemukan serat optik plastik bahan PMMA (Poly(*methyl methacrylate*)), maka beberapa kelemahan tersebut dapat diatasi.

Fenomena pantulan internal total dalam pemanduan cahaya di dalam serat optik telah dikenal sejak 150 tahun yang lalu. Walaupun serat optik dari bahan kaca telah dibuat pada tahun 1920-an tetapi baru pada tahun 1950-an digunakan untuk aplikasi praktis. Sebelum tahun 1970, serat optik digunakan hanya dalam bidang medis untuk serat jarak pendek, kegunaan dalam bidang komunikasi belum digunakan secara praktis karena rugi dayanya masih sangat tinggi (~ 1000 dB/km), tetapi keadaan berubah secara cepat setelah tahun 1970 ketika rugi daya menjadi 20 dB/km (Miya *et al.*, 1979). Perkembangan selanjutnya adalah dicapainya rugi daya serat optik sebesar 0,2 dB/km pada daerah spektral panjang gelombang $1,55 \mu\text{m}$ (Agrawal, 2002; Meschede, 2007).

DASAR-DASAR SERAT OPTIK

Struktur serat optik terdiri atas teras silinder (diameter $< 1,0\text{mm}$) yang terbuat dari bahan silika atau polimer organik (plastik) dikelilingi oleh *cladding* yang mempunyai indeks bias lebih kecil dari pada teras. Serat optik dengan indeks bias teras (n_1) yang bernilai tetap disebut dengan *serat step-indeks*. Sementara teras yang indeks biasnya berubah secara gradual disebut dengan *serat graded index*. Gambar 1 menunjukkan skema profil indeks-bias dan tampang lintang kedua jenis serat tersebut.



Gambar 1. Tampang lintang dan profil indeks-bias serat optik step-indeks dan graded-indeks (Agrawal, 2007).

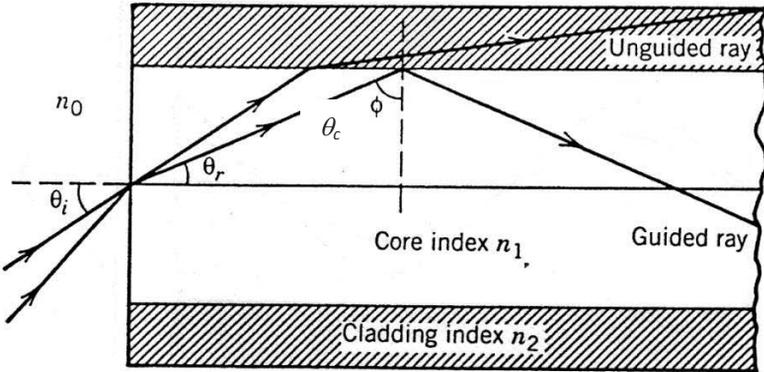
Lintasan berkas cahaya di dalam serat optik secara geometris dapat dilihat Gambar 2, dengan θ_i adalah sudut datang terhadap sumbu aksial teras. Oleh karena pembiasan terjadi pada sambungan serat-udara, berkas akan mendekati garis normal. Sudut bias θ_r , diberikan oleh persamaan,

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_r \dots\dots\dots(1)$$

dengan n_1 dan n_0 berturut-turut adalah indeks bias teras dan udara, kemudian sinar akan mengenai sambungan teras-*cladding* dan terjadi pembiasan lagi yang terjadi pada keadaan $\sin \theta_p < (\frac{n_2}{n_1})$, dengan n_2 adalah indeks-bias *cladding*. Untuk sudut yang lebih besar dari pada sudut kritis, didefinisikan sebagai,

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1 \dots\dots\dots(2)$$

Jika cahaya dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya akan mengalami pantulan internal total pada sambungan teras-cladding sepanjang panjang serat optic, sehingga terjadi pemanduan gelombang cahaya sepanjang serat optik tersebut.



Gambar 2. Pantulan internal total melalui sambungan teras-cladding di dalam serat optik step-indeks (Krohn, 2000).

Dalam mencari sudut maksimum sinar yang datang, dapat digunakan persamaan (1) dan (2) serta hubungan, $\theta_r = \frac{\pi}{2} - \theta_c$ akan diperoleh (Kumar, 2005),

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \cos \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

besaran pada persamaan (2.3) disebut dengan: *numerical aperture (NA)* suatu serat optik. Besaran NA menyatakan tentang kemampuan serat optik untuk mengumpulkan cahaya. Bila $n_1 \approx n_2$, NA akan sama dengan,

$$NA = n_1 [2(n_1 - n_2 / n_1)]^{1/2} \dots\dots\dots(4)$$

Rugi-daya Serat Optik (*fiber losses*)

Rugi daya merupakan hal yang membatasi kinerja serat optik sejak dikembangkan tahun 1970-an. Meskipun demikian, rugi daya menjadi kajian yang menarik untuk serat optik modern. Hal ini disebabkan oleh sistem komunikasi optik memerlukan serat optik yang panjangnya sampai ribuan kilometer, sehingga rugi daya menjadi kajian yang menarik bagi piranti atau komponen berbasis serat optik. Dalam keadaan umum, perubahan rugi daya rata-rata berkas cahaya yang merambat di dalam serat optik mengikuti hukum Beer sebagai berikut (Agrawal, 2004),

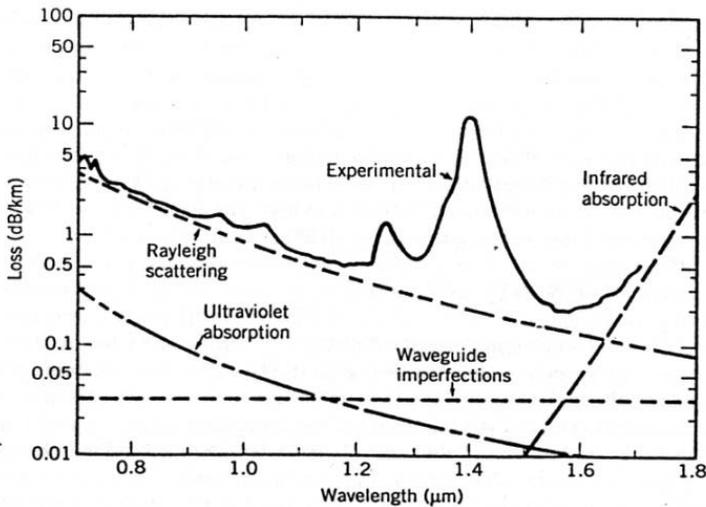
$$P_{out} = P_{in} \exp(-\alpha L) \dots\dots\dots (5)$$

dengan P_{in} adalah daya optik yang masuk ke dalam ujung masukan serat optik dan P_{out} adalah daya optik yang keluar pada ujung luaran serat optik. Panjang serat optik adalah L dan α adalah koefisien pelemahan serat optik. Pelemahan sering dinyatakan dalam satuan dB/km dengan persamaan (Agrawal, 2004),

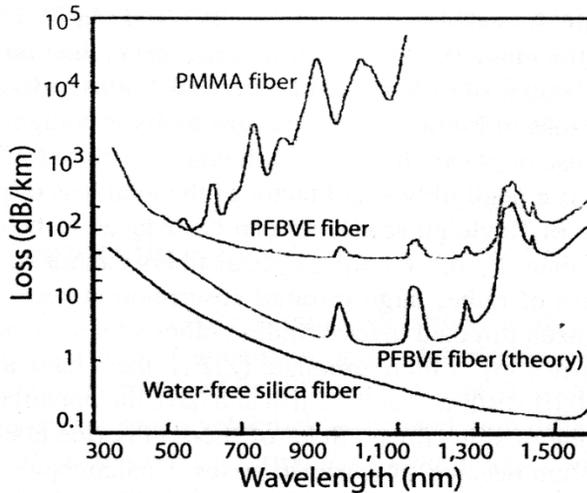
$$\alpha(dB / km) = -\frac{10}{L} \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \approx 4,343\alpha \dots\dots\dots(6)$$

Besaran rugi daya optik bergantung pada bahan serat yang digunakan seperti bahan silika atau plastik. Spektrum rugi daya optik (dB/km) serat bahan silika ditunjukkan oleh Gambar 3, sebagai contoh serat optik dengan bahan silika berdiameter 9,4 μm , beda indeks-bias, $\Delta=1,9 \times 10^{-3}$ dan panjang gelombang *cut-off* sebesar 1,1 μm menunjukkan rugi daya optik kecil sebesar 0,2 dB/km; sedangkan rugi daya optik untuk bahan serat optik plastik ditunjukkan oleh Gambar 4. Serat optik plastik menunjukkan rugi daya yang rendah pada panjang gelombang cahaya tampak tetapi ruginya lebih dari 100 dB/km. Di dalam serat

optik *PFBVE* rugi dayanya mendekati 50 dB/km untuk jangkauan panjang gelombang dari 800 sampai 1300nm dan mempunyai potensi rugi dayanya diturunkan menjadi 10 dB/km dalam kondisi optimum. Rugi daya optik bahan serat optik dibagi menjadi 2 macam, yaitu rugi intrinsik yang merupakan hasil dari ragam vibrasi bermacam-macam ikatan molekul (*C-C*, *C-O*, *C-H*, dan *O-H* dan sebagainya) di dalam serat optik berbahan polimer organik, sementara pada panjang gelombang ultraviolet rugi daya akan bertambah dengan cepat oleh karena adanya transisi elektronik. Spektrum rugi daya optik untuk bahan plastik ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 3. Spektrum rugi daya serat optik *singlemode* yang dibuat pada tahun 1979 (Agrawal, 2004).



Gambar 4. Spektrum rugi daya serat optik plastik (Agrawal, 2004).

Tinjauan Sensor Serat Optik

Selama 20 tahun terakhir ada dua revolusi utama yang terjadi dalam perkembangan industri optoelektronika dan komunikasi serat optik. Industri optoelektronika telah menghasilkan berbagai piranti seperti *CD player*, laser printer, *bar-code scanner*, dan laser pointer. Industri komunikasi serat optik telah mengalami revolusi telekomunikasi dengan menghasilkan berbagai piranti optik dengan kinerja tinggi, jaringan telekomunikasi yang lebih handal dengan biaya (*cost*) bandwidth yang semakin menurun. Revolusi ini membawa keuntungan yaitu adanya produksi piranti optis dengan kapasitas tinggi bagi pengguna dan informasi dengan kecepatan yang sangat tinggi (Yu and Yin, 2002).

Sejalan dengan perkembangan ini, teknologi sensor serat optik (Udd, 1991; Dakin and Culshaw, 1988; Culshaw and Dakin, 1989; Giallorenzi *et. al.*, 1982; Krohn, 2015; Udd, 1992) telah

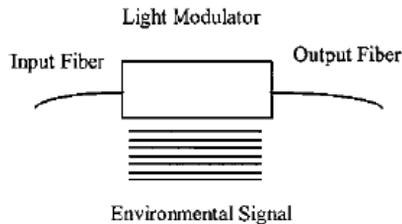
dikaitkan dengan pengguna utama industri optoelektronika dan komunikasi serat optik. Beberapa komponen yang berhubungan dengan industri ini, sering dikembangkan untuk aplikasi sensor serat optik. Teknologi sensor serat optik sering dikendalikan oleh perkembangan komponen komunikasi untuk mendukung industri sensor ini. Harga-harga komponen optik telah turun tetapi peningkatan kualitas telah dibuat dan dikembangkan, sehingga kemampuan sensor serat optik dapat menggantikan sensor tradisional (konvensional) untuk berbagai keperluan pengukuran besaran fisis seperti: rotasi, percepatan, medan listrik dan medan magnet, suhu, tekanan akustik, getaran, posisi sudut dan linear, strain, kelembapan, viskositas, analisis kimia dan aplikasi sensor serat optik di bidang-bidang lain. Di awal perkembangan teknologi sensor serat optik, berbagai komponen optik telah berhasil dijual di pasaran komersial, diantaranya adalah komponen sensor serat optik yang mempunyai beberapa keuntungan, yaitu (1) mampu menyalurkan berkas cahaya, ukurannya sangat kecil, komponennya bersifat pasif, konsumsi dayanya kecil, kebal terhadap interferensi elektromagnetik, (2) kepekaannya tinggi, (3) mempunyai bandwidth yang lebar dan (4) tahan terhadap lingkungan yang berbahaya dan sulit dijangkau.

Situasi telah berubah dengan ditemukannya laser diode dengan harga 3000\$ (pada tahun 1979) dengan waktu-hidup (*lifetime*) ribuan jam dan dapat digunakan secara luas dalam CD player, printer laser, laser pointer dan barcode reader. Serat *singlemode* pada awalnya dijual dengan harga 20\$/meter dan kemudian turun menjadi 0,1\$/meter (pada tahun 2002), meskipun demikian sifat mekanik dan optisnya berkembang dengan pesat. Piranti optika terpadu (*integrated optical devices*) yang saat itu belum ada kemudian sekarang telah tersedia dan dapat digunakan untuk mendukung aplikasi serat optik sebagai *gyroscope*. Kecenderungan di masa yang akan datang

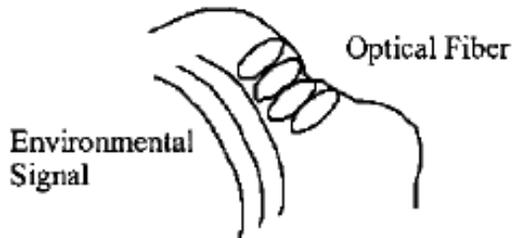
merupakan kesempatan bagi para perancang (*designer*) sensor serat optik untuk menghasilkan produk sensor yang kompetitif untuk menggantikan sensor konvensional yang telah beredar di pasaran.

Prinsip Kerja Sensor Serat Optik

Sensor serat optik sering dikelompokkan menjadi dua klasifikasi utama, yaitu ekstrinsik dan intrinsik. Sensor serat optik berbasis sensor ekstrinsik dan intrinsik berturut-turut ditunjukkan oleh Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Sensor serat optik ekstrinsik (Yin, 2002).



Gambar 6. Sensor serat optik intrinsik (Yin, 2002).

Serat optik ekstrinsik terdiri dari serat optik yang masuk dan keluar kotak hitam (*black box*) yang memodulasi berkas cahaya yang melaluinya dan merespons efek perubahan lingkungan (Gambar 5). Serat optik yang masuk ke kotak hitam akan

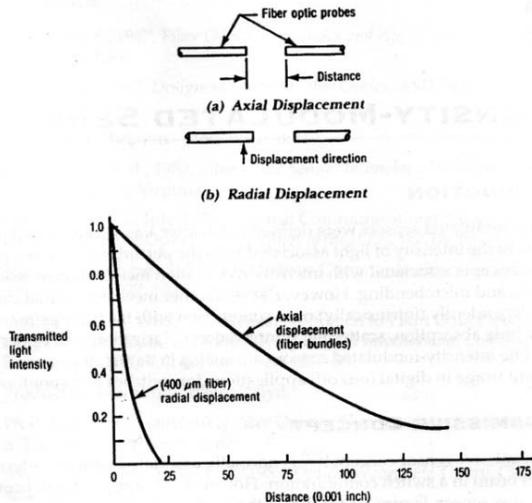
mengindera informasi di dalam berkas cahaya untuk merespons efek perubahan lingkungan. Informasi tersebut dapat diindera dalam bentuk intensitas, fase, frekuensi, polarisasi dan metode lain. Kemudian serat optik dapat menyalurkan cahaya dengan informasi yang sesuai dengan efek perubahan lingkungan dan kemudian dapat dihubungkan ke prosesor optik dalam bentuk sinyal elektronik. Gambar 6 menunjukkan diagram blok sensor intrinsik dengan menggunakan serat optik, berkas cahaya yang merambat dalam serat optik tersebut dimodulasi oleh pengaruh lingkungan secara langsung atau melalui perubahan panjang lintasan yang terimbas oleh efek lingkungan tersebut.

Serat Optik Berbasis Modulasi Intensitas

Sensor serat optik dapat dibagi menjadi lima kategori dasar, yaitu: sensor termodulasi-fase, sensor termodulasi-intensitas, sensor termodulasi-panjang gelombang, sensor berbasis hamburan, dan sensor berbasis polarisasi. Sensor termodulasi-intensitas umumnya terkait dengan perpindahan atau beberapa gangguan fisis lainnya yang berinteraksi dengan serat optik atau transduser mekanis yang terpasang. Metode deteksi berbasis modulasi intensitas mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan dua metode yang lain, yaitu sederhana, biaya murah dan ketelitian tinggi.

Sensor optik yang berbasis modulasi intensitas didefinisikan sebagai sensor yang mendeteksi perubahan intensitas berkas cahaya yang berkaitan dengan perubahan lingkungan. Konsep umum yang berkaitan dengan modulasi intensitas meliputi metode transmisi, pantulan dan lekukan-mikro (*micro-bending*). Piranti dasar sensor serat optik terdiri dari sumber cahaya, serat optik dan foto-detektor. Prinsip kerja sensor serat optik secara transmisi berkaitan dengan dua buah serat optik dengan salah satu serat optik bertindak sebagai penyalur atau pemancar (*transmitting*)

berkas cahaya, sementara serat optik yang lain bertindak sebagai penerima (*receiving*) berkas cahaya yang keluar dari ujung serat pemancar. Gambar 7 (a) dan (b) menunjukkan susunan probe serat optik untuk pengukuran pergeseran aksial dan pergeseran secara *lateral*. Gambar 7 juga menunjukkan hubungan antara tegangan luaran terhadap efek pergeseran radial serat optik penerima.



Gambar 7. Sensor serat optik dengan metode transmisi (Krohn, 2000).

Serat Optik Plastik (*Plastic Optical Fibers/ POFs*)

Selama beberapa tahun ini, serat optik bahan silika digunakan secara luas sebagai bahan utama untuk pembuatan serat optik dalam aplikasi di bidang telekomunikasi dan sensor. Selalu menjadi hal yang menarik di dalam pengembangan *POF* untuk aplikasi dalam bidang telekomunikasi dan sensor, tetapi teknologi ini cenderung di bawah ‘bayang-bayang’ pendekatan serat optik berbasis silika. Hal ini muncul karena rugi daya serat optik plastik yang tinggi terutama di daerah infra merah dekat.

Meskipun demikian, serat ini mempunyai potensi di dalam pasar telekomunikasi yaitu biaya yang relatif lebih murah melalui pengurangan beberapa piranti optik seperti: konektor serat optik, *packaging* dan instalasi. Serat optik plastik berdiameter besar ($\approx 1\text{-}2\text{ mm}$), *bandwidth* tinggi dan indeks-landai (*graded index*) dengan rugi daya rendah dapat diaplikasikan dalam bidang sensor, khususnya sistem sensor dengan panjang serat optik pendek (puluhan sampai ratusan meter). Bahan yang sering digunakan untuk pembuatan serat optik plastik jenis step-index (indeks bias teras serat optik dengan nilai tetap) adalah *poly_methyl_methacrylate (PMMA)*. Bila digunakan bahan tambahan polimer amorf (*perfluorinated*) dapat menghasilkan rugi transmisi yang rendah (sekitar 40 dB/km) pada daerah infra merah dekat. Pada tahun 1968 Dupont telah berhasil membuat *POF* dengan teras (*core*) step-index untuk aplikasi dalam bidang komunikasi, kemudian kelompok Asahi Glass Jepang telah berhasil membuat serat optik plastik dengan teras *graded-index* yang dapat mentransmisikan sinyal pada jarak beberapa ratus meter pada panjang gelombang $1,3\ \mu\text{m}$ (Grattan and Sun, 2000). Hal tersebut menunjukkan bahwa dampak signifikan perkembangan teknologi sensor serat optik untuk menghasilkan sistem transmisi yang memenuhi syarat kelayakan dalam hal panjang serat optik dan kelenturannya (*flexibility*) untuk menggantikan serat silika di masa yang akan datang. Berbasis teknologi bahan, dapat dikembangkan eksploitasi kelompok baru serat optik seperti *POF* dengan bahan serat silika yang merupakan komponen dasar telekomunikasi dan dapat diterapkan pada sejumlah teknologi sensor dan jaringannya.

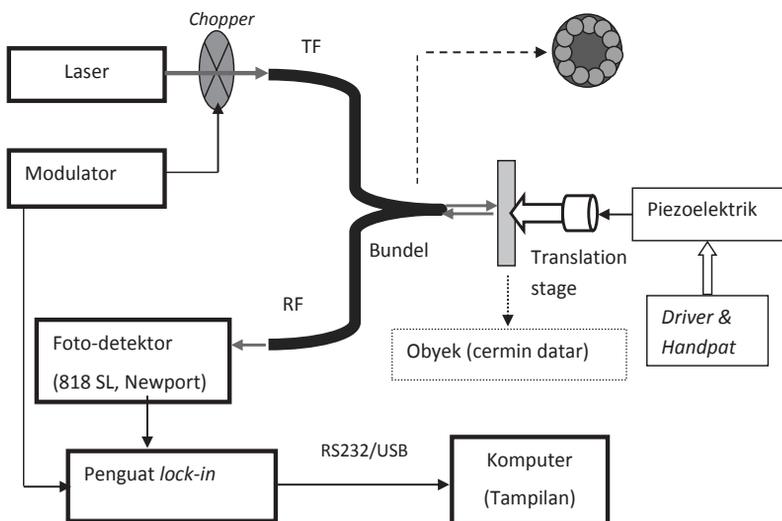
Aplikasi *POF* dalam bidang sensor seperti pengukuran indeks bias bahan dapat dilakukan dengan cara pengupasan di bagian *cladding*, sehingga memungkinkan adanya interaksi langsung antara bahan cairan dengan berkas cahaya di dalam serat yang dapat menyebabkan perubahan rugi transmisi (Baran,

1998). Prinsip pengukuran tersebut dikenal dengan teknik “*fiber taper*”. Di dalam sistem sensor dengan komponen serat optik plastik, dapat disusun secara sederhana dengan biaya murah. Sebagai contoh sensor serat untuk pengukuran tekanan dinamis di kendaraan besar (Steiger, 1998), demikian juga dengan sensor tekanan gas sederhana dan sensor ketinggian cairan telah dikembangkan oleh beberapa peneliti (Morisawa and Muto, 1998) dan serta beberapa aplikasi untuk sensor *stress*, saklar panas (*thermo switch*) dan detektor warna (*colour detector*) juga telah dipublikasikan oleh kelompok kerja ini. Sifat lentur, ringan dan kesederhanaan koneksi yang dimiliki oleh serat optik plastik ini sangat memungkinkan untuk diaplikasikan di bidang otomotif, meskipun ada beberapa kekurangan di dalam pemanfaatan serat optik plastik yaitu keterbatasan terhadap bahan kimia, panas dan *stress* mekanik. Hal lain yang menarik dalam pengembangan *POF* adalah doping *POF* untuk menghasilkan serat optik yang dapat bersifat fluoresens yang menghasilkan berkas cahaya laser. *POF* yang di-doping oleh scintilator organik dan zat warna telah dapat menciptakan laser zat warna-serat optik. Baru-baru ini telah berhasil dibuat serat plastik yang di-doping oleh unsur tanah jarang (*rare earth*) yang memiliki karakter yang sama dengan serat silika yang di-doping oleh unsur-unsur tanah jarang. Selanjutnya, aplikasi *OTDR* dengan menggunakan laser *Nd:YAG* dan *SHG* (*Second Harmonic Generation*) pada panjang gelombang 532 nm telah dikembangkan dengan menggunakan *POF* yang mempunyai beberapa keuntungan seperti nilai *NA* yang besar, diameter besar dan pelemahan rendah (Nowodzinski *et al.*, 1998). Penggunaan *POF* pada *OTDR* ini telah membawa keuntungan yaitu pengukuran di daerah yang terbatas (*confined regions*) dan sulit dijangkau. Dalam bidang ini, dapat dikembangkan *POF* secara luas untuk menghasilkan sensor yang efektif dan dapat diproduksi secara massal.

Sensor Serat Optik Berbasis Serat Optik Bundel

Di dalam desain sensor pergeseran terakhir ini, banyak penelitian difokuskan pada ukuran dan berat probe serat optik. Dari desain sensor yang telah dipublikasi, meskipun ukuran probe kecil tetapi dapat digunakan untuk pengukuran non-kontak lokal dan jarak jauh yang diperlukan dalam banyak aplikasi untuk daerah berbahaya. Beberapa penelitian sensor pergeseran telah difokuskan pada kinerja sensor yaitu resolusi tinggi, sementara yang lain telah difokuskan pada jangkauan dinamis yang panjang.

Penelitian tentang analisis teori sensor pergeseran berbasis modulasi intensitas dengan menggunakan serat optik bundel (Gambar 8) telah dilakukan oleh Faria (1998) untuk probe dengan bentuk susunan pasangan (*pair*) yang terdiri dari sebuah serat



Gambar 8. Diagram blok setup eksperimen sensor pergeseran serat optik dengan menggunakan otomasi akuisisi data sistem sensor (*TF*: *Transmitting fiber*; *RF*: *receiving fiber*).

optik pemancar dan penerima dengan diameter teras (*core*) yang sama. Dari hasil penurunan matematis yang dilakukan oleh Faria, diperoleh persamaan matematis daya luaran ternormalisasi sebagai berikut,

$$P_N = \frac{8}{\zeta^2} \exp\left(1 - \frac{8}{\zeta^2}\right) \dots\dots\dots (7)$$

dengan,

$$\zeta = \frac{z}{z_a} = 1 + \frac{2h}{z_a} = 1 + 2h_N$$

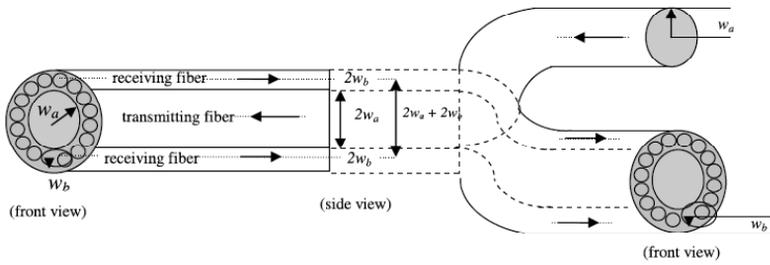
Sensitivitas sensor dapat dihitung dengan mendiferensialkan P_N terhadap h_N , yaitu,

$$S = \frac{\partial P_N}{\partial h_N} \dots\dots\dots (8)$$

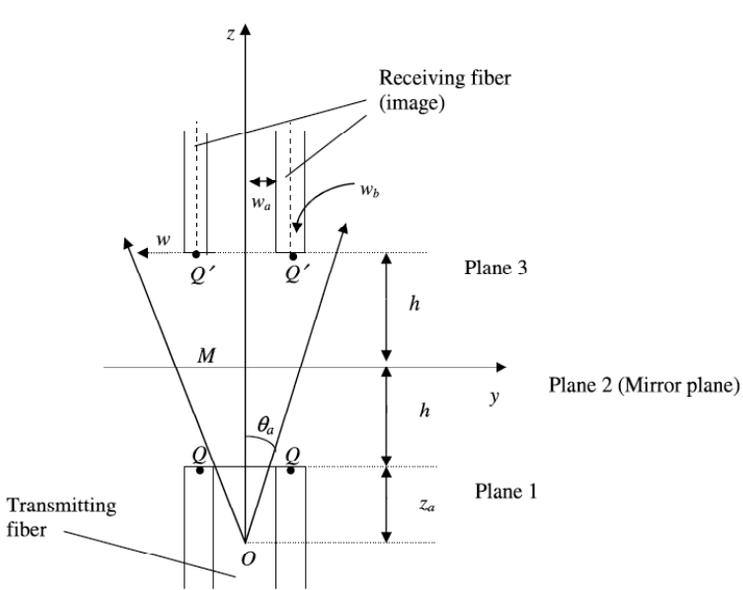
Sehingga diperoleh sensitivitas dengan persamaan matematis (Faria, 1998)

$$S = 2 \frac{\partial}{\partial \zeta} P_N = \frac{4}{\zeta} \left(\frac{8}{\zeta^2} - 1 \right) P_N (\zeta) \dots\dots\dots (9)$$

Sedangkan analisis teori tentang sensor pergeseran berbasis modulasi intensitas dengan menggunakan probe serat optik bundel jenis plastik dengan susunan konsentris yang terdiri atas 16 buah serat penerima telah dilakukan oleh Yasin *et al.* (2007). Probe serat optik bundle jenis konsentris ditunjukkan oleh Gambar 9. Probe serat tersebut terdiri dari sebuah serat pemancar yang dikelilingi oleh serat penerima. Perambatan sumber cahaya yang keluar dari serat pemancar dan ditangkap oleh serat penerima ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 9. Tampang sisi depan dan samping sebuah serat optik pemancar dan 16 buah penerima pada probe serat optik bundel (Yasin *et al.*, 2009).



Gambar 10. Berkas cahaya yang keluar dari serat pemancar dan ditangkap oleh serat penerima sebagai serat bayangan (*mage fiber*) yang melewati bidang cermin (*mirror plane*)

Dalam analisis perhitungan, penentuan berkas kerucut cahaya (*light cone*) yang keluar dari serat pemancar pada bidang 1 (*plane 1*) diperpanjang melewati bidang cermin pada bidang 2 (*plane 2*) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 10. Posisi bayangan ujung serat penerima di bidang 3 (*plane 3*) dianalisis untuk menentukan sejumlah berkas cahaya yang ditangkap oleh serat penerima. Sumbu z menyatakan arah kerucut cahaya yang dipancarkan di titik O dan diperpanjang sehingga melewati bidang cermin.

Koordinat di titik pusat di bidang permukaan serat penerima O' dinyatakan oleh,

$$Q' \begin{cases} y = \frac{5}{4} w_a \\ z = z_a + 2h \dots\dots\dots(11) \end{cases}$$

dengan $w_a = 4w_b$ dan h adalah pergeseran obyek yang akan diukur. Pendekatan teori berbasis teori gelombang elektromagnetik berkas Gaussian paraksial digunakan untuk menurunkan fungsi transfer yaitu antara variable terikat (daya luaran sensor) yang diterima oleh serat optik penerima. Pendekatan ini menggambarkan berkas cahaya yang keluar dari serat bundel pemancar sebagai berkas paraksial dengan profil Gaussian. Intensitas yang dipancarkan oleh serat pemancar adalah,

$$I(r, z) = \frac{2P_E}{\pi w^2(z)} \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2(z)}\right) \dots\dots\dots(12)$$

dengan r adalah koordinat radial dan z adalah koordinat longitudinal dan jari-jari $w(z) = w_0 \sqrt{1 + (z/z_R)^2}$ menyatakan

lebar berkas yang bergantung pada sumbu- z . Besaran w_0 and z_R berturut-turut menyatakan jari-jari pinggang (*waist radius*) dan jangkauan Rayleigh dengan hubungan (untuk pendekatan sudut θ kecil),

$$\pi w_0^2 = \lambda z_R \dots\dots\dots(13)$$

Dalam kasus untuk daerah (*zone*) medan jauh ($z \gg z_R$), sudut sebaran berkas dinyatakan oleh,

$$\theta_a \approx \tan \theta_a = \frac{w(z)}{z} = \frac{w_0}{z_R} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \dots\dots\dots(14)$$

Sehingga intensitas cahaya dapat disederhanakan menjadi,

$$I(r, z) = \frac{2P_E}{z^2 \pi \theta_a^2} \exp\left(-\frac{2r^2}{\theta_a^2 z^2}\right) \dots\dots\dots(15)$$

Daya optik yang ditangkap oleh serat penerima dapat ditentukan dengan mengintegalkan $I(r, z)$ di seluruh permukaan serat penerima dan diperoleh,

$$P(z) = \int_{S_a} I(r, z) dS \dots\dots\dots(16)$$

dengan asumsi $I(r, z)$ bernilai tetap di seluruh permukaan serat penerima dengan luas $S_a = \pi w_a^2$, $S_b = \pi w_b^2 = \frac{1}{16} \pi w_a^2$ dan mempunyai nilai yang sama di pusat serat penerima (titik Q') dengan $r = \frac{5}{4} w_a \approx \frac{5}{4} \theta_a z_a$, sehingga diperoleh daya luaran,

$$P = I S_a = \frac{2P_E}{\zeta^2} \exp\left(-\frac{25}{8\zeta^2}\right) \dots\dots\dots(17)$$

dengan ζ yang dinyatakan oleh persamaan berikut,

$$\zeta = \frac{z}{z_a} = 1 + \frac{2h}{z_a} = 1 + 2h_N \dots\dots\dots(18)$$

dan h_N adalah jarak (pergeseran) ternormalisasi. Dengan menghitung $dP/d\zeta = 0$, daya yang diterima akan mencapai maksimum, $P_{\max} = 16P_E/(25e)$ ketika nilai $\zeta = \sqrt{25/8}$ (yaitu $h_N = 0.4$). Dengan meninjau hal tersebut, daya luaran sensor ternormalisasi ($P_N = P/P_{\max}$) dapat diperoleh sebagai berikut,

$$P_N = \frac{25}{8\zeta^2} \exp\left(1 - \frac{25}{8\zeta^2}\right) \dots\dots\dots(19)$$

Sensitivitas sensor dapat ditentukan dengan mendiferensialkan P_N terhadap h_N dan diperoleh (Yasin *et al.*, 2009),

$$S = 2 \frac{\partial}{\partial \zeta} P_N = \frac{1}{\zeta} \left(\frac{25}{\zeta^2} - 1 \right) P_N(\zeta) \dots\dots\dots(20)$$

Persamaan sensitivitas sensor pergeseran dengan menggunakan 1 buah serat penerima dengan susunan pasangan telah ditunjukkan oleh persamaan telah diturunkan oleh Faria (1998), sedangkan sensitivitas sensor pergeseran telah berhasil diturunkan oleh Yasin *et al.* (2009) dengan menggunakan 16 buah serat penerima dengan susunan konsentris (persamaan 20). Kedua hasil teori tersebut telah berhasil diuji secara eksperimen dengan menggunakan jenis serat optik plastik (Yasin *et al.*, 2008; Yasin *et al.*, 2009). Hasil uji eksperimen menunjukkan bahwa serat optik dengan 16 buah serat penerima menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan sensor pergeseran dengan sebuah serat penerima (Yasin *et al.*, 2010).

Berbasis hasil penurunan sensitivitas penelitian di atas (Faria 1998; Yasin *et al.*, 2009), telah dilakukan kajian lanjut untuk pengembangan aplikasi sensor pergeseran serat optik dengan jumlah probe sebanyak 1000 buah serat penerima. Kinerja sensor dengan jumlah probe 1000 buah telah menghasilkan persamaan matematis (*transfer function*) dan sensitivitas sebagai berikut (Abdullah *et al.*, 2013):

$$P_N = \frac{8}{\zeta^2} \exp\left(1 - \frac{8}{\zeta^2}\right) \dots\dots\dots(21)$$

$$S = 2 \frac{\partial}{\partial \zeta} P_N = \frac{1}{\zeta} \left(\frac{8}{\zeta^2} - 1 \right) P_N(\zeta) \dots\dots\dots(22)$$

APLIKASI SENSOR SERAT OPTIK

Berikut ini akan dijelaskan beberapa aplikasi sensor serat optik berbasis modulasi intensitas dan probe serat optik bundel, antara lain sebagai sensor mikro-pergeseran, sensor mikro-ketebalan dan pencitraan rongga gigi.

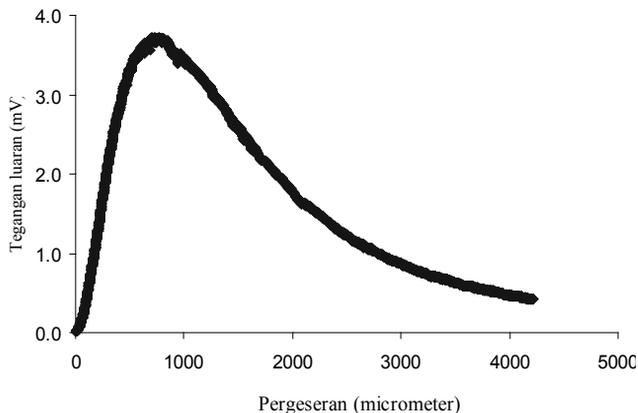
Aplikasi sebagai Sensor Pergeseran

Untuk mencapai kinerja dan resolusi yang sangat tinggi (orde sub-mikron), dalam eksperimen ini (Gambar 8) digunakan piezoelektrik yang dapat digunakan menggeser objek dengan step pergeseran objek sekitar 400 nm (terutama di sekitar daerah slope depan yang mempunyai kepekaan sangat tinggi) sampai dengan 1200 nm (1,2 μm). Hasil eksperimen ini ditunjukkan oleh Gambar 11 dan kinerjanya dirangkum dalam Tabel 1. Kepekaan dan resolusi tertinggi diperoleh pada daerah slope depan yaitu berturut-turut sebesar 0,0076 mV/μm dan 921 nm (0,921 μm). Untuk mencapai jangkauan dinamis sekitar 5 mm

Tabel 1. Kinerja sensor pergeseran dengan step pergeseran berorde sub-mikron

Parameter	Slope depan	Slope belakang
Kepekaan (mV/ μm)	0,008	-0,002
Jangkauan linear (μm)	438 (60-500)	1020 (1100-2100)
Linearitas	Lebih dari 99%	Lebih dari 99%
Stabilitas	0,007 mV (0,6%)	0,007mV (0,6%)
Resolusi (μm)	0,9	4,1

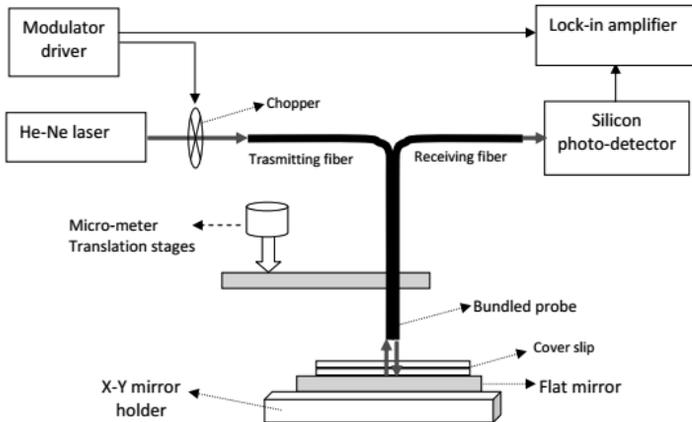
dengan step pergeseran antara 400 sampai 1200 nm diperlukan lebih dari 6000 data (Gambar 11). Bila dibandingkan eksperimen sebelumnya (misalnya eksperimen dengan step pergeseran berorde mikrometer), eksperimen dengan step pergeseran yang lebih kecil akan mempunyai resolusi dan kepekaan yang lebih tinggi. Hasil ini sekaligus mematahkan pendapat yang dikemukakan oleh Girao *et al.* (2001) yang menyatakan bahwa resolusi sensor pergeseran serat optik yang berbasis modulasi intensitas hanya mencapai 10 μm .



Gambar 11. Tegangan luaran sebagai fungsi pergeseran objek (cermin) dengan sumber cahaya laser He-N kuning (594 nm) termodulasi dan probe serat optik jenis C untuk step pergeseran berorde sub-mikron.

Aplikasi Sensor Serat Optik untuk Pengukuran Mikro-Ketebalan

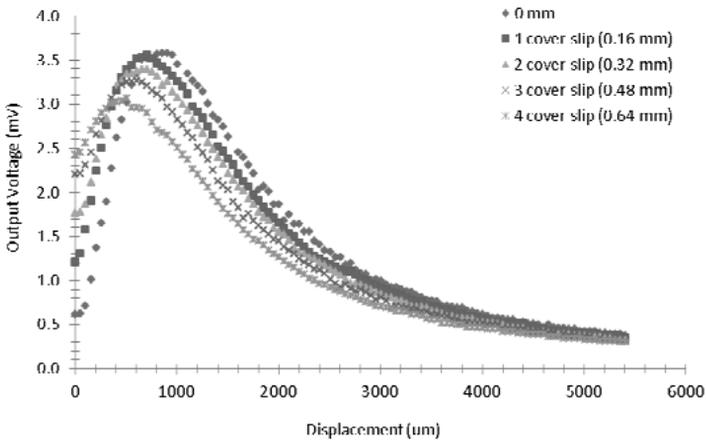
Setup eksperimen pengukuran ketebalan-mikro berbasis teknik sensor serat optik ditunjukkan oleh Gambar 12. Sistem sensor terdiri dari sumber laser He-Ne yang bekerja sebagai sumber cahaya dan serat optik bundle dengan panjang 2 m yang terdiri dari 16 serat plastic multimode dikelilingi oleh teras pusat. Teras pusat bekerja sebagai teras transmisi dan 16 serat di sekelilingnya sebagai teras penerima yang dihubungkan dengan detector silikon (818 SL, Newport). Diameter teras transmisi dan penerima masing-masing adalah 1 mm dan 0,25 mm. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne merah (633 nm), hijau (543 nm) dan kuning (594 nm). Luaran laser dimodulasi pada frekuensi 214 Hz dengan chopper mekanis. Hal ini mengizinkan deteksi cahaya dengan penguat lock-in yang dihubungkan fotodiode silikon dan bebas dari cahaya pengganggu dari luar. Frekuensi dipilih 214 Hz untuk menghindari frekuensi PLN sekitar 50 – 60 Hz. Pengukuran



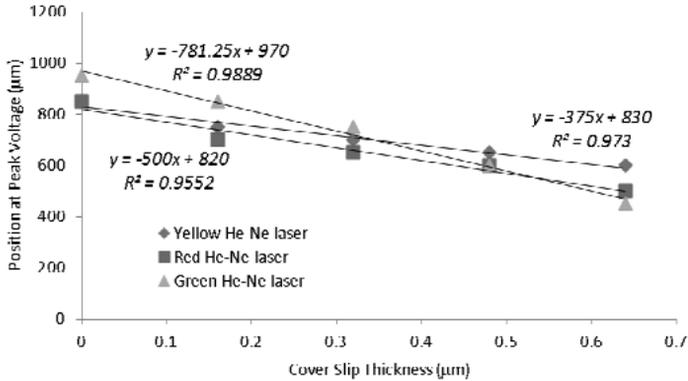
Gambar 12. Setup eksperimen sensor serat optik untuk deteksi ketebalan bahan orde micron (Ahmad *et. al*, 2012).

dilakukan dengan 3 panjang gelombang cahaya berbeda untuk menentukan panjang terbaik dalam pengukuran ketebalan terbaik. Pengukuran ketebalan dilakukan dengan meletakkan cover slip yang tebalnya $150 \mu\text{m}$, kemudian ditembakkan sinar laser melalui serat pemancar dan dipantulkan kembali ke fotodiode melalui serat penerima. Eksperimen selanjutnya diulang untuk 2, 3, 4 cover slip.

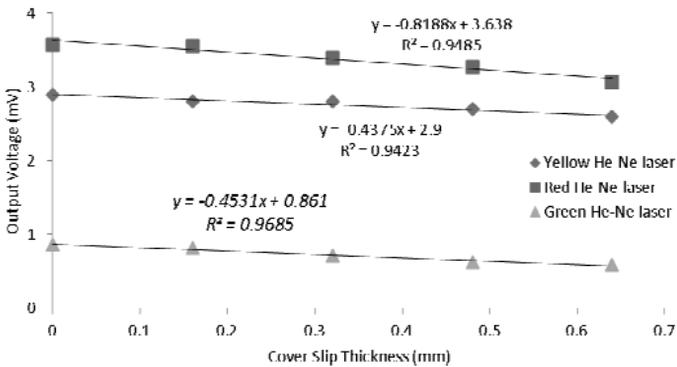
Hasil eksperimen dapat dilihat pada Gambar 13 untuk sumber cahaya laser merah. Dari gambar tersebut, diperoleh kepekaan slope depan $0,0054 \text{ mV}/\mu\text{m}$ dengan daerah linear $550 \mu\text{m}$ ($50\text{-}600\mu\text{m}$), resolusi yang diperoleh sebesar $3 \mu\text{m}$ untuk slope depan. Sedangkan untuk slope belakang diperoleh kepekaan $0,0015 \text{ mV}/\mu\text{m}$ dengan daerah linear $1450 \mu\text{m}$ ($950\text{-}2400\mu\text{m}$) dan resolusinya sekitar $11 \mu\text{m}$. Hasil tersebut juga dilakukan pada panjang gelombang sumber cahaya 594nm dan 543 nm yang hasil analisisnya dirangkum di dalam Gambar 14 dan 15.



Gambar 13. Tegangan luaran sensor terhadap pergeseran plat (633nm).



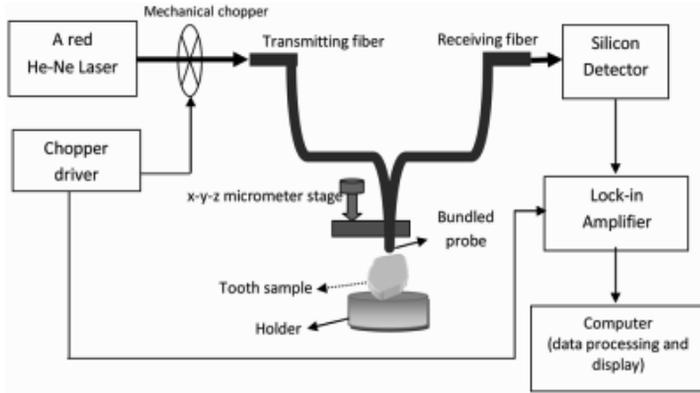
Gambar 14. Posisi pada tegangan puncak terhadap ketebalan cover slip.



Gambar 15. Tegangan sebagai fungsi tebal cover slips.

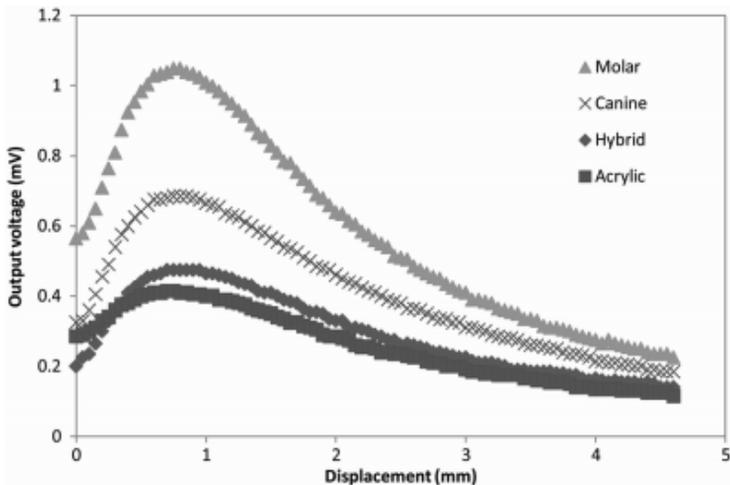
Aplikasi Sensor Serat Optik untuk Sistem Pemindaian dan Citra Rongga Gigi

Sensor serat optik untuk pemindaian (*scanning*) dan analisis rongga gigi ditunjukkan dalam Gambar 16, prinsip kerjanya hampir sama dengan setup eksperimen Gambar 12, hanya saja objeknya diganti dengan bahan sampel gigi yang diberi lubang (rongga). Ada 2 jenis gigi manusia yang digunakan, yaitu gigi



Gambar 16. Setup eksperimen sensor serat optic untuk deteksi rongga gigi (Rahman *et al.*, 2012).

geraham dan gigi taring serta 2 tambahan yaitu resin komposit hibrid dan resin akrilik. Kemudian setiap sampel gigi diberi rongga dengan diameter 2,0–2,5 mm. Hasil eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 17 yang menunjukkan variasi intensitas cahaya yang



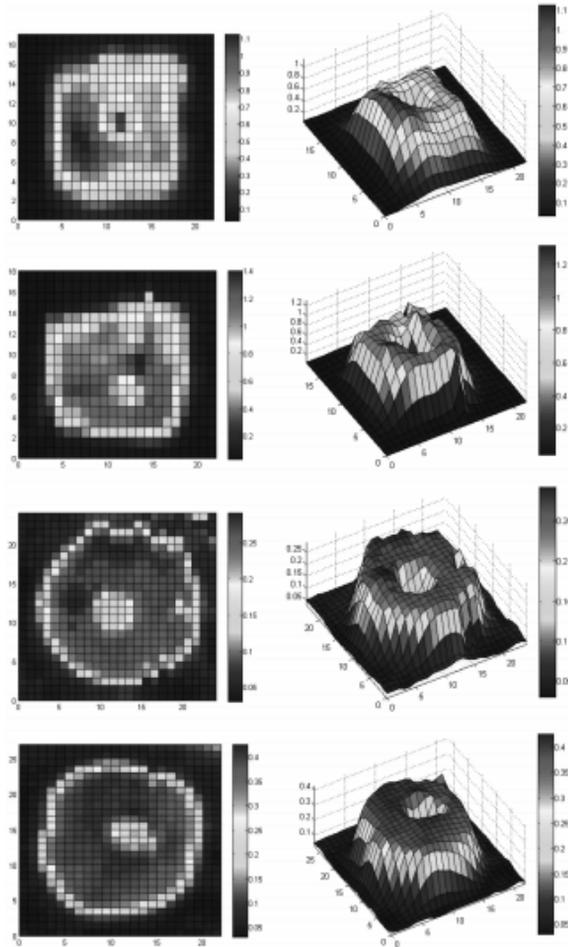
Gambar 17. Varisasi luaran sensor terhadap pergeseran sampel gigi.

dipantulkan oleh keempat sampel tersebut. Kurva menunjukkan bahwa intensitas berkas pantulan cahaya bertambah secara linear sampai maksimum (daerah slope depan), kemudian berkurang seiring dengan bertambahnya pergeseran (daerah slope belakang) yang mengikuti hukum kuadrat terbalik jarak pergeseran. Koefisien pantulan untuk gigi geraham, gigi taring, resin hybrid komposit dan akrilik diperoleh berturut-turut 4,7%, 4,2%, 2,2% dan 1,8%.

Kinerja sensor untuk keempat permukaan sampel gigi dirangkum di dalam Tabel 2. Berdasarkan analisis slope depan, kepekaan dan daerah linear untuk gigi geraham, taring, resin komposit hybrid dan akrilik berturut-turut diperoleh 0,97mV/mm dan 0,45mm; 0,78mV/mm dan 0,4mm; 0,51mV/mm dan 0,5mm; dan 0,25mV/mm dan 0,5mm, dengan linearitas lebih dari 99%. Gambar 18 menunjukkan citra 2D dan 3D berbagai profil permukaan sampel gigi yang dilakukan dengan pemindaian permukaan gigi. Gambar 18 (a) menunjukkan visualisasi 2D dan 3D untuk gigi geraham yang dipindai sebanyak 27 x 27 garis sepanjang sumbu baris dan kolom. Sinyal pantulan yang direkam pada rongga sangat kecil karena tidak ada permukaan pemantul pada daerah tersebut. Intensitas sinyal pantulan dari permukaan gigi tergantung pada tekstur sampel gigi. Untuk hasil pindai pada permukaan sampel gigi taring, resin komposit hybrid dan akrilik ditunjukkan oleh Gambar 18 (b) – (d). Dari gambar tersebut terlihat jelas perbedaan amplitudo pantulan di daerah rongga gigi dengan di sekitarnya.

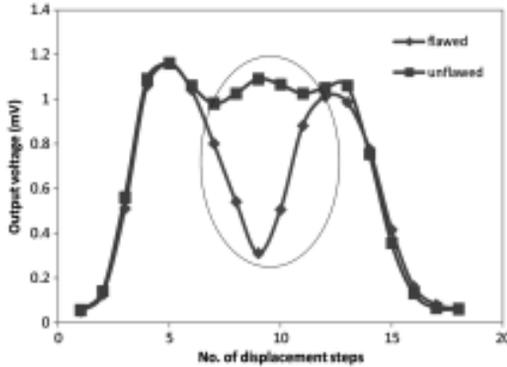
Table 2. Kinerja sensor pergeseran untuk berbagai sampel gigi

No	Type of tooth surface and dimension	Linear range, mm	Peak voltage, mV	Sensitivity, mV/mm	Resolution, mm
1	Molar, 7 x 7 mm ²	0.05 to 0.5	1.05	0.9667 mV/mm	0.0025
2	Canine, 6 x 7 mm ²	0.05 to 0.45	0.685	0.775 mV/mm	0.0067
3	Hybrid composite resin, 9 x 9 mm ²	0 to 0.5	0.475	0.5109 mV/mm	0.0053
4	Acrylic, 8 x 10 mm ²	0 to 0.5	0.415	0.25 mV/mm	0.0084



Gambar 18. Profil permukaan 2D dan 3D untuk sampel gigi (a) geraham (b) taring (c) resin komposit hybrid dan (d) akrilik yang menunjukkan beda sinyal antara rongga dan daerah sekitarnya.

Gambar 19 menunjukkan bahwa sinyal pantulan yang terukur pada permukaan gigi taring sepanjang daerah rongga dan tak-berongga, daerah yang menarik adalah yang ditandai



Gambar 19. Variasi tegangan luar terhadap posisi permukaan gigi taring berongga dan tak-berongga.

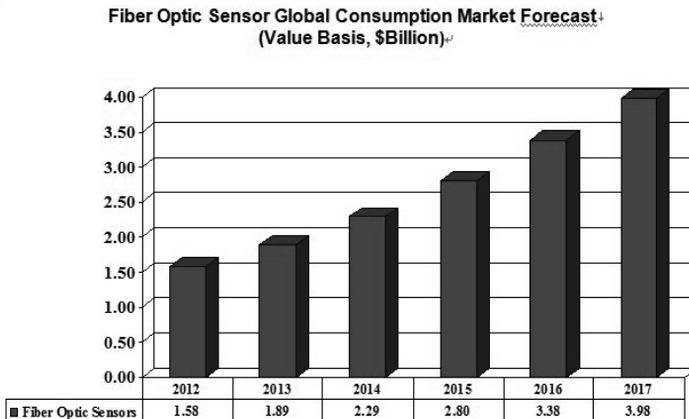
lingkaran yang menunjukkan secara jelas beda sinyal pantulan. Diameter rongga diukur berdasarkan jarak pergeseran radial total dari sinyal terpantul dari ujung satu ke ujung yang lain, kemudian dilakukan pengukuran dengan menggunakan micrometer (sebagai kalibrator) menghasilkan nilai yang sama yaitu 2,5 mm. dengan menggunakan cara yang sama, telah diperoleh diameter gigi geraham, resin komposit hybrid dan akrilik berturut-turut 2,0mm, 2,5mm dan 2,0mm. Hasil pengukuran tersebut telah dirangkum di dalam Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran diameter rongga permukaan gigi menggunakan sensor serat optic dan micrometer

No	Type of tooth surface	Micrometer measurements (mm)	FODS measurements (mm)
1	Molar	2.0	2.0
2	Canine	2.5	2.5
3	Hybrid composite resin	2.5	2.5
4	Acrylic	2.0	2.0

PERAN SENSOR SERAT OPTIK DALAM MENUJU KEMANDIRIAN BANGSA

Sensor serat optik mempunyai manfaat yang sangat luas baik di dalam bidang industri maupun dalam bidang medis. Di dalam bidang industri, sensor serat optik dimanfaatkan untuk banyak aplikasi seperti suhu, getaran, tekanan, regangan, arus listrik, pergeseran, indeks bias dan sebagainya. Sedangkan aplikasi sensor serat optik dalam bidang medis, seperti tomografi optis, tomografi koherens optis, endoskopi, mikroskop pindai laser konfokal, laser tweezer, flowcytometer dan lain-lain merupakan tantangan baru bagi para peneliti khususnya di dalam negeri.



Gambar 20. Pasar global sensor serat optik (ElectroniCast, 2013).

Menurut sebuah sumber (ElectroniCast, 2013) pasar global teknologi sensor serat optik sangat luar biasa. Jika diasumsikan pertumbuhan rata-rata 20,3%, maka pasar global sensor serat optik telah mencapai 3,98 miliar dolar AS (Gambar 20). Nilai tersebut dianalisis sejak tahun 1980-an. Dengan menguasai teknologi sensor serat optik khususnya untuk memenuhi kebutuhan dalam

negeri saja, maka Negara Indonesia mampu menghemat devisa yang sangat besar.

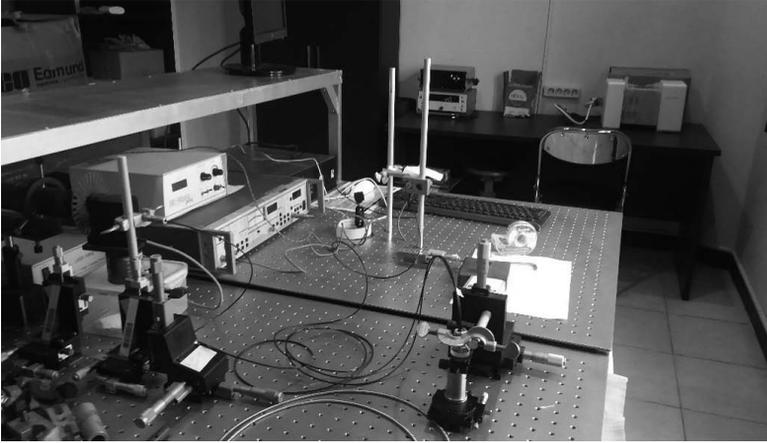
Untuk menguasai teknologi sensor serat optik tidaklah mudah, namun di Universitas Airlangga telah memberikan kontribusi bersifat fundamental yang telah dilakukan di level:

- a. S1 (Prodi S1 Fisika, FST Universitas Airlangga) antara lain telah dimasukkan mata kuliah pilihan sebagai muatan lokal yang meliputi: Optika Modern, Optika Laser, Optika Serat, Sensor Serat Optik dan Pengantar Biofotonika.
- b. S2 (Prodi S2 Teknobiomedik, Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga), yaitu terdapat mata kuliah Teknologi Serat dan Laser Medis, Fotonika Biomedis, Interaksi Laser-Jaringan.
- c. S3 (Prodi S3 MIPA FST Universitas Airlangga), yaitu melalui mata kuliah Nanofotonik dan Plasmonik, Biofotonika dan *Bioimaging*, Fiber Optik dan *Endoscopy*, Laser dan Biooptika.

Road map pengembangan teknologi sensor serat optik dan berbagai aplikasinya telah dibuat dan dapat dilihat pada Tabel 4. Dengan harapan pada tahun 2020 telah berhasil dibuat sistem SSO sebagai fundamental yang kuat dalam penguasaan teknologi sensor serat optik untuk aplikasi dalam bidang medis dan industri. Piranti SSO yang telah disiapkan dapat dilihat pada Gambar 21.

Tabel 4. Road map penelitian sensor serat optik dan aplikasinya.

Hasil yang telah dicapai sebelumnya (2007 s.d 2015)	Hasil yang diperoleh pada tahun 2016.	Hasil yang diharapkan pada tahun 2017-2020.
<ul style="list-style-type: none"> • Telah diperoleh rumusan kinerja sensor pergeseran serat optik plastik dan jumlah probe 16 RF serat penerima dan fiber coupler. 	<ul style="list-style-type: none"> • Telah diperoleh rumusan kinerja sensor pergeseran serat optik bahan kaca dengan jumlah 1000 RF berbasis pendekatan berkas Gaussian 	<ul style="list-style-type: none"> • Diharapkan diperoleh rumusan kinerja sensor pergeseran serat optik bahan kaca dengan jumlah 1000 RF berbasis pendekatan berkas Kuasi Gaussian
<ul style="list-style-type: none"> • Sensor telah diaplikasikan untuk pengukuran berbagai besaran fisis (frekuensi getaran, ketebalan, surface roughness, micro-thickness) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi sensor serat optik bahan kaca untuk deteksi bahan-bahan kimia dengan kepekaan tinggi (sampel urea, kalium, kalsium) 	<ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan kinerja sensor untuk analisis dan deteksi bahan-bahan kimia (magnesium, kolesterol, merkuri)
<ul style="list-style-type: none"> • Sensor telah diaplikasikan di bidang kimia (deteksi sodium, glukosa, fruktosa, dan lain-lain) dan bidang biomedik (deteksi perubahan warna gigi, rongga gigi). 	<ul style="list-style-type: none"> • Deteksi kalsium dengan kinerja tinggi dengan menggunakan mikrofiber. • Aplikasi sistem sensor di bidang medis sebagai fiber optik imaging dan tomografi optis. • Deteksi sinyal jantung buatan 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi sensor serat optik dalam bidang biomedik berbasis fluoresensi. • Aplikasi sensor serat optik di bidang biokimia (deteksi DNA).



Gambar 21. Foto Sensor serat optik yang telah dikembangkan di lab. Fotonik, FST UNAIR.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, bidang ilmu fisika optik (khususnya sensor serat optik) berpotensi menjadi salah satu andalan di kampus Universitas Airlangga tercinta ini. Agar dapat eksis dan dapat pengakuan di tingkat nasional dan internasional maka muatan lokal yang bersifat spesifik pada bidang kajian sensor serat optik harus ditetapkan. Hal ini telah dibuktikan penulis yang memperoleh indeks-h sebesar 10 (versi *ISI Thomson Reuters/Scopus*) dan sebagai kontribusi penulis pertama sekitar 50%. Bila kita tidak membangun kompetensi di bidang ini, pada akhirnya kita akan menjadi penonton dan pengguna saja, seperti yang telah terjadi pada banyak bidang lain. Akan tetapi, kompetensi seperti itu tidak terjadi dalam waktu sekejap, melainkan perlu waktu, kemauan dan ketekunan serta dukungan dari banyak pihak untuk mewujudkannya. Kita di Indonesia perlu menyiapkan sumber daya manusia yang bekerja di bidang fisika optik yang mampu menunjang bidang industri dan kesehatan serta dengan terobosan publikasi di level jurnal Q1/Q2 bahkan di

Journal of Nature Photonics. Dengan pencapaian itu, saya yakin Universitas Airlangga mampu menjadi *world class university* dan akan mampu menembus peringkat 500 (versi QS) pada tahun 2019.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hadirin yang saya hormati,

Mengakhiri pidato ini sekali lagi izinkanlah saya mencurahkan rasa syukur ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya pada diri saya dan keluarga. Perkenankan pula saya memohon doa dan restu dari para hadirin, agar Allah SWT senantiasa memberikan kekuatan dan jalan-Nya kepada saya untuk menjalankan amanah yang tidak ringan sebagai Guru Besar sehingga dapat menjalankan kewajiban, tugas dan tanggung jawab yang diharapkan demi kemajuan Universitas Airlangga tercinta.

Saya menyadari, bahwa sebagai manusia yang memiliki keterbatasan dan ketidaksempurnaan, maka apa yang telah saya capai hingga saat ini tidak terlepas dari keterlibatan, dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, di akhir pidato pengukuhan ini perkenankanlah saya untuk mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya dari lubuk hati terdalam dan penghargaan setinggi-tingginya kepada berbagai pihak.

Pertama-tama, saya sampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada Pemerintah Republik Indonesia dalam hal ini melalui Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Prof. Dr. Mohamad Nasir atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan sebagai Guru Besar dalam Bidang Fisika Optik pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.

Ucapan terima kasih yang tulus serta penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Rektor Universitas

Airlangga Prof. Dr. Moh. Nasih, SE., MT., CMA., Ak. Para Wakil Rektor Prof. Djoko Santoso, dr., Ph.D., Sp.PD. K-GH. FINASIM, Dr. Muhammad Madyan, S.E., M.Si., M.Fin., Prof. Ir. Moch. Amin Alamsjah, M.Si., Ph.D. Junaidi Khotib, S.Si., Apt., M.Kes., Ph.D., atas kepercayaan dan persetujuan yang diberikan untuk memangku jabatan ini.

Kepada yang terhormat Ketua Senat Akademik Universitas Airlangga Prof. Dr. Mochammad Amin, dr., Sp.P(K), Sekretaris Senat Akademik Universitas Airlangga dan seluruh Anggota Senat Akademik Universitas Airlangga, saya ucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya atas kepercayaan, dukungan, kesediaan, dan persetujuannya untuk mengusulkan pengangkatan saya menjadi Guru Besar.

Kepada yang terhormat Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Prof. Dr. Win Darmanto, M.Si., Ph.D. dan para wakil Dekan, yaitu Dr. Hartati, M.Si., Dr. Miswanto, M.Si., Dr. Nanik Siti Aminah, M.Si., saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas dukungan kepercayaan dan persetujuannya untuk pengangkatan saya sebagai Guru Besar di lingkungan Fakultas sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Kepada Kasubag Keuangan dan Sumber Daya Fakultas Sains dan Teknologi, staf kepegawaian Fakultas Sains dan Teknologi Bapak Pamuji, Sekretaris Dekan dan seluruh staf SDM Universitas Airlangga di bawah komando Dr. Purnawan Basundoro, S.S., M.Hum., terima kasih sebesar-besarnya telah membantu kelancaran pengusulan Guru Besar saya.

Kepada yang terhormat Ketua Badan Pertimbangan Fakultas Sains dan Teknologi Prof. Dr. Ni Nyoman Tri Puspaningsih, M.Si., Sekretaris dan para anggota Badan Pertimbangan Fakultas Sains dan Teknologi, dari lubuk hati terdalam saya ucapkan terima kasih atas persetujuan pengusulan saya sebagai Guru Besar.

Kepada yang saya hormati mantan Dekan FMIPA Universitas Airlangga Prof. Abdul Basir (Alm), Prof. Dr. Ami Soewandi J.S., Suharjana, Drs, M.Si., Apt., Drs. Abdul Latief Burhan, M.Si. dan Drs. Salamun, M.Kes. atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk mengabdikan pada Fakultas MIPA/Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, dan ucapan terima kasih sebesar-besarnya atas dukungan dan tempaannya sehingga saya dapat berdiri di sini saat ini.

Kepada Ketua Departemen Fisika, terima kasih setinggi-tingginya atas dukungan dan kesediaan beliau untuk mengusulkan saya sebagai Guru Besar di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Seluruh teman-teman Departemen Fisika penghargaan dan terima kasih atas kerja sama dan dukungannya selama ini.

Mantan Ketua Departemen Fisika Prof. Dr. Suhariningsih; Prof. Dr. Redjani Ir. Trisnaningsih, M.Eng.Sc, Drs. Pujiyanto, M.S. dan Drs. Siswanto, M.Si., yang telah membimbing dalam menjalankan tugas sehari-hari saya mulai dari calon pegawai sampai saya mampu berdiri di sini saat ini, saya ucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya. Terima kasih juga telah membantu saya untuk berproses menjadi insan akademis secara maksimal.

Kepada Prof. Dr. Kusminarto, selaku promotor saat saya menempuh program Doktor, terima kasih setinggi-tingginya atas segala perhatian, arahan, saran, koreksi, motivasi, nasehat, diskusi dan penanaman wawasan berfikir yang sangat menarik. Di tengah kesibukan beliau, selalu ada waktu untuk berdiskusi tentang segala hal. Kebijakan, dorongan, bimbingan beliau secara formal dan informal, saran dan koreksi maupun keteladanan beliau sangatlah saya syukuri dan hargai, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, semoga Allah swt memberikan kesehatan dan kebahagiaan beserta keluarga.

Penghargaan setinggi-tingginya kepada Prof. Dr. H. Karyono, S.U., selaku Ko-promotor atas segala perhatian, arahan, saran, koreksi dan diskusi yang menarik mulai dari pelaksanaan proposal dan disertasi, serta diskusi yang sangat menarik selama ini. Wawasan keilmuan yang berkaitan dengan spektroskopi laser, merupakan kajian yang baru dan menarik bagi saya. Di tengah kesibukan beliau, selalu diluangkan waktu untuk berdiskusi dengan saya.

Ungkapan terima kasih setulusnya dan penghargaan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Prof. Dr. Harith Ahmad dan Prof. Dr. Sulaiman Wadi Harun, selaku *external supervisor* atas izinnya menggunakan fasilitas di Lab. Photonic Research Centre, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia. Terima kasih tak terhingga atas diskusi, motivasi, bahan dan alat penelitian, buku dan jurnal penunjang, serta *supportnya* selama ini, baik dalam kegiatan akademik maupun non akademik, yang membuat saya seolah berada di Lab. sendiri. Pembelajaran mengenai strategi penulisan publikasi di jurnal internasional merupakan hal yang paling berkesan bagi saya. Semoga *link* yang sudah terbangun dapat terus ditingkatkan terutama dalam hal join riset dan publikasi internasional. Terima kasih telah kami repotkan dengan mahasiswa kami, untuk penyelesaian skripsi mahasiswa.

Kepada link mitra kami: Prof. Dr. Noriah Bidin dari Laser Center, UTM Malaysia dan Dr. Hamzah Arof dari Universiti Malaya; Prof. Dr. Kenichi UEDA dari Institute of Laser Science, UEC, Prof. Dr. Fon Chin Su dari NCKU Taiwan atas kolaborasi yang menyenangkan hingga saat ini. Terima kasih juga saya sampaikan pada HFI dan HOI atas kerja samanya selama ini, sehingga pengembangan dalam Fisika dan Fisika Optik di Indonesia dapat terjaga. Kepada pembimbing saya pada pendidikan program sarjana FMIPA Universitas Airlangga Dr. Djajadi, M.Eng. Sc., terima kasih atas bimbingan dan tempaannya selama ini.

Kepada Guru saya sejak menuntut ilmu di Sekolah Dasar Negeri MI Al-karimah Mojokerto, Sekolah Menengah Pertama Islam Brawijaya Mojokerto, Sekolah Menengah Atas Negeri I Puri Mojokerto, serta dosen-dosen di Fakultas MIPA Universitas Airlangga dan Universitas Gadjah Mada yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya karena andil para beliau inilah yang memungkinkan saya mencapai jenjang seperti sekarang.

Rasa terima kasih yang tak terhingga, spesial saya sampaikan kepada teman sejawat dari Laboratorium Fotonika Departemen Fisika Universitas Airlangga: Prof. Dr. Retna Apsari, M.Si., Samian, S.Si, M.Si., Supadi, S. Si, M.Si.; Drs. Pujiyanto, M.S., Heri Trilaksana, M.Si. atas dukungan dan diskusi menarik ketika kita di laboratorium. Terima kasih saya sampaikan kepada teman-teman sejawat Kelompok Bidang Keahlian Fisika Medis: Ir. Welina, Ir. Puspa Erwati, Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si., Prof. Dr. Suhariningsih dan Drs. Tri Anggono P.; Fisika Material: Drs Adri Supardi, M.Sc., Ir. Aminatun, M.Si, Drs. Siswanto, M.Si, Dyah Hikmawati, M.Si., Djoni Izak, M.Si, Jan Adi. S.Si., M.Si.; Fisika Komputasi: Dr. Riries Rulaningtyas, S.Si, M.T., Dr. Khusnul Ain, S.T., M.Si., Nuril Ukhrowiyah, S.Si., M.Si., Dr. Soegianto Soelistiono, Elektronika dan Instrumentasi: Yoseph Ghita Y, S. Si, M.T., Drs. Bambang Suprijanto, M.Si., Winarno, S.Si., M.T., Fisika Teori: Andi Hamim Zaidan, Ph.D., Febdian Rusydi, Ph.D. dan Drs. R. Arif Wibowo, M.Si., atas diskusi dan motivasinya serta sumbangsih solusi di setiap penelitian saya. Terima kasih juga untuk tenaga muda potensial di Prodi S1 Teknobiomedik: Dr. Prihatini Widiyanti, drg., M.Kes., Fadli Ama., S.T., M.T., Endah Purwanti, S.Si., M.T., Franky Candra, S.T., M.T., Akif R., S.T., M.T. Terima kasih tak terhingga untuk kesabaran dan ketekunan kalian semua.

Terima kasih juga untuk mbak Lis, Mbak Endang, Agus, Deny, Bayu, Farid, Mufid, dan Fajar yang telah membantu selama penelitian berlangsung, dan dorongan semangatnya selama ini. Ungkapan terima kasih saya sampaikan kepada mahasiswa S1, S2 dan S3 saya atas waktu, tenaga dan kerjasamanya selama ini. Terima kasih saya sampaikan kepada seluruh teman dan sahabat dari Mojokerto dan Surabaya atas kebersamaannya selama ini.

Ungkapan terima kasih yang mendalam saya sampaikan kepada kedua orang tua saya yang sangat saya hormati: ayahanda Matajib (alm.) dan ibunda Siti Moenti'ah (alm.). Kerja keras dan kedisiplinan yang telah beliau tanamkan sejak kecil, sangat membantu saya untuk senantiasa bertahan dan pantang menyerah dalam menghadapi berbagai problema kehidupan yang semakin berat tantangannya. Insyaaalloh nasehatnya akan senantiasa menjadi rambu saya dalam menjalankan amanah dalam posisi dan kondisi apa pun. Terima kasih juga saya sampaikan kepada mertua saya, ayahanda Sutojo (alm.) dan ibunda Darmi atas doa, kesabaran, dukungan dan pengertiannya selama ini. Semoga kedua Bapak senantiasa di surga Allah SWT, Amiin.

Ungkapan terima kasih yang setulusnya saya sampaikan kepada istri tercinta Ida Yuliani dan ketiga buah hati tersayang: Nurul Laili Septiyani, M. Faiz Fauzan Adhima dan M. Amrin Mukhlison atas doa yang diberikan untuk keberhasilan saya, dukungan, pengertian dan waktu bersama saya yang banyak tersita untuk menyelesaikan amanah ayah dalam dunia kerja. Semoga kalian menjadi generasi yang mempunyai kecerdasan agama, sosial dan keilmuan.

Kepada seluruh panitia pengukuhan Guru Besar yang diketuai oleh Dr. Riries Rulaningtyas, M.T. dan seluruh anggota paduan suara Universitas Airlangga serta semua pihak yang tidak dapat saya sebut satu persatu yang telah membantu terlaksananya

pengukuhan ini dengan baik, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Akhirnya kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis, yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materiil hingga selesainya penulisan pidato ini, saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya. Tak ada gading yang tak retak, untuk itu semoga naskah pidato ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pada khususnya dan seluruh lapisan masyarakat pada umumnya. Kepada Allah SWT semua saya serahkan, semoga Allah senantiasa memberikan petunjuk dan pertolongan-Nya dan semoga jabatan Guru Besar ini menjadi berkah untuk diri saya, keluarga saya, masyarakat, negara, dan bangsa.

Akhirnya, kepada semua hadirin yang telah berkenan meluangkan waktu dan bersabar mendengarkan pidato peresmian penerimaan jabatan Guru Besar pada hari ini, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan disertai permohonan maaf sekiranya ada hal-hal yang kurang berkenan di hati hadirin sekalian. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan para hadirin. Sekian dan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

PUSTAKA

1. Abdullah M., Yasin Moh., and Bidin N., “*Performance of a new bundle fiber sensor of 1000 RF in comparison with 16 RF probe*”, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 1, 2013, pp. 4522-4526.
2. Agrawal G.P., “*Fiber-Optic Communication Systems*”, Wiley Interscience, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2007.
3. Agrawal G.P., “*Lightwave Technology*”, Wiley Interscience, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2004.
4. Agrawal G.P., “*Applications of Nonlinear Fiber Optics*”, Academic Press, Tokyo, 2002.
5. Ahmad, H., Yasin, M., Thambiratnam, K., Harun, S.W., Fiber optic displacement sensor for micro-thickness measurement, *Sensor Review* , Vol. 32, Issue 3, 2012, Pages 230-235.
6. Arditty H. J., Papuchon M. and Puech C., “*Fiber-optic rotation sensor: Toward an integrated device. A review,*” in Proc. CLEO I981, pp. 9--11,(1981)
7. Bergh A., Leferere H. C. and Shaw H. J., “*All-single-mode fiber-optic gyroscope,*” *Optics Letters*, **6**, pp. 198-200, (1981).
8. Bishnu P. Pal “*Fundamental of Fiber Optics in Telecommunication and Sensing Systems*” New Age International Limited, New Delhi (2013).
9. Bucaro J. A. and Hickman T. R., “*Measurement of sensitivity of optical fibers for acoustic detection,*” *Applied Optics*, 18, pp. 938-940, (1979).
10. Budiansky B., Drucker D. C., Kino G. S. and Rice J. R., “*The pressure sensitivity of a clad optical fiber,*” *Applied Optics*, 18, pp. 4085-4088, (1979).
11. Cole J. H. Johnson R. L. and Bhuta, P. B. “*Fiber optic detection of sound,*” *J. Acoustic Society of America*, 62, pp.1136-1138, (1977).

12. Culshaw B., and Dakin J., 1989, "*Optical Fiber Sensors: Systems and Applications*", Vol. 2, Artech, Norwood, MA, Boston.
13. Dakin J., and Culshaw B., 1988, "*Optical Fiber Sensors: Principles and Components*", Vol.1, Artech, Boston.
14. Dandridge A., Tveten A. B., Sigel G. H., West Jr., E. J. and Giallorenzi T. G., "*Optical fiber magnetic field sensor,*" *Electronic Letters*, 16, pp. 408--409, (1980).
15. Dandridge A., Tveten A. B. and Giallorenzi T. G., "*Interferometric current sensors with optical fibers,*" *Electronics Letters*, 17, pp. 523-524, (1981).
16. Faria J.B., 1998, "*A theoretical analysis of the bifurcated fiber bundle displacement sensor*", *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, 47, 742-747.
17. Giallorenzi T.G., Bucaro J.A, Dandridge A., Sigel G.H., Jr., Cole J.H., Rashleigh S.C., and Priest R.G., 1982, "Optical fiber sensor technology", *IEEE J. Quant. Elec.*, QE-18, 626.
18. Girao Silva P. M. B., Postolache O. A., Faria J. B., and Pereira J. M. C., 2001, "*An overview and a contribution to the optical measurement of linear displacement*", *IEEE Sensors Journal*, 1, 322-331.
19. Grattan K.T.V. and Sun T., 2000, "*Fiber optic sensor technology: an overview,*" *Sensors and Actuators*, 82, 40–61.
20. Hocker G. B., "*Fiber optic sensing of pressure and temperature,*" *Applied Optics*, 18, pp. 1445--1448, (1979).
21. Krohn D.A., 2015 "*Fiber Optics Sensor*", The Instrumentation, System, and Automation Society, USA.
22. Meschede D., 2007, "*Optics, Light and Lasers*", Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA, Weinheim, Germany.
23. Miya T., Terunuma Y., Hosaka T., Miyashita T., 1979, "*Ultimate Low-Loss Single-Mode Fibre at 1.55 μm* ", *Electron. Lett.*, 15, 106–108.

24. Morisawa M. and Muto S., 1998, "POF sensors for detecting oxygen in air and in water", in: Proc. 7th Int. Plastic Opt. Fiber Conf. '98, Berlin, Germany, pp. 243–244.
25. Lagakos N., Schnaus E. U., Cole J. H., Jarzynski J. and Bucaro J. A., "Optimizing fiber coatings for interferometric acoustic sensors," IEEE J. Quantum Electron., 21, pp. 683–689, (2013).
26. Lagakos N. and Bucaro J. A., "Pressure desensitization of optical fibers," *Applied Optics*, **20**, pp. 2716-2720, (1981).
27. Rahman, H.A., Che Ani, A.I., Harun, S.W., Yasin, M., Apsari, R., Ahmad, H., "Feasibility of fiber optic displacement sensor scanning system for imaging of dental cavity", *Journal of Biomedical Optics* , Vol. 17, Issue 7, 2012.
28. Rashleigh S. C., "Magnetic field sensing with a single mode fiber", *Optics Letters*, **6**, pp. 19-21,(1981).
29. Steiger U., 1998, "Sensor properties and applications of POF", in: Proc. 7th Int. Plastic Opt. Fiber Conf. '98, Berlin, Germany, 171–177.
30. Tangonan G. L., Persechimi D. I., Morrison R. J. and Wysocki T. A., "Current sensing with metal coated multimode fibers," *Electronics Letters*, 16, pp. 958, (1980).
31. Thomas G. Giallorenzi, Joseph A. Bucaro, Anthony Dandridge, G. H. Sigel, Jr., James H. Cole, Scott C. Rkshleigh, and Richard G. Priest, "Optical fibersensor technology," IEEE Journal Of Quantum Electronics, Qe-18, pp. 626-665, (1982).
32. Udd E., 1991, "Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists", Wiley, New York.
33. Udd E., 1992, "Fiber optic sensors", Proc. SPIE, CR-44.
34. Yasin M, Harun S.W., Kusminarto, Karyono, D. Lelono, Samian, Zaidan A.H. and Ahmad H., 2010, "Effect of Tilting Angles on The Performance Of Reflective and Transmitting

- Types of Fiber Optik-Based Displacement Sensors*”, *Laser Physics*, Vol. 20, Issue4.
35. Yasin M, Harun S.W., Fawzi W.A, Kusminarto, Karyono and Ahmad H., 2009, “*Lateral And Axial Displacements Measurement Using Fiber Optik Sensor Based On Beam-Through Technique*”, *Microwave and Optikal Technology Letters*, Vol. 51, Issue 9.
 36. Yasin M, Harun S.W., Kusminarto, Karyono, Zaidan A.H., Thambiratnam K. and Ahmad H., 2009, “*Design and Operation of a Concentric-Fiber Displacement Sensor*”, *Fiber and Integrated Optiks*, Vol. 28, Issue 4.
 37. Yasin M, Harun S.W., Samian, Kusminarto and Ahmad H., 2009, “*Simple Design of Optikal Fiber Displacement Sensor Using A Multimode Fiber Coupler*”, *Laser Physics*, Vol. 19, Issue 7.
 38. Yasin M, Harun S.W., Kusminarto, Karyono, Warsono, Zaidan A.H. and Ahmad H., 2009, “*Study of Bundled Fiber Based Displacement Sensors Using Theoretical Model and Fitting Function Approaches*”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 11, Issue3.
 39. Yasin M, Harun S.W., Kusminarto, Karyono and Ahmad H., 2008, “*Fiber-Optik Displacement Sensor Using a Multimode Bundelfiber*”, *Microwave and Optikal Technology Letters*, Vol. 50, Issue 3.
 40. Yasin M, Harun S.W., Abdul-Rashid H.A., Kusminarto, Karyono and Ahmad H., 2008, “*The Performance of A Fiber Optik Displacement Sensor For Different Types of Probes And Targets*”, *Laser Physics Letters*, Vol. 5, Issue 1.
 41. Yasin M, Harun S.W., Abdul-Rashid H.A., Kusminarto, Karyono, Zaidan A.H. and Ahmad H., 2007, “*Performance of Optikal Displacement Sensor Using A Pair Type Bundled Fiber From A Theoretical and Experimental*

Perspective”, *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, Vol. 1, Issue 11.

42. Yariv A. and Winsor H., “*Proposal for detection of magnetostrictive perturbation of optical fibers,*” *Optics Letters*, **5**, pp. 87-89, (1980).
43. Yu F. T. S., and Yin S., 2002, “*Fiber Optic Sensors*”, Marcel Dekker, Inc., New York.

RIWAYAT HIDUP

Nama : Prof. Dr. Moh. Yasin, M.Si.
NIP : 196703121991021001
Pangkat/Gol. : Pembina Tk.1/ IVb
Jabatan : Guru Besar
Tempat/Tanggal Lahir : Mojokerto, 12 Maret 1967
Alamat Rumah : Pondok Maritim Indah Blok ZZ-17
(60222)
Telp. 031-7665382; HP: 081330317792
Kantor/Unit Kerja : Departemen Fisika, Fakultas Sains
dan Teknologi,
Universitas Airlangga
Alamat kantor : Dep. Fisika, Kampus C FST Universitas
Airlangga.
Jalan Mulyorejo, Surabaya (60115)
Agama : Islam

RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Strata Pend.	Tempat	Tahun	Bidang	Gelar
1	SD	MI-Alkarimah, Mojokerto	1973-1979	-	-
2	SMP	SMP-Islam Brawijaya, Mojokerto	1979-1982	-	-
3	SMA	SMA Negeri 1 Puri, Mojokerto	1982-1985	-	-

No.	Strata Pend.	Tempat	Tahun	Bidang	Gelar
4	S1	Fisika FMIPA Universitas Airlangga	1985-1990	Fisika	Drs.
5	S2	Fisika FMIPA Universitas Gadjah Mada	1996-1999	Fisika	M.Si.
6	S3	Fisika FMIPA Universitas Gadjah Mada	2006-2010	Fisika	Dr.

TANDA PENGHARGAAN

No.	Tahun	Nama Penghargaan
1	2015	Kontributor H-Index Scopus Universitas Airlangga
2	2015	Publikasi Terbanyak Berprestasi 2015 (Peringkat 1) Universitas Airlangga
3	2013	2013 Highly Commended Paper Award (Emerald Publisher), UK
4	2013	Dosen Berprestasi I Tingkat Universitas Airlangga
5	2012	Dosen Berprestasi II Tingkat Universitas Airlangga

PUBLIKASI INTERNASIONAL (*ISI/SCOPUS INDEX*)

No.	Karya Ilmiah
1	Yasin, M. , Samian, Supadi, Pujiyanto, Yhuwana, Y.G.Y., " <i>Fiber optic displacement sensor for medal detection using fiber bundled probe</i> ", <i>AIP Conference Proceedings</i> , Volume 1718, 15 March 2016, Article number 100003.

No.	Karya Ilmiah
2	Zulkifli, A.Z., Latiff, A.A., Paul, M.C., Yasin, M. , Ahmad, H., Harun, S.W., “ <i>Dual-wavelength nano-engineered Thulium-doped fiber laser via bending of singlemode-multimode-singlemode fiber structure</i> ”, <i>Optical Fiber Technology</i> , Volume 32, 1 December 2016, Pages 96-101.
3	Ahmad, H., Zulkifli, A.Z., Yasin, M. , Thambiratnam, K., “ <i>Q-switched dual-wavelength fiber laser using a graphene oxide saturable absorber and singlemode-multimode-singlemode fiber structure</i> ”, <i>Laser Physics Letters</i> , Volume 13, Issue 10, October 2016.
4	A.Z. Zulkifli, A.A. Latiff, M.C. Paul, M. Yasin , H. Ahmad, S.W. Harun, “ <i>Dual-wavelength nano-engineered Thulium-doped fiber laser via bending of singlemode-multimode-singlemode fiber structure</i> ”, <i>Optical Fiber Technology</i> , 32 (2016) p. 96-101.
5	A. M. Markom, M. C. Paul, A. Dhar, S. Das, M. Yasin , R. Apsari, H. Ahmad, S. W. Harun, “ <i>L-band mode-locked fiber laser delivering adjustable bright and dark pulses with erbium zirconia yttria aluminum co-doped fiber</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Communications</i> , Vol. 10, No. 7-8, July-August 2016, p. 464 – 466.
6	Yasin M. , Samian, F. N. Aini, 2016, “ <i>Fiber optic coupler displacement sensor for detection of glucose concentration in distilled water</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Comm.</i> , Vol. 10, No. 5-6, May-June 2016, p. 347 – 350.
7	G. Krishnan, N. Bidin, M. Abdullah, M. F. S. Ahmad, M. A.A. Bakar, Moh. Yasin , 2016, “ <i>Liquid Refractometer based Mirrorless Fiber Optic Displacement Sensor</i> ”, <i>Sensors and Actuators A: Physical</i> , Volume 247, 15 August 2016, Pages 227–233.
8	H. Ahmad, M.A. Mat Salim, M.R.K. Soltanian, S.R. Azzuhri, S.W. Harun, Yasin M. , 2016, “ <i>Generation of stable and narrow spacing dual-wavelength ytterbium-doped fiber laser using a photonic crystal fiber</i> ”, <i>Journal of Modern Optics</i> 63 (10), 968-973.

No.	Karya Ilmiah
9	N. Bidin, N. H. Zainuddin, S. Islam, M. Abdullah, F. M. Marsin, M. Yasin , 2016, “ <i>Sugar Detection in Adulterated Honey via Fiber Optic Displacement Sensor for Food Industrial Applications</i> ”, <i>IEEE Sensors Journal</i> 16 (2), 299-305.
10	M. Abdullah, N. Bidin, G. Krishnan, M. F. S. Ahmad, M. Yasin , 2016, “ <i>Fiber Optic Radial Displacement Sensor-Based a Beam-Through Technique</i> ”, <i>IEEE Sensors Journal</i> 16 (2), 306-311.
11	H. Ahmad, M.A.M. Salim, S.R. Azzuhri, M.R.K. Soltanian, S.W. Harun, M. Yasin , 2015, “ <i>Generation of an ultra-stable dual-wavelength ytterbium-doped fiber laser using a photonic crystal fiber</i> ”, <i>Laser Physics</i> 26 (2), 025101.
12	M Yasin , S Soelistiono, YG Yhuwana, M Khasanah, H Arof, N Irawati, S.W. Harun, 2015, “ <i>Intensity based optical fiber sensors for calcium detection</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Comm.</i> , Volume 9, No. 9-10, p. 1185-1189.
13	N. Ukhrowiyah, D. Kurniadi, Suhariningsih, M. Yasin , 2015, “ <i>Continuous wave diffuse optical tomography using multimode plastic fiber for non-destructive test of diffused material</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Comm.</i> , Volume 9, No. 7-8, p. 995-999.
14	N. Hida, M. Abdullah, M. Yasin , 2015, “ <i>Fiber Optic Displacement Sensor for Honey Purity Detection Using Glucose Adulterant</i> ”, <i>Jurnal Teknologi</i> Vol. 74, No. 8.
15	M. Yasin , Pujiyanto, R. Apsari, M. Tanjung, 2015, “ <i>Tapered fiber optic sensor for potassium detection in distilled water</i> , <i>SPIE Proceeding, Proc. SPIE 9444</i> ”, <i>International Seminar on Photonics, Optics, and Its Applications (ISPhOA 2014)</i> , 94440F (January 9, 2015); doi:10.1117/12.2083904.
16	D.H.A. Munap, N. Bidin, S. Islam, M. Abdullah, F.M. Marsin, M. Yasin , 2015, <i>Fiber optic displacement sensor for industrial applications</i> , <i>IEEE Sensors Journal</i> , Vol. 15, No. 9, p. 4882-4887.

No.	Karya Ilmiah
17	M. Abdullah, N. Bidin, M. Yasin , Pujiyanto, S.W. Harun, M.S. Shaharin, 2014, “ <i>Fiber optic displacement sensor for thickness measurement based on transmission and reflection of transparent plate</i> , <i>Journal of Optoelectronics and Advanced Materials</i> ”, Volume, 16, No. 5-6, p. 665-671.
18	M. Abdullah, M. Yasin , N. Bidin, 2013, <i>Performance of a new bundle fiber sensor of 1000 RF in comparison with 16 RF probe</i> , <i>IEEE Sensors Journal</i> , Vol. 13, No. 11, p. 4522-4526.
19	N. Hida, N. Bidin, M. Abdullah, M. Yasin , 2013, “ <i>Fiber optic displacement sensor for honey purity detection in distilled water</i> ”, <i>Optoelectron. Adv. Mater.-Rapid Commun</i> 7 (7-8), p. 565-568.
20	H.A. Rahman, H.R.A. Rahim, S.W. Harun, M. Yasin , R. Apsari, H. Ahmad, W.A.B. Wan Abas, 2013, “ <i>Detection of stain formation on teeth by oral antiseptic solution using fiber optic displacement sensor</i> ”, <i>Optics & Laser Technology</i> 45, 336-341.
21	M. Yasin , H. Ahmad, K. Thambiratnam, A.A. Jasim, S.W. Phang, S.W. Harun, 2013, “ <i>Design of multimode tapered fibre sensor for glucose detection</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Comm.</i> , Vol. 7, No. 5-6, p. 371 – 376.
22	H.A. Rahman, S.W. Harun, M. Yasin , H. Ahmad, 2013, “ <i>Fiber optic salinity sensor using beam-through technique</i> ”, <i>Optik-International Journal for Light and Electron Optics</i> 124 (8), 679-681.
23	H.A. Rahman, H.R.A. Rahim, H. Ahmad, M. Yasin , R. Apsari, S.W. Harun, 2013, “ <i>Fiber optic displacement sensor for imaging of tooth surface roughness</i> ”, <i>Measurement</i> , Vol. 46, p. 546–551.
24	H.A. Rahman, S.W. Harun, N. Saidin, M. Yasin , H. Ahmad, 2012, “ <i>Fiber optic displacement sensor for temperature measurement</i> ”, <i>IEEE Sensors Journal</i> , Vol. 12 (5), p. 1361-1364.
25	H.A. Rahman, S.W. Harun, M. Yasin , H. Ahmad, 2012, “ <i>Fiber-optic salinity sensor using fiber-optic displacement measurement with flat and concave mirror</i> , <i>IEEE Journal of selected topics in quantum electronics</i> ”, Vol. 18 (5), p. 1529-1533.

No.	Karya Ilmiah
26	H. Ahmad, M. Yasin , K. Thambiratnam, S.W. Harun, 2012, “ <i>Fiber optic displacement sensor for micro-thickness measurement</i> ”, <i>Sensor Review</i> , Vol. 32 (3), p. 230-235.
27	H.A. Rahman, A.I.C. Ani, S.W. Harun, M. Yasin , R. Apsari, H. Ahmad, 2012, “ <i>Feasibility of fiber optic displacement sensor scanning system for imaging of dental cavity</i> , <i>Journal of biomedical optics</i> ”, Vol. 17 (7), 071308-071308.
28	M. Yasin , H.A. Rahman, N. Bidin, S.W. Harun, H. Ahmad, 2012, <i>Fiber optic displacement sensor using fiber coupler probe and real objects</i> , <i>Sensor Review</i> , Vol. 32 (3), 212-216
29	K. Thambiratnam, H. Ahmad, M. Yasin , A.Z. Zulkifli, S.W. Harun, 2012, “ <i>Optical non-contact micrometer thickness measurement system for silica thick films</i> , <i>SPIE Optical Engineering & Applications</i> ”, 84950Y-84950Y-6.
30	M. Yasin , S.W. Harun, C.F. Tan, S.W. Phang, H. Ahmad, 2011, “ <i>Fiber optic chemical sensor using fiber coupler probe based on intensity modulation for alcohol detection</i> , <i>Microwave and Optical Technology Letters</i> ”, Vol. 53 (8), 1935-1938
31	S.W. Harun, M. Yasin , H. Ahmad, 2011, “ <i>Micro-displacement sensor with multimode fused coupler and concave mirror</i> ”, <i>Laser Physics</i> , Vol. 21 (4), 729-732.
32	H.A. Rahman, S.W. Harun, M. Yasin , S.W. Phang, S.S.A. Damanhuri, H. Arof, H. Ahmad, 2011, “ <i>Tapered plastic multimode fiber sensor for salinity detection</i> ”, <i>Sensors and Actuators A: Physical</i> Vol. 171 (2), 219-222.
33	R. Apsari, N. Bidin, S. Hartati, A. Yuliati, M. Yasin , S.W. Harun, 2011, “ <i>Effect of Q-switched pulses exposure on morphology, hydroxyapatite composition, and microhardness properties of human enamel</i> ”, <i>Journal of Laser Application</i> , Vol. 23 (3).
34	M. Yasin , Z. Jusoh, H.A. Rahman, M.D. Ashadi, S.W. Harun, H. Ahmad, 2011, “ <i>Fiber optic angle sensor based on flat and concave mirror using a multimode fused coupler</i> ”, <i>Journal of Optoelectronics and Advanced Materials</i> , Vol. 13 (9-10), 1199-1202.

No.	Karya Ilmiah
35	M. Yasin , S.W. Harun, H. Ahmad, 2011, “ <i>Fiber optic displacement sensor based on micro-thickness measurement using bundled fiber and concave mirror</i> ”, <i>Journal of Optoelectronics and Advanced Materials</i> , Vol. 13 (7-8), 933-935.
36	H.A. Rahman, S.W. Harun, M. Yasin , H. Ahmad, 2011, “ <i>Non-contact refractive index measurement based on fiber optic beam-through technique</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Comm.</i> , Vol. (10), 1035-1038.
37	S.W. Harun, M. Yasin , A. Hamzah, H. Arof, H. Ahmad, 2011, “ <i>Temperature sensor based on lifetime measurement of erbium fluorescence</i> ”, <i>Journal of Optoelectronics and Advanced Materials</i> , Vol. 13 (1), 69.
38	S.W. Harun, H.Z. Yang, M. Yasin , H. Ahmad, 2010, “ <i>Theoretical and experimental study on the fiber optic displacement sensor with two receiving fibers</i> ”, <i>Microwave and Optical Technology Letters</i> 52 (2), 373-375.
39	S.W. Harun, M. Yasin , H.Z. Yang, H. Ahmad, 2010, “ <i>Estimation of metal surface roughness using fiber optic displacement sensor</i> ”, <i>Laser Physics</i> 20 (4), 904-909.
40	M. Yasin , S.W. Harun, H.Z. Yang, H. Ahmad, 2010, “ <i>Fiber optic displacement sensor for measurement of glucose concentration in distilled water</i> ”, <i>Optoelectronics and advanced materials-rapid comm.</i> , Vol. 4 (8), 1063-1065.
41	M. Yasin , S.W. Harun, Z.A. Ghani, H. Ahmad, 2010, “ <i>Performance comparison between plastic-based fiber bundle and multimode fused coupler as probes in displacement sensors</i> ”, <i>Laser physics</i> 20 (10), 1890-1893.
42	M. Yasin , S.W. Harun, D. Lelono, A.H. Zaidan, H. Ahmad, 2010, “ <i>Effect of tilting angles on the performance of reflective and transmitting types of fiber optic-based displacement sensors</i> ”, <i>Laser Physics</i> 20 (4), 824-829.

No.	Karya Ilmiah
43	M. Yasin , S.W. Harun, Karyono, Kusminarto, H. Ahmad, 2010, “ <i>Simple design of vibration sensor using fiber optic displacement sensor</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials–Rapid Comm</i> 4 (11), 1795-7.
44	M. Yasin , S.W. Harun, H. Ahmad, 2009, “ <i>Simple design of optical fiber displacement sensor using a multimode fiber coupler</i> ”, <i>Laser physics</i> 19 (7), 1446-1449.
45	M. Yasin , S.W. Harun, W.A. Fawzi, H. Ahmad, 2009, “ <i>Lateral and axial displacements measurement using fiber optic sensor based on beam through technique</i> ”, <i>Microwave and Optical Technology Letters</i> 51 (9), 2038-2040.
46	M. Yasin , S.W. Harun, Kusminarto, Karyono, A.H. Zaidan, K. Thambiratnam, H. Ahmad, 2009, “ <i>Design and operation of a concentric-fiber displacement sensor</i> ”, <i>Fiber and Integrated Optics</i> 28 (4), 301-309.
47	M. Yasin , S.W. Harun, A.H. Zaidan, H. Ahmad, 2009, “ <i>Study of bundled fiber based displacement sensors using theoretical model and fitting function approaches</i> ”, <i>Journal of optoelectronics and advanced materials</i> 11 (3), 302-307
48	G.B. Suparta, W. Nugroho, I.K. Swakarma, M. Yasin , 2009, “ <i>Metal roughness profile inspection using a micro-displacement fiber optic bundled sensor</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials–Rapid Communications</i> 3 (1), 65-68.
49	M. Yasin , S.W. Harun, H.A. Abdul Rashid, H. Ahmad, 2008, “ <i>The performance of a fiber optic displacement sensor for different types of probes and targets</i> ”, <i>Laser Physics Letters</i> 5 (1), 55-58.
50	M. Yasin , S.W. Harun, Kusminarto, Karyono, H Ahmad, 2008, “ <i>Fiber optic displacement sensor using a multimode bundle fiber</i> ”, <i>Microwave and Optical Technology Letters</i> 50 (3), 661-663.
51	M. Yasin , S.W. Harun, H.A .Abdul-Rashid, A.H. Zaidan, H. Ahmad, 2007, “ <i>Performance of optical displacement sensor using a pair type bundled fiber from a theoretical and experimental perspective</i> ”, <i>Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications</i> 1 (11), 549-553.

PUBLIKASI NASIONAL

No.	Karya Ilmiah
1	S.D. Astuti, R. Basalamah, M. Yasin , 2015, “Potensi Pemaparan Light Emitting Diode (LED) Inframerah Untuk Fotoinaktivasi Bakteri Bacillus Subtilis”, <i>Biosains</i> Vol. 17, No. 1.
2	S.D. Astuti, Ni’matut Tamimah, M. Yasin , 2014, “Potensi Pemaparan Light Emitting Diode (LED) untuk Fotoinaktivasi Bakteri Streptococcus Mutans”, <i>Jurnal Fisika dan Terapannya</i> 2 (1), 59.
3	F. Ama, E. Purwanti, M Yasin , 2011, “Deteksi Kanker Paru Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Self Organizing Map (SOM)”, <i>Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam</i> , 63.
4	R. Apsari, M. Yasin , M.Y. Sari, N. Bidin, 2010, “ <i>Deteksi Shock Wave Hasil Paparan Laser Nd:YAG Q-Switch Pada Enamel Gigi untuk Kandidat Aplikasi Terapi Karies</i> ”, <i>Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam</i> , 56.

DAFTAR PENELITIAN

No.	Tahun	Judul	Sekma/ Sumber Dana	Ket.
1	2015-2016	Aplikasi sensor mikro-pergeseran dengan menggunakan serat optic bundel 1000 RF untuk deteksikalsium	Hibah Kompetensi (Kemenristek-Dikti)	Ketua
2	2015-2016	Deteksi Getaran Jantung Tiruan (<i>Artificial Heart</i>) dengan Menggunakan Sensor Serat Optik Berbasis Modulasi Intensitas	PUPT-Kemenristek-Dikti	Ketua

No.	Tahun	Judul	Sekma/ Sumber Dana	Ket.
3	2015-2016	Pelapisan Hidroksiapatit pada Paduan Kobalt sebagai Kandidat Implan Tulang Prosthesis Melalui Metode Electrophoretic Deposition	PUPT- Kemenristek- Dikti	Anggota
4	2014-2015	Teknik Fotoakustik Berpulsa untuk Sistem Urinalisis Mikroskopis	PUPT- Kemenristek- Dikti	Anggota
5	2013-2014	Studi Peningkatan Kinerja Sensor Pergeseran Berbasis Serat Optik Bundel Bahan Kaca dan Jumlah Probe Serat Optik	PUPT- DP2M Dikti	Ketua
6	2013-2014	Aplikasi Sensor Pergeseran Serat Optik untuk Pengukuran Ketebalan Bahan Implan Tulang Hidroksiapatit	PUPT- DP2M Dikti	Anggota
7	2012-2013	Rancang Bangun Sistem Diagnosis dan Terapi Terpadu Kanker Kulit Ekonomis dan Non-Invasive Berbasis Nanolaser Speckle Imaging	PUPT- DP2M Dikti	Anggota

No.	Tahun	Judul	Sekma/ Sumber Dana	Ket.
8	2011-2012	Rancang Bangun Sistem Sensor Nanopergeseran dengan Menggunakan Serat Optik Bundel Step-indeks Multiragam Secara Digital	Penelitian Hibah Bersaing – DP2M Dikti	Ketua

**PENULISAN CHAPTER BOOK/BUKU/BAHAN AJAR/
MODUL-DIKTAT**

No.	Judul/ ISBN	Penerbit/Tahun	Ket.
1	<i>Advances in Optical Fiber Technology: Fundamental Optical Phenomena and Applications</i> (ISBN 978-953-51-1742-1)	Intech Open Access Publisher/ 2015	Editor
2	<i>Optical Sensors - New Developments and Practical Applications</i> (ISBN 978-953-51-1233-4)	Intech Open Access Publisher/ 2014	Editor
3	<i>Fiber Optic Displacement Sensors and Their Applications</i> (ISBN 978-953-307-922-6)	Intech Open Access Publisher/ 2012	Author
4	Fiber Optic Temperature Sensors (ISBN 978-953-307-954-7)	Intech Open Access Publisher/ 2012	Author
5	<i>Fiber optic sensors</i> (ISBN 978-953-307-922-6)	Intech Open Access Publisher/ 2012	Editor

6	<i>Selected topics on optical fiber technology</i> (ISBN 978-953-51-0091-1)	Intech Open Access Publisher/ 2012	Editor
7	<i>Optical fiber communications and devices</i> (ISBN 978-953-307-954-7)	Intech Open Access Publisher/ 2012	Editor
8	<i>Recent progress in optical fiber research</i> (ISBN 978-953-307-823-6)	Intech Open Access Publisher/ 2012	Editor

REVIEWER JURNAL ILMIAH (INTERNASIONAL & NASIONAL)

1. Biocybernetics and Biomedical Engineering
2. Chinese Chemical Letters
3. Optics & Laser Technology
4. Measurement
5. Sensors & Actuators: A. Physical
6. Sensors & Actuators: B. Chemical
7. Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Comm.
8. IEEE Sensors Journal
9. Sensor Review Journal
10. Optical Engineering Journal
11. Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, FST Universitas Airlangga
12. Jurnal ESDM – STEM AKAMIGAS
13. External examiner Master Students IPS-Univ. Malaya.