

**LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN BERBASIS KOMPETENSI
(PBK)**



**OPTIMASI SENSOR SERAT OPTIK BERBASIS MODULASI
INTENSITAS UNTUK DETEKSI LAJU DETAK JANTUNG TIRUAN
(ARTIFICIAL HEART)**

TAHUN KE - 1 DARI RENCANA 2 TAHUN

Prof. Dr. MOH. YASIN, M.Si.	0003126704
SAMIAN, S.SI., M.SI.	0021066702
ANDI HAMIM ZAIDAN, M.Si., Ph.D.	0022048302

**DIBIYAI OLEH:
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
SESUAI DENGAN PERJANJIAN PENDANAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN
KEPADA MASYARAKAT
NOMOR: 122/SP2H/PTNBH/DRPM/2018**

**UNIVERSITAS AIRLANGGA
NOVEMBER 2018**

**LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN BERBASIS KOMPETENSI
(PBK)**

KKC
KE
LP 33/19
Yas
o



**OPTIMASI SENSOR SERAT OPTIK BERBASIS MODULASI
INTENSITAS UNTUK DETEKSI LAJU DETAK JANTUNG TIRUAN
(ARTIFICIAL HEART)**

TAHUN KE - 1 DARI RENCANA 2 TAHUN

Prof. Dr. MOH. YASIN, M.Si.	0003126704
SAMIAN, S.SI., M.SI.	0021066702
ANDI HAMIM ZAIDAN, M.Si., Ph.D.	0022048302

**DIBIYAI OLEH:
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
SESUAI DENGAN PERJANJIAN PENDANAAN PENELITIAN DAN PENGABDIAN
KEPADA MASYARAKAT
NOMOR: 122/SP2H/PTNBH/DRPM/2018**

**UNIVERSITAS AIRLANGGA
NOVEMBER 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul

: Optimasi Sensor Serat Optik Berbasis Modulasi Intensitas untuk Deteksi Laju Detak Jantung Tinuan (Artificial Heart)

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Dr. Drs MOH YASIN, M.Si
 Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga
 NIDN : 0003126704
 Jabatan Fungsional : Guru Besar
 Program Studi : Fisika
 Nomor HP : 081330317792
 Alamat surel (e-mail) : yasin@fst.unair.ac.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : SAMIAN S.Si, M.Si
 NIDN : 0021066702
 Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga

Anggota (2)

Nama Lengkap : ANDI HAMIM ZAIDAN S.Si, M.Si, Ph.D
 NIDN : 0022048302
 Perguruan Tinggi : Universitas Airlangga

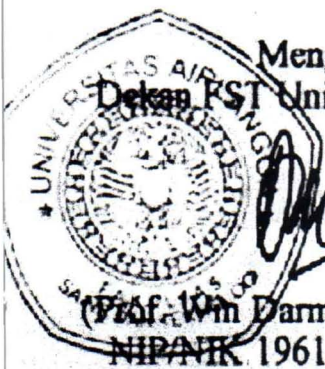
Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : -
 Alamat : -
 Penanggung Jawab : -

Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun

Biaya Tahun Berjalan : Rp 90,000,000

Biaya Keseluruhan : Rp 180,000,000



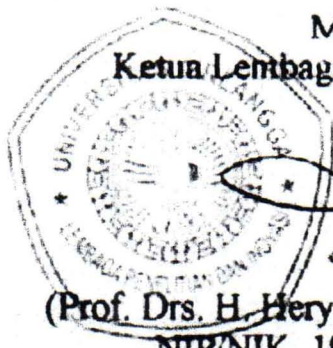
Mengetahui,
 Dekan FST Universitas Airlangga

(Prof. Wm Darmanto, M.Si., Ph.D.)
 NIP/NIK 196106161987011001

Kota Surabaya, 8 - 11 - 2018
 Ketua,



(Dr. Drs MOH YASIN, M.Si)
 NIP/NIK 196703121991021001



Menyetujui,
 Ketua Lembaga Penelitian dan Inovasi
 (Prof. Drs. H. Hery Purnobasuki, M.Si., Ph.D.)
 NIP/NIK 196705071991021001

RINGKASAN

Di dalam laporan akhir tahun pertama (2018) ini, telah dilakukan optimasi kinerja sensor serat optik melalui optimasi deteksi frekuensi dan amplitudo sinyal berbagai bentuk (sinus, persegi dan segitiga) di daerah frekuensi rendah (kurang dari 100 Hz). Probe serat optik yang digunakan adalah serat optik bundel yang terdiri dari sebuah serat pemancar (1 buah serat) dan serat penerima (16 serat penerima). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa deteksi sinyal sinus meliputi frekuensi 50-100 Hz, sinyal persegi 50-80 Hz dan sinyal segitiga 50-80 Hz. Hubungan antara frekuensi luaran sensor terhadap frekuensi masukan merupakan linear dengan linearitas lebih dari 99% dan kemiringan (*slope*) mendekati nilai 1 (yaitu lebih dari 0.98). Demikian juga dengan deteksi amplitudo sinyal (sinus, persegi dan segitiga), diperoleh hubungan linear antara amplitudo luaran sensor dan amplitudo sinyal masukan dengan *slope* lebih dari 0.97. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor serat optik berbasis modulasi intensitas dapat digunakan untuk mendeteksi sinyal detak jantung tiruan dan juga sensor ini mempunyai potensi yang sangat kuat untuk diaplikasikan pada deteksi sinyal detak jantung manusia.

Kata kunci: Sensor serat optik, probe serat bundel, modulasi intensitas, frekuensi dan amplitude getaran.



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur alhamdulillah kepada Allah S.W.T., laporan akhir Penelitian Berbasis Kompetensi (PBK) Tahun pertama (2018) ini telah berhasil dibuat. Laporan kemajuan ini merupakan laporang yang berisi tentang hasil - hasil yang telah diperoleh pada bulan Nivember 2018 sejak kontrak penelitian ditandatangani.

Hasil yang telah dicapai adalah deteksi sinyal detak jantung buatan (*heart rate*) dalam tahap awal ini adalah optimasi deteksi sinyal gelombang berbentuk sinus, persegi dan segitiga pada frekuensi rendah (50 -100 Hz) yang merupakan daerah detak jantung manusia. Dengan selesainya laporan kemajuan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Airlangga, Ketua LPI Universitas Airlangga dan Dekan Fakultas Sains dan Teknologi atas dana yang telah diberikan sehingga penelitian PBK ini dapat diselesaikan. Semoga laporan akhir ini bisa bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, November 2018.

Penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Sampul	-
Halaman Pengesahan	i
Summary/Ringkasan	ii
Prakata	iii
Daftar ISI	iv
Daftar Tabel	-
Daftar Gambar	-
BAB 1. Pendahuluan	1
BAB 2. Tinjauan Pustaka	4
BAB 3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	14
BAB 4. Metode Penelitian	15
BAB 5. Hasil dan Luaran yang Dicapai	21
BAB 6. Rencana Tahapan Selanjutnya	25
BAB 7. Kesimpulan dan Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN:	
• Artikel Ilmiah (<i>Draft paper/ Submitted</i>)	





BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jantung merupakan salah satu organ tubuh yang penting bagi tubuh manusia yang berfungsi memompa darah ke seluruh tubuh dan menampungnya kembali setelah dibersihkan oleh organ paru-paru. Jantung bekerja secara terus menerus selama manusia masih hidup dan akan berpengaruh terhadap kemampuan fungsi jantung yang secara berangsur akan mengalami penurunan. Monitor detak jantung merupakan hal yang mutlak diperlukan, misalnya alat monitor detak jantung dengan menggunakan *Elektrokardiogram* (EKG), namun alat tersebut sampai saat ini harganya masih sangat mahal dan harus diimpor, sehingga perlu dibuat alat alternatif monitor detak jantung, yaitu salah satunya dengan menggunakan metode sensor optik berbasis serat optik (*fiber optic*).

Penelitian tentang deteksi detak jantung (*heart rate detection*) telah dilakukan oleh Zhang et. al (2017) yang telah meneliti algoritma kebuataan mata dan sinyal detak jantung dengan menggunakan algoritma ICA, namun masih terdapat kelemahan yaitu sinyal deteksi *cardiac* dari *multi-channel ICA* nya masih kompleks. Kapu et al. (2017) juga telah mempublikasikan hasil penelitian tentang deteksi detak jantung sesaat dalam keadaan istirahat dengan menggunakan sensor Piroelektrik Infra Merah (*Piroelectric Infra Red/ PIR*) secara non-invasif dan non-kontak. Sistem deteksi dengan sumber cahaya ini mempunyai kelemahan yaitu noise (derau) masih sangat tinggi karena tanpa menggunakan pemandu gelombang serat optik (*fiber optic*).

Teknologi sensor serat optik telah dapat digunakan untuk aplikasi sensor berbagai jenis pengukuran besaran fisis seperti pergeseran, tekanan, suhu, medan listik dan lain-lain (Yasin et al., 2012; Lim et al., 2010; Lee, 2003). Keunggulan sensor serat optik dibandingkan dengan sensor konvensional adalah sebagai berikut: kebal terhadap interterfensi gelombang

elektromagnetik, ukuran kecil dan kompatibel dengan teknologi komunikasi optik (Irawati, 2017). Salah satu aplikasi sensor serat optik yang penting adalah analisis getaran suatu obyek. Sampai sekarang ini, berbagai jenis sensor getaran dengan menggunakan probe serat optik telah dipublikasikan di beberapa jurnal internasional antara lain interferometer serat optik (Jose et al., 2006), sensor serat optik berbasis Fiber Bragg Grating/FBG (Zhang et al., 2005) dan sensor serat optik menggunakan fused-coupler (Chen et al., 2004).

Sensor optik dalam aplikasinya ada beberapa macam metode deteksi, yaitu metode deteksi berbasis modulasi fase, modulasi panjang gelombang dan modulasi intensitas. sensor serat optik berbasis modulasi fase menggunakan piranti interferensi cahaya. Sensor yang menggunakan piranti interferensi cahaya ini mempunyai ketelitian tinggi, tetapi komponen interferometer yang diperlukan sangat mahal harganya dan sangat kompleks untuk implementasi praktis (karena banyak menggunakan cermin, lensa dan komponen optik yang lain) serta sangat sensitif terhadap fluktuasi suhu (Zhao et al., 2017). Sedangkan sensor berbasis modulasi panjang gelombang yang menggunakan FBG memerlukan tiga jalur fiber untuk mentransmisikan berkas sumber cahaya pada bagian sensor masukan dan luaran, sehingga sukar untuk aplikasi secara praktis. Baru-baru ini, telah dikembangkan sensor serat optik berbasis modulasi intensitas yang mempunyai beberapa keunggulan, antara lain: biaya relatif lebih murah (*low cost*), sederhana (*simple*) dan mudah dibuat serta cocok untuk aplikasi di lingkungan berbahaya dan sulit dijangkau.

Penelitian tentang sensor optik untuk aplikasi deteksi sinyal jantung telah dilakukan (Dziuda et al., 2012) yang telah berhasil mendeteksi sinyal detak jantung di dalam lingkungan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dengan keadaan interferensi gelombang elektromagnetik yang tinggi. Probe serat optik yang digunakan adalah FBG yang masih mempunyai kelemahan yaitu memerlukan pemrosesan sinyal lanjutan dan harganya sangat karena menggunakan piranti OSA (*Optical Spectrum Analyzer*). Eksperimen deteksi siny

ECG juga telah dilakukan oleh Yasin et al. (2017) dengan menggunakan probe serat optik bundel yang mampu mendeteksi sinyal mulai dari 50 sampai 350 bpm. Sinyal terdeteksi masih sangat sempit (300 bpm) dan amplitudo yang diperoleh belum linear.

Di dalam laporan akhir penelitian PBK tahun pertama (2018) ini, telah dibuat optimasi kinerja sensor serat optik untuk pengukuran frekuensi dan amplitudo berbagai bentuk sinyal yang meliputi sinyal gelombang sinus, persegi dan segitiga pada daerah frekuensi rendah (kurang dari 100 Hz). Peningkatan kinerja sensor difokuskan pada optimasi sinyal melalui pemilihan bentuk gelombang yang sesuai dengan kondisi jantung tiruan (*artificial heart*). Probe serat optik yang digunakan adalah serat optik plastik jenis bundel yang terdiri bagian serat transmisi (*transmitting fiber*) dan serat penerima (*receiving fiber*) berkas cahaya. Di dalam eksperimen ini, telah diperoleh hubungan antara frekuensi dan amplitudo sinyal luaran dan sinyal masukan merupakan fungsi linear, yang berarti terjadi kesesuaian antara sinyal masukan dan sinyal luaran. Sinyal luaran sensor ini akan direkam dan ditampilkan di dalam osiloskop digital.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan atas uraian latar belakang masalah, dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimanakah optimasi susunan pasangan eksperimen sensor frekuensi model detak jantung buatan yang menggunakan fiber optic plastik jenis bundel berbasis modulasi intensitas pantulan?
2. Apakah ada jangkauan frekuensi detak jantung sensor serat optik berbasis serat optik bundel dapat ditingkatkan?
3. Apakah ada kesesuaian amplitudo dan jangkauan frekuensi detak jantung yang terukur oleh sensor fiber optik dan sinyal masukan yang dihasilkan (kalibrator)?

1.3. Luaran Penelitian

Luaran penelitian ini adalah berupa artikel ilmiah yang akan diterbitkan di jurnal internasional (*ISI Thompson Reuters/Scopus Index*) seperti Jurnal Microwave and Optical Technology Letters (John Wiley & Sons) dengan judul: "*Fiber optic sensor using bundled probe for tunable signals measurement based on intensity modulation*".





BAB II

URAIAN KEGIATAN

2.1. Studi Pustaka

Teknologi fiber optik dapat diaplikasikan secara luas dalam bidang komunikasi, transmisi data dan sebagai sistem sensor. Sensor fiber optik dapat dirancang secara ekstrinsik dan intrinsik yang dapat digunakan untuk pengukuran berbagai variabel/ besaran fisis seperti pergeseran, tekanan, suhu, medan listrik dan lain-lain (Yasin et al., 2008; Lim et al., 2010). Dibandingkan dengan sensor konvensional lain, sensor fiber optik mempunyai beberapa keunggulan, antara lain terisolasi secara listrik, kebal terhadap interferensi medan elektromagnetik, ukuran/dimensinya relatif kecil dan dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data sehingga mudah dibuat untuk pengolahan citra digital.

Salah satu aplikasi penting dari sensor fiber optic (berbasis sensor pergeseran/*displacement sensor based*) adalah untuk analisis getaran suatu obyek. Sensor getaran suatu obyek sangat krusial dalam bidang industri otomotif, pesawat terbang dan dalam bidang medis. Baru-baru ini telah dikembangkan berbagai jenis sensor getaran dengan menggunakan teknik interferometri fiber optic (Lee, 2003), fiber bragg grating (FBG) (Jose et al., 2006), fiber coupler (Zhang et al., 2005) dan juga fiber optik bundel (Binu et al., 2007; Leng & Asundi, 2002).

Ada tiga metode deteksi serat optik sebagai sensor, yaitu: berbasis modulasi fase, panjang gelombang dan intensitas. Pertama, sensor yang berbasis modulasi-fase adalah membandingkan fase cahaya antara berkas cahaya penguji (*probe*) dan berkas cahaya dalam serat optik acuan (*reference*) di piranti interferometri laser. Bedanya 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 ketelitiannya tidak lebih dari seperempat panjang gelombang cahaya yang digunakan. Kedua, sensor optik berbasis modulasi-panjang gelombang memerlukan FBG (*Fiber Bragg Grating*) sebagai pengindra (*sensing*) untuk melakukan transformasi langsung besaran fisis yang diindra kedalam pergeseran panjang gelombang. Penggunaan sensor FBG ini memerlukan peralatan yang khusus dan mahal, seperti Optikal 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 (Chan et al., 2006) 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. Selain itu, metode ini juga memerlukan manipulasi data lanjutan (algoritma pencarian puncak) untuk menentukan pergeseran panjang gelombang (J. Hong et al., 2007). Yang ketiga adalah sensor optik berbasis modulasi intensitas, metode ini adalah metode yang paling sederhana tetapi mempunyai ketelitian pengukurannya sangat tinggi (H. Cao et al., 2007; Golnabi dan Azimi, 2008). Sensor serat optik berbasis modulasi intensitas ini mempunyai keunggulan dibanding dua metode optik yang lain, yaitu: disain sederhana, biaya relatif murah dan ukuran dan beratnya kecil serta interpretasi sinyal luaran sensor sangat mudah. Metode ini tidak hanya digunakan sebagai metode deteksi dalam sistem sensor pergeseran saja, tetapi dapat juga digunakan sebagai piranti 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).

Penelitian tentang monitor getaran obyek (bagian khusus sayap pesawat udara) dengan menggunakan fiber optic multimode telah dilakukan oleh Leng & Asundi (2000). Metode yang digunakan adalah deteksi pola speckel spasial fiber optic multimode yang berhasil mendeteksi frekuensi alami orde-pertama (11,8 sampai 10,7 Hz) dan orde-kedua (23,6 sampai 21,6 Hz). Kemudian penelitian sensor getaran dikembangkan oleh Binu et al. (2007) yang menggunakan mini-shaker sebagai obyek. Susunan eksperimen yang digunakan adalah fiber optic transmitter, fiber optic probe, mini-shaker, detector fotodiode dan signal analyser. Sensor tersebut mampu mendeteksi amplitude getaran dari 0,008 sampai 0,74 mm dalam jangkauan frekuensi 75 sampai 275 Hz. Kepekaan sensor tersebut sebesar 0,893 V/mm dalam jangkauan 0,6 sampai 2,1 mm (slope depan) dan -0,226 V/mm dalam jangkauan 2,9 sampai 5,9 mm. selanjutnya deteksi amplitude dan frekuensi getaran suatu obyek load-speaker telah dikembangkan oleh Yasin et al. (2010). Sensor tersebut dapat mendeteksi frekuensi dalam jangkauan 200 sampai 350 Hz. Ketiga hasil penelitian getaran tersebut masih menggunakan obyek-obyek non-medis, maka dalam penelitian ini akan digunakan obyek dengan bahan yang mirip jantung yang ditempatkan dalam speaker yang dalam usulan penelitian ini dinamakan sebagai obyek model jantung buatan.

2.2. Prinsip Dasar Sensor Getaran Berbasis Sensor Pergeseran Fiber Optik.

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

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

dengan,

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

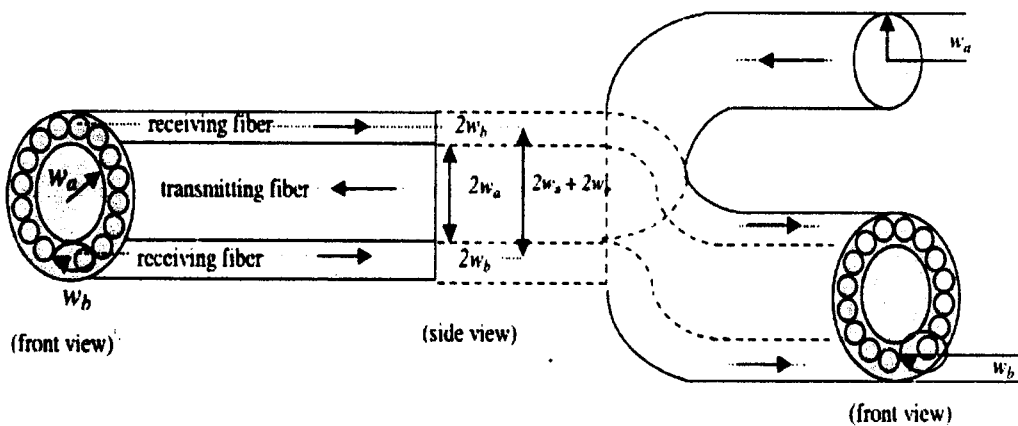
Sensitivitas sensor dapat dihitung dengan mendiferensialkan P_N terhadap h_N , yaitu,

$$S = \frac{\partial P_N}{\partial h_N} \dots (2)$$

Sehingga diperoleh sensitivitas dengan persamaan matematis (Faria, 1998)

$$S = 2 \frac{\partial}{\partial \zeta} P_N = \frac{4}{\zeta} \left(\frac{8}{\zeta^2} - 1 \right) P_N(\zeta) \dots (3)$$

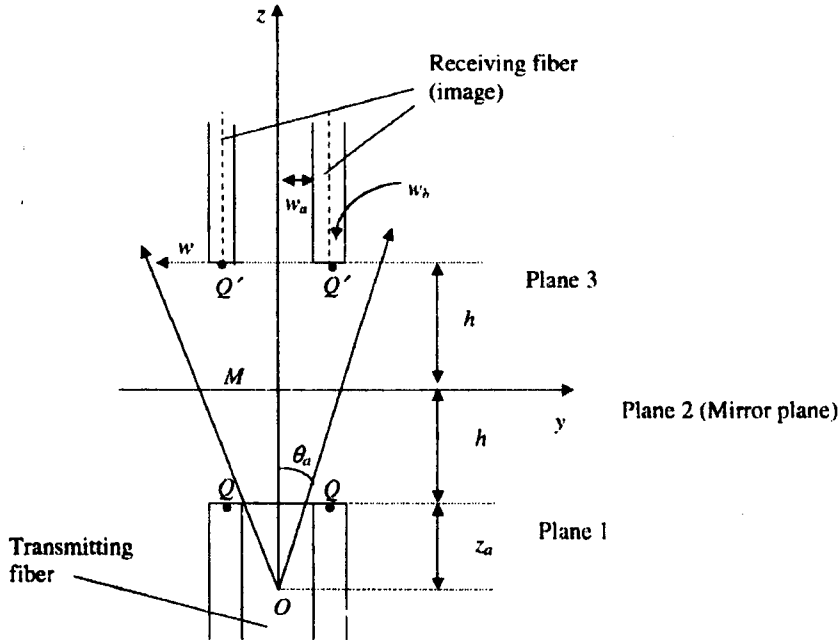
Sedangkan analisis teori tentang tentang sensor pergeseran berbasis modulasi intensitas dengan menggunakan probe serat optik bundel jenis plastik dengan susunan konsentris yang terdiri atas 16 buah serat penerima telah dilakukan oleh Yasin et al. (2007). Probe serat optik bundle jenis konsentris ditunjukkan oleh Gambar 2.1. 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 2.



Gambar 2.1. Tampang sisi depan dan samping sebuah serat optik pemancar dan 16 buah penerima pada probe serat optik bundel (Yasin et al., 2009).

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 2.2. 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.



Gambar 2.2. Berkas cahaya yang keluar dari serat pemancar dan ditangkap oleh serat penerima sebagai serat bayangan (*mage fiber*) yang melewati bidang cermin (*mirror plane*).

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

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

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 bundelpemancar sebagai berkas paraksial dengan profil Gaussian. Intensitas yang dipancarkan oleh serat pemancar adalah,

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

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),

$$\pi w_0^2 = \lambda z_R \quad \dots (6)$$

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

$$\theta_a \approx \tan \theta_a = \frac{w(z)}{z} = \frac{w_0}{z_R} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad \dots (7)$$

Sehingga intensitas cahaya dapat disederhanakan menjadi,

$$I(r, z) = \frac{2P_E}{z^2 \pi \theta_a^2} \exp\left(-\frac{2r^2}{\theta_a^2 z^2}\right) \quad \dots (8)$$

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

$$P(z) = \int_{S_a} I(r, z) dS. \quad \dots (9)$$

dengan asumsi $I(r, z)$ bernilai tetap di seluruh permukaan serat penerima dengan luas pemancar dan penerima, $S_a = \pi w_a^2$, $S_b = \pi w_b^2 = \frac{1}{16} \pi w_a^2$ 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,

$$P = IS_a = \frac{2P_E}{\zeta^2} \exp\left(-\frac{25}{8\zeta^2}\right) \quad \dots (10)$$

dengan ζ yang dinyatakan oleh persamaan berikut,

$$\zeta = \frac{z}{z_a} = 1 + \frac{2h}{z_a} = 1 + 2h_N \quad \dots (11)$$

dan h_N adalah jarak (pergeseran) ternormalisasi. Dengan menghitung $dP/d\zeta = 0$, daya yang diterima akan mencapai maksimum pada $P_{\max} = 16P_E / (25e)$ 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,

$$P_N = \frac{25}{8\zeta^2} \exp\left(1 - \frac{25}{8\zeta^2}\right) \quad \dots (12)$$

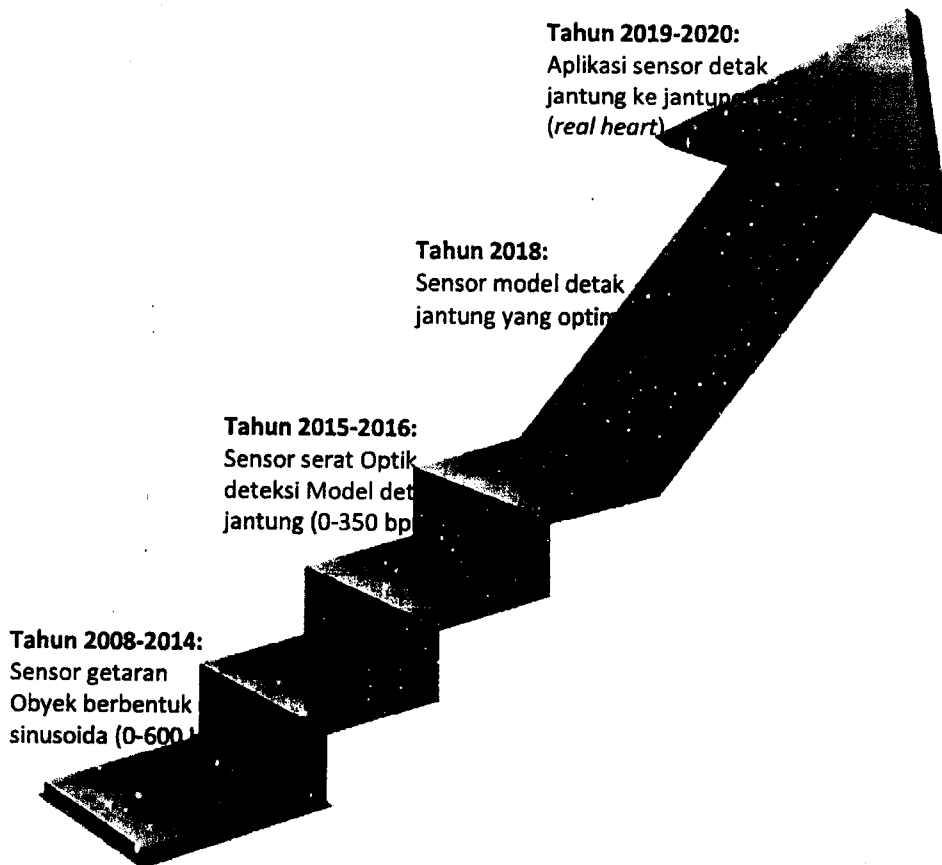
Sensitivitas sensor dapat ditentukan dengan mendiferensialkan P_N terhadap h_N dan diperoleh (Yasin et al., 2009),

$$S = 2 \frac{\partial}{\partial \zeta} P_N = \frac{1}{\zeta} \left(\frac{8}{\zeta^2} - 1 \right) P_N(\zeta) \quad \dots (13)$$

Persamaan sensitivitas sensor pergeseran dengan menggunakan 1 buah serat penerima dengan susunan pasangan telah ditunjukkan oleh persamaan (4) adalah hasil yang 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 13). 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). Berdasarkan hasil penurunan *transfer function* sensor pergeseran tersebut, dapat dirancang sensor frekuensi dan amplitudo laju detak jantung tiruan.

Peta jalan (*Road map*) penelitian sensor pergeseran dan aplikasinya:

Dengan mengacu pada hasil penelitian sebelumnya dan penelitian yang akan dikerjakan dapat dibuat peta jalan (*Roadmap*) sebagai berikut (Gambar 2.3):



Gambar 2.3. Roadmap penelitian aplikasi sensor serat optik untuk deteksi laju detak jantung (*heart rate detection*)

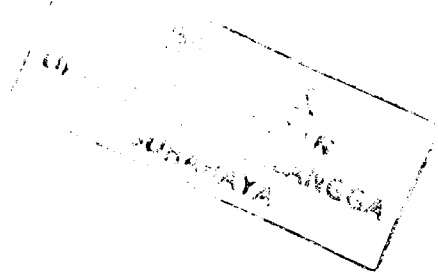
BAB 3**TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN****3.1. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Mendesain susunan pasangan eksperimen yang optimal sensor frekuensi sinyal tunable yang sesuai dengan model detak jantung buatan yang menggunakan fiber optic plastik jenis bundel berbasis modulasi intensitas pantulan.
2. Menentukan jangkauan frekuensi sinyal tunable yang sesuai dengan detak jantung sensor serat optik berbasis serat optic bundel dapat ditingkatkan.
3. Menentukan kesesuaian amplitudo dan jangkauan frekuensi sinyal tunable yang sesuai dengan detak jantung yang terukur oleh sensor fiber optik dan sinyal masukan yang dihasilkan (kalibrator).

3.2. Manfaat Penelitian

Keutamaan dan manfaat penelitian ini adalah diperoleh suatu piranti sensor fiber optik yang mampu mendeteksi amplitudo (dalam orde mikron) dan frekuensi getaran jantung dalam jangkauan frekuensi getaran jantung manusia secara akurat dan presisi. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung profil Prodi S2 Teknobiomedik Program Pascasarjana Universitas Airlangga terutama dalam bidang minat Instrumentasi Medis melalui keterlibatan mahasiswa skripsi dan tesis, sehingga dalam waktu yang akan datang, hasil-hasil penelitian ini akan dapat dijadikan sebagai bahan kajian tesis mahasiswa S1 Fisika FST UNAIR dan Prodi S2 Teknobiomedik serta S3 MIPA Universitas Airlangga sehingga dapat dipublikasikan ke jurnal internasional bereputasi.



BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain penelitian *Eksperimen Laboratorium*. Penelitian tersebut akan dilakukan di lab. Optik & Aplikasi Laser, Departemen Fisika FST Universitas Airlangga dan Lab. Photonic Research Center (PRC) Univ. of Malaya selama 8 bulan, mulai dari bulan Februari 2018 sampai September 2018.

4.1. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,

- Sumber cahaya laser warna merah (633nm), hijau (532nm) dan kuning (594nm)
- fiber optic plastic multimode dan detector optic (PDA 55, Thorlabs dan 818 SL (Newport& 818SL, Newport)
- Meja optik anti getar
- Pembangkit sinyal jantung dan Audio generator (arbitrary)
- Osiloskop digital (500 MHz)
- Komponen mekanik (translation stages- 3 dimensi, fiber holder dan kabel-kabel penghubung)
- Loadspeaker (sebagai bahan model jantung buatan)
- Komponen pendukung lain.

4.2. Variabel Penelitian

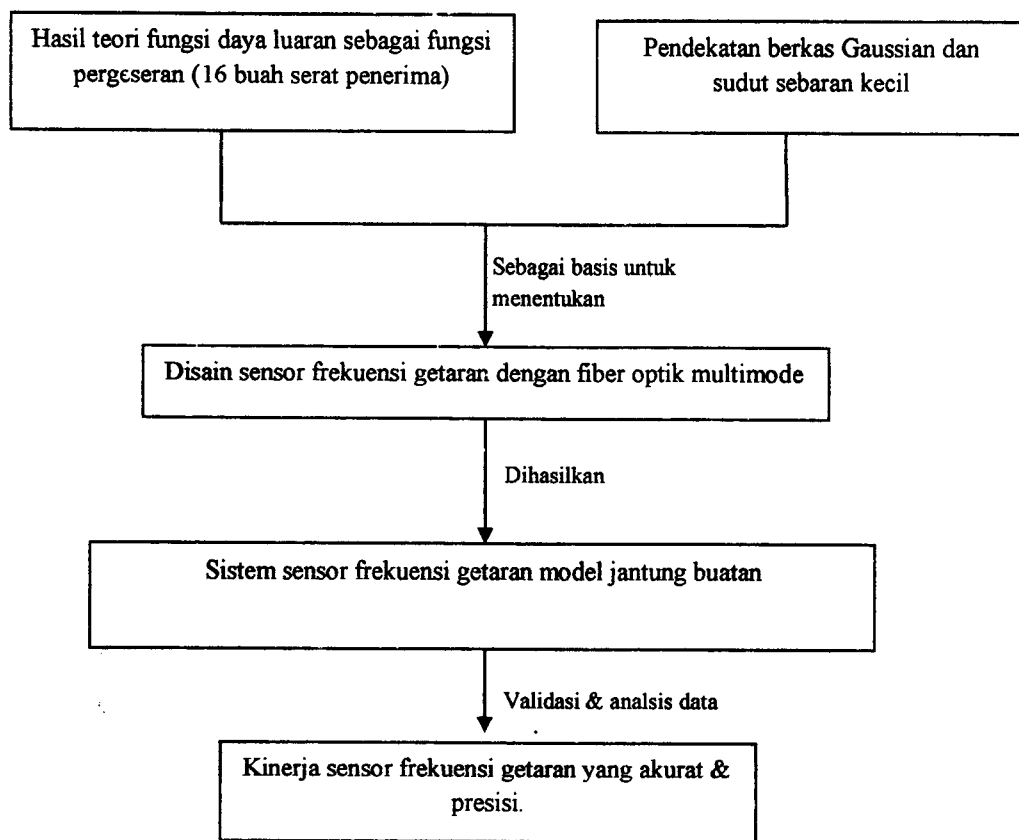
Variabel-variabel penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut,

- Variabel terikat: frekuensi luaran sensor (foto-detektor) (dalam satuan Hz)
- Variabel bebas: frekuensi masukan (AFG) (dalam satuan Hz)

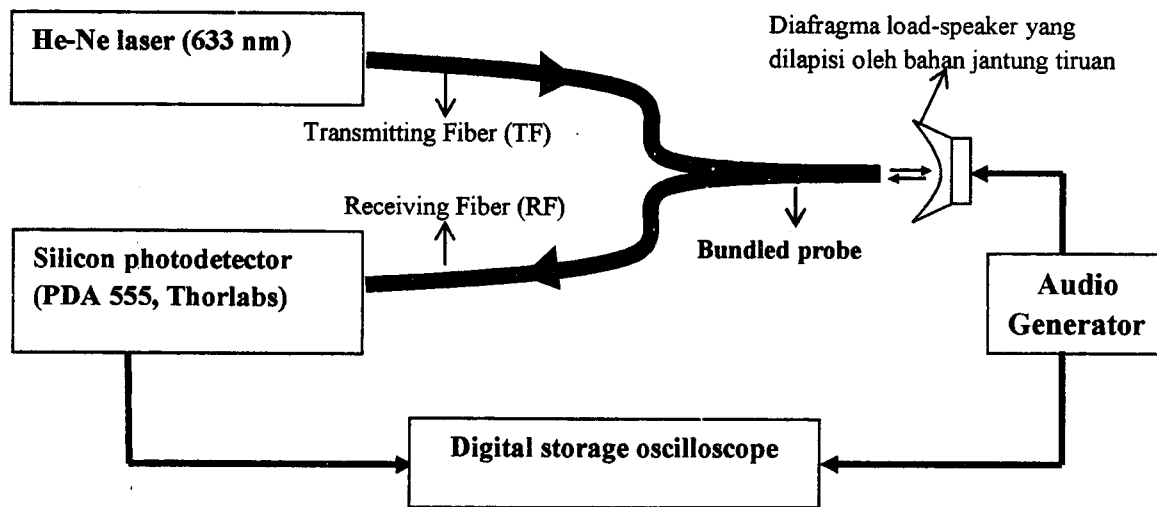
4.3. Prosedur Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam usulan penelitian tentang deteksi getaran berbasis sensor pergeseran ini digunakan pendekatan eksperimen. Secara garis besar, diagram alir penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Hasil teori tentang peningkatan sensitivitas yang diperoleh akan diuji dan divalidasi akan digunakan untuk disain e ksperimen sensor frekuensi getaran model jantung tiruan. Desain eksperimen sensor getaran serat optik tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Dari gambar tersebut, sumber cahaya laser ditembakkan kedalam serat pemancar dan dipantulkan oleh obyek (cermin data r). Berkas pantulan ini akan ditangkap oleh serat penerima. Frekuensi luaran yang dideteksi ini akan ditangkap dan dibaca oleh osiloskop digital. Dengan menggunakan analisis sinyal *Fast Fourier Transform* (FFT) akan diperoleh nilai frekuensi yang akurat.

Gambar 4.2 menunjukkan setup eksperimen sensor getaran. Fiber bundle dengan panjang total 2 meter yang terdiri dari bagian transmisi (Transmitting fiber/ TF) dengan diameter 1,0 mm dan 16 buah serat penerima (Receiving fiber/ RF) dengan diameter masing - masing fiber 0,25 mm. Setup eksperimen terdiri sumber cahaya laser berpanjang gelombang 633 nm, serat optic bundle sebagai probe, detector silicon, audio generator dan osiloskop digital.



Gambar 4.1. Diagram alir penelitian studi kinerja sensor getaran.



Gambar 4.2. Setup eksperimen sensor getaran.

Sinyal cahaya laser He-Ne masuk kedalam fiber transmisi dan kemudian meradiasi permukaan bahan jantung tiruan yang diletakkan di atas permukaan cekung load-speaker, kemudian berkas pantulan ini akan ditransmisikan melalui serat penerima dan masuk ke foto-

detektor. Eksperimen pengukuran frekuensi dilakukan untuk frekuensi masukan yang berbeda yang dikontrol oleh audio generator. Sinyal masukan dengan bentuk gelombang sinusoida dengan variasi frekuensi dalam jangkauan denyut getaran jantung manusia normal (50 – 200 bpm) akan diukur dalam eksperimen ini. Setiap frekuensi masukan dan luaran diukur dengan menggunakan osiloskop digital.

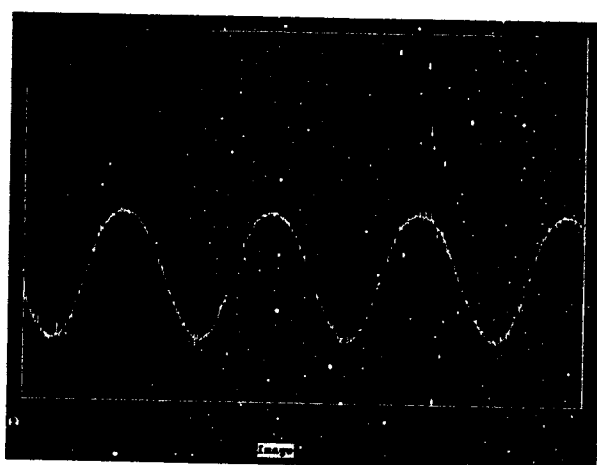
4.4. Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah frekuensi luaran sensor sebagai fungsi frekuensi masukan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji statistik beda- t (*t test for paired samples*). Bila nilai frekuensi luaran dan frekuensi masukan ini tidak ada beda signifikan, maka sensor frekuensi getaran yang telah dirancang dan dibuat dapat dipakai sebagai piranti ukur frekuensi getaran jantung buatan. Analisis data juga dilakukan dengan menggunakan nilai kemiringan (*slope*) antara frekuensi luaran dan masukan. Bila nilai slope sekitar satu, maka dapat disimpulkan bahwa frekuensi luaran sama dengan nilai frekuensi masukan yang diukur.

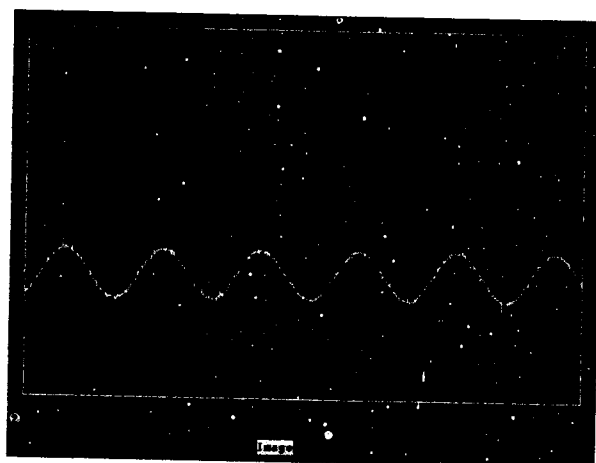
BAB V

HASIL LUARAN YANG DICAPAI

Hasil yang telah dicapai adalah deteksi *heart rate* yang dipublikasikan di Jurnal Optik (Elsevier), Volume 134 (2017) pages 28-32. Sedangkan di dalam laporan kemajuan ini telah dibuat draft paper dengan hasil-hasil berupa deteksi sinyal gelombang sinus, persegi dan segitiga sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 5.1 – 5.6 dan Tabel 5.1.

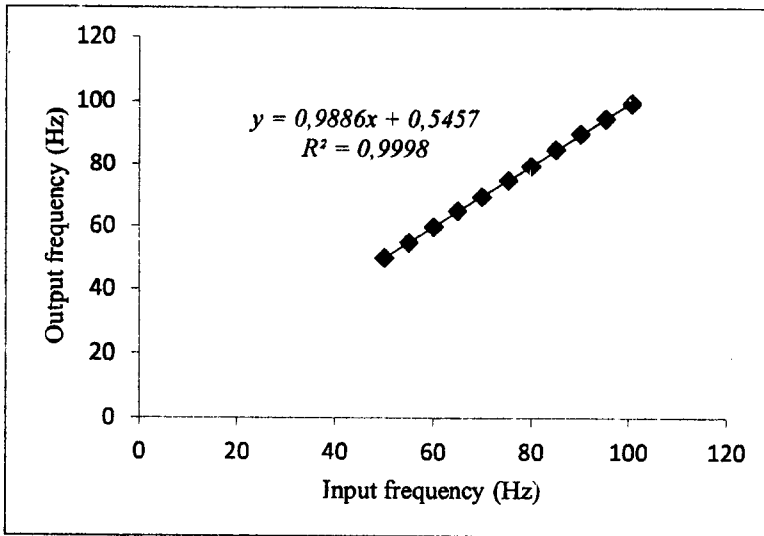


(a)

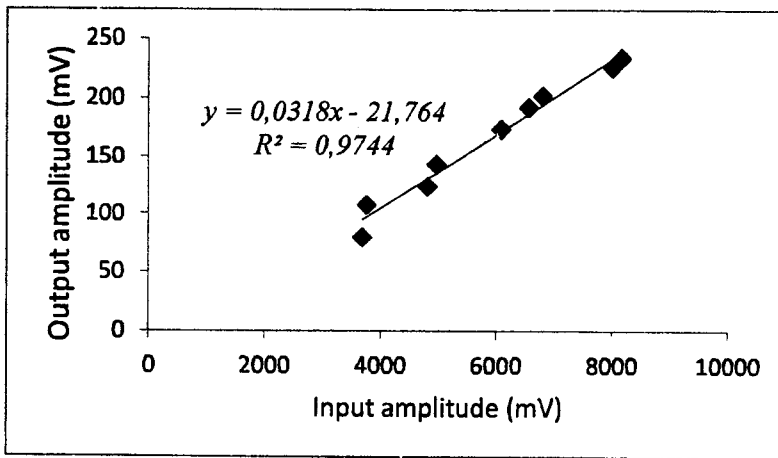


(b)

Gambar 5.1. The digital oscilloscope display of the input and output sine signal representation for (a) 50Hz and (b) 75 Hz.

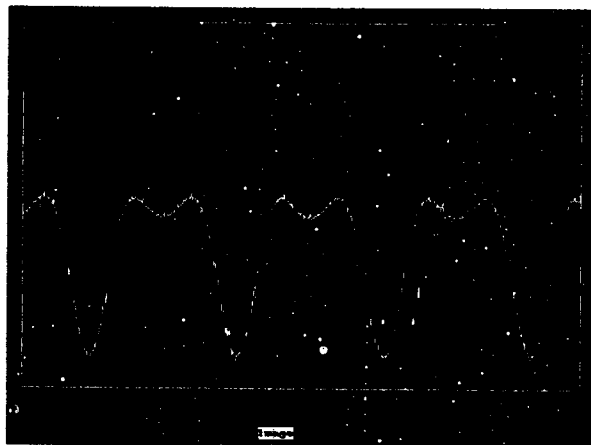


(a)

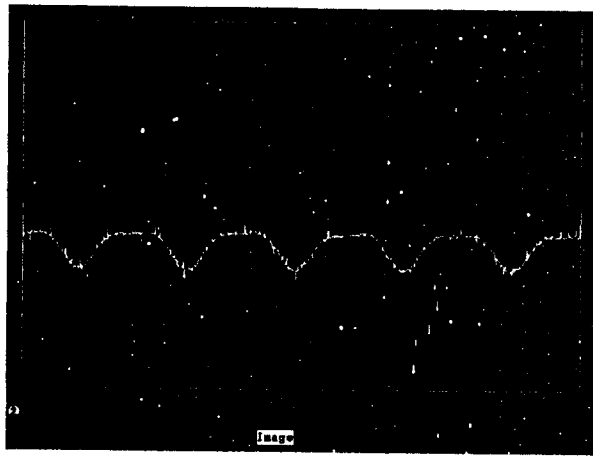


(b)

Gambar 5.2: The graph of (a) frequency of output signal against the frequency of given input sine from 50 to 100 Hz and (b) amplitude of output signal against the amplitude of given input sine at 50 Hz.

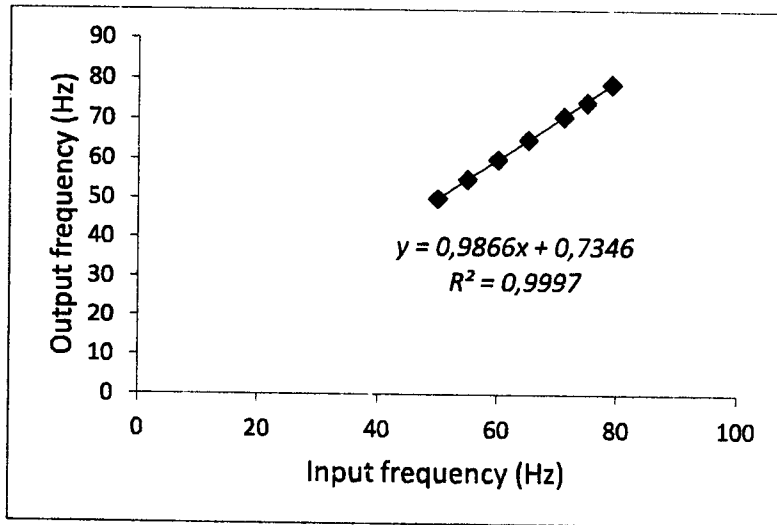


(a)

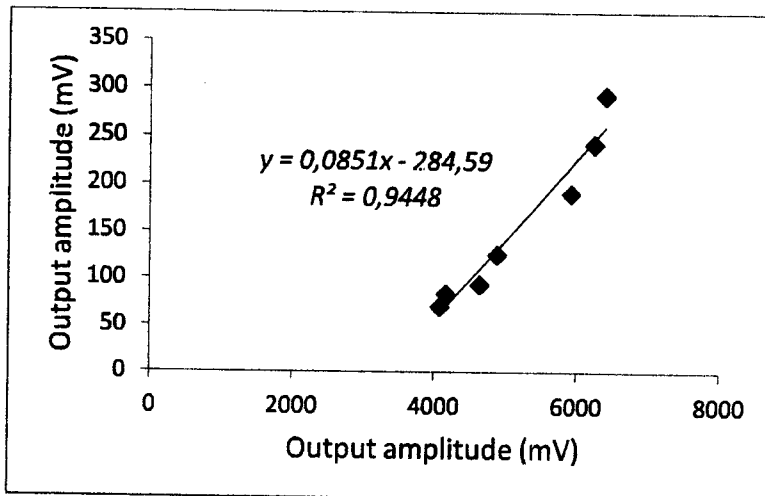


(b)

Gambar 5.3: The digital oscilloscope display of the input and output square signal representation for (a) 50 Hz and (b) 68 Hz.

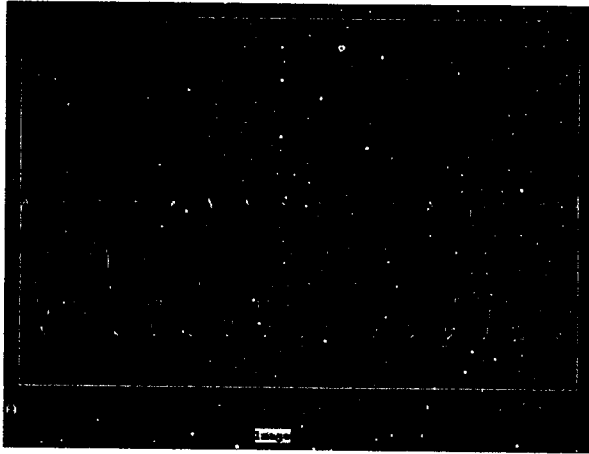


(a)

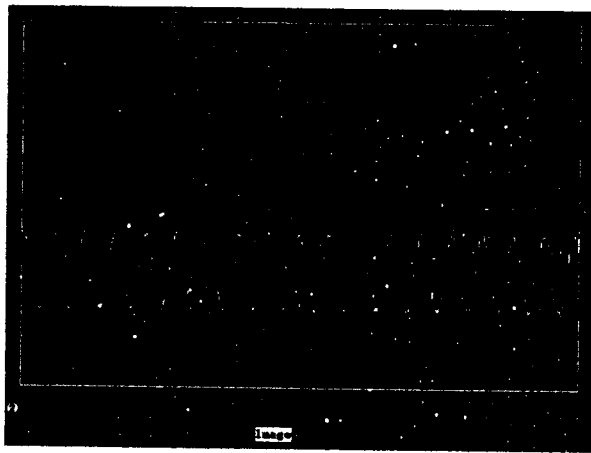


(b)

Gambar 5.4: The graph of (a) frequency of output signal against the frequency of given input square from 50 to 80 Hz and (b) amplitude of output signal against the amplitude of given input square at 50 Hz.

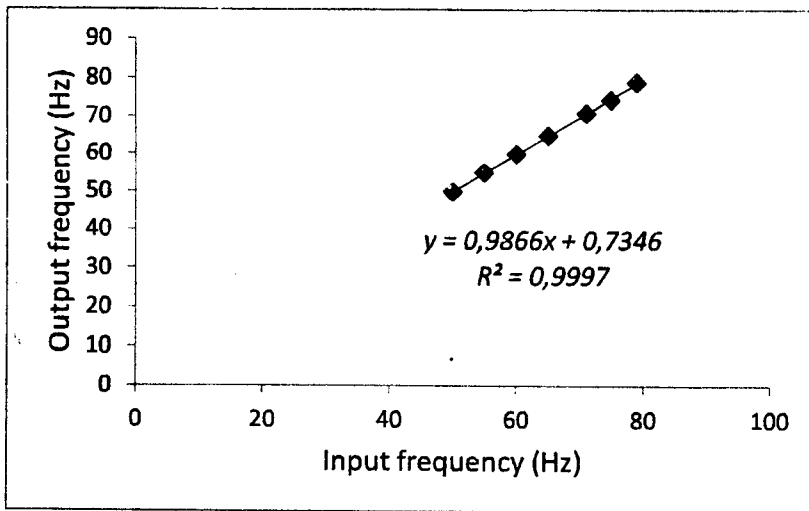


(a)

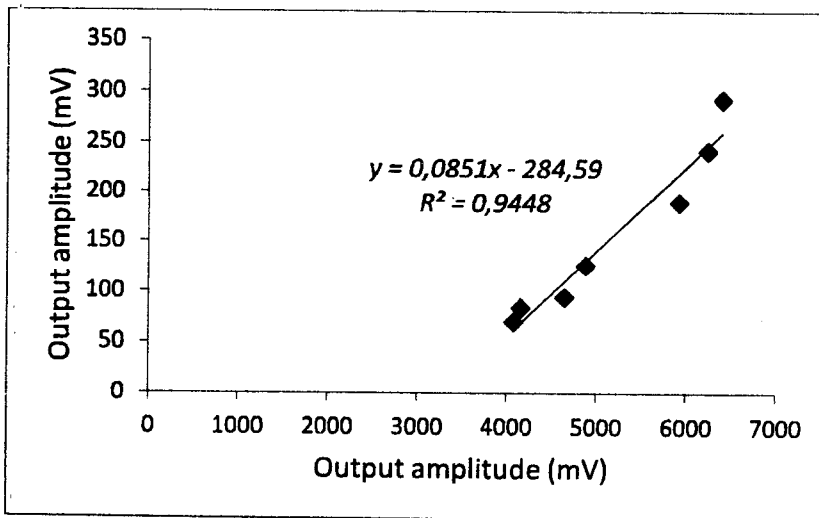


(b)

Gambar 5.5: The digital oscilloscope display of the input and output triangle signal representation for (a) 50 Hz and (b) 60 Hz.



(a)



(b)

Gambar 5.6: The graph of (a) frequency of output signal against the frequency of given input triangle from 50 to 80 Hz and (b) amplitude of output signal against the amplitude of given input triangle at 50 Hz.

Tabel 5.1 : Performance of the tunable vibration frequency sensor

Tunable frequency shape	Sine waveform (50-100 Hz)	Square waveform (50-80 Hz)	Triangle waveform (50-80 Hz)
Linearity	>99 %	>99 %	>99 %
Slope	0.98	0.98	0.98

BAB VI

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Rencana tahapan berikutnya adalah melanjutkan eksperimen sensor serat optik untuk deteksi sinyal detak jantung dengan menggunakan metode intensitas pantulan pada daerah frekuensi rendah, yaitu antara 50-200 Hz dengan menggunakan sinyal ECG asli (sinyal detak jantung PQRS) dan sumber cahaya laser hijau berpanjang gelombang 543 nm.



BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

An extrinsic fiber optic vibration sensor is proposed and investigated for a fiber optic displacement sensor based on a bundled multimode fiber to measure a vibration frequency ranging from 50 until 100 Hz. The front slope displacement sensor has a sensitivity of 0.44 8mV/ μm and linearity of 88% within a measurement range between 0-100 μm . By placing the diaphragm of the concave load-speaker within the linear range from the probe, the frequency of the tunable signal vibration can be measured. The graph of input frequency against output frequency for sine, square and triangle waveform, show very high linearity and sensitivity. Simplicity, long term stability, low power consumption, wide dynamic and frequency ranges, noise reduction, ruggedness, linearity and light weight make it promising alternative to other well-establish methods for vibration frequency measurement.

7.2. Saran

Berdasarkan penelitian tahap pertama yang telah dilakukan, beberapa saran perbaikan yang diusulkan adalah sebagai berikut,

1. Menggunakan sinyal frekuensi rendah di daerah sekitar 50 -200 Hz
2. Menggunakan sumber cahaya laser dengan panjang gelombang yang sesuai dengan reflektivitas permukaan model jantung.



DAFTAR PUSTAKA:

- Binu S., Pillai V.P.M., Chandrasekaran N., 2007, "Fibre optic displacement sensor for the measurement of amplitude and frequency of vibration", *Optics and Laser Tech.*, Vol. 29, pp. 1537-1543.
- B. Lee, 2003, "Review of the Present Status of Optikal Fiber Sensors," *Opt. Fiber Technol.*, Vol. 9, pp. 57-79.
- 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.
- Dziuda L., Lewandowski J., Skibniewski F., Nowicki G., 2012, Fibre-optic Sensor for Respiration and Heart Rate Monitoring in the MRI Environment, *Procedia Engineering* 47, Pages: 1291 – 1294.
- Faria J.B., 1998, " A theoretical analysis of the bifurcated fiber bundeldisplacement 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", *Optiks Communications*, Vol. 281, pp. 614-620.
- H. Z. Yang, S. W. Harun and H. Ahmad, 2011, "Theoretical and experimental studies on concave mirror-based fiber optik displacement sensor," *Sensor Review*, Vol. 31, pp. 65-69.
- He G. and Cuomo F.W., 1991, "Displacement response detection limit and dynamic range of fiber-optik 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 optikal fiber bundeldisplacement sensor", *Sensors and Actuators A*, Vol. 136, pp. 580-587.
- Irawati N., Nur Atiqah, M. Yusuf, Husna A. Rahman, **Moh Yasin**, Harith Ahmad, and Sulaiman W. Harun, 2017, Potassium permanganate (KMnO₄) sensing based on microfiber sensors, *Applied Optics*, Vol. 56, No. 2, Pages: 224-228.
- J. Hong Ng, Zhou X., Yang X., and Hao J., 2007, "A simple temperature-insensitive fiber Bragg grating displacement sensor", *Optiks Comm.*, Vol. 272, pp. 398-401.
- Jose A., Garcia-Souto and Horacio Lamela-Rivera, 2006, "High Resolution (<1 nm) Interferometric Fiber-Optik Sensor of Vibrations in High-Power Transformers," *Opt. Express*, Vol. 14, 9679-9686.
- Kapu H., Saraswat K., Ozturk Y. and Cetin A. E., 2017, Resting heart rate estimation

using PIR sensors, *Infrared Physics & Technology*, Volume 85, Pages 56–61.

K. S. Lim, M. R. A. Moghaddam, S. W. Harun and H. Ahmad, 2010, "Tunable-Spacing Multiwavelength Yb-Doped Fiber Laser (YDFL) Based on Temperature Sensitive Loop Mirror," *Lasers in Engineering*, Vol. 20, No. 1-2, pp. 39-45.

Kersey A.D., Berkoff T.A., and Morey W.W., 1993, *Opt. Lett.* Vol. 18, p. 1370.

Lee J.S. and Asundi A., 2002, "NDE of smart structures using multimode fiber optic vibration sensor", *NDT & E International*, Vol. 35, pp. 45-51.

M. Yasin, S. W. Harun, H. A. Abdul-Rashid, Kusminarto, Karyono and H. Ahmad, 2008, "The Performance of a Fiber Optik Displacement Sensor for Different Types of Probes and Targets," *Laser Phys. Lett.*, Vol. 5, pp. 55–58.

M. Yasin, S.W. Harun, Kusminarto, H. Ahmad, 2010, A simple design of vibration sensor using fiber optik displacement sensor, *Optoelectronics And Advanced Materials-Rapid Communications*, Vol. 4, Issue 11.

M. Yasin, S.W. Harun, W.A. Fawzi, Kusminarto, Karyono, H. Ahmad, 2009, "Lateral and axial displacements measurement using fiber optik sensor based on beam-through technique", *Microwave And Optik Technology Letters*, Vol. 51, pp. 2038-2040.

M. Yasin, H.A. Rahman, N. Bidin, S.W. Harun, H. Ahmad, 2012, "Fiber optik displacement sensor using fiber coupler probe and real objects", *Sensor Review*, Vol. 32 Iss: 3 pp. 212 – 216.

Park J., Kim M., Kim Y., Kim K., and Kim I., 1999, "Intensity-based fiber optik pressure sensor with an Au/NiCr/Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ diaphragm," *Proc. SPIE*, Vol. 3897, pp. 565–569.

R. Chen, G. F. Fernando, T. Butler, and R. A. Badcock, 2004, "A Novel Ultrasound Fibre Optik Sensor Based on a Fused-Tapered Optik Fibre Coupler," *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 15, pp. 1490–1495.

Y. Zhang, S. Li, Z. Yin, R. Pastore, K. O'Donnell, M. Pellicano, J. Kosinski and H. L. Cui, 2005, "Fiber Bragg Grating Sensors for Seismic Wave Detection," *Proc. SPIE*, Vol. 5855, pp. 1008–1011.

Yuwana Y. G. Y., Apsasri R and **Yasin M.**, 2017, Fiber optic sensor for heart rate detection, *Optik*, Vol. 134, pages: 28-32.

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

Zhao Y., Cai L. and Xue-gang Li, 2017, In-fiber modal interferometer for simultaneous measurement of curvature and temperature based on hollow core fiber, *Optics & Laser Technology*, Volume 92, Pages 138–141.

Zhang C., Wu X., Zhang L., He X. and L. Zhao, 2017, Simultaneous detection of blink and heart rate using multi-channel ICA from smart phone videos, *Biomedical Signal Processing and Control*, Volume 33, Pages 189–200.

Microwave and Optical Technology Letters

Microwave and
Optical Technology Letters

A Design of Vibration Tunable Signals Sensor using Fiber Bundled Probe

Journal:	<i>Microwave and Optical Technology Letters</i>
Manuscript ID	Draft
Wiley - Manuscript type:	Research Article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Yasin, M; Airlangga University, Physics Samian, Samian; Physics Zaidan, Andi Harun, Sulaiman Wadi; University of Malaya, Department of Electrical Engineering
Keywords:	Fiber optic, fiber optic vibration sensor, bundled probe and tunable signals

SCHOLARONE™
Manuscripts

John Wiley & Sons

A Design of Vibration Tunable Signals Sensor using Fiber Bundled ProbeM. Yasin^{1,*}, M. Zulkarnaen¹, Samian¹, A. H. Zaidan¹, Y. G. Y. Yhuwana¹ and S. W. Harun^{1,2}¹*Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Airlangga University, Surabaya 60115, Indonesia.*²*Department of Electrical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia***Email: yasin@fst.unair.ac.id***Abstract:**

A low cost and simple of vibration sensor of tunable signals is proposed and examined utilizing fiber optic displacement based on intensity technique. The front slope has a sensitivity of 0.44 mV/ μm and linearity of 88% within a measurement range between 0-100 μm , while for the back slope has a sensitivity of 0.06 mV/ μm and linearity of 97% within a range of 150-750 μm . By placing the diaphragm of the concave surface load-speaker within the linear range (in the back slope) from the probe, the frequency of the vibration can be measured with an error percentage of less than 0.2%. The graph of input against output frequency of sine, square and triangle waveform show very high linearity up to 99%. Slope for tunable signals (e.g. sine, square and triangle frequency range) are obtained at 0.98 for all waveforms. Effortlessness, long-haul security, low power utilization, wide frequency ranges, lower noise, toughness, linearity and light weight make it a promising option in contrast to other well-set up strategies for vibration frequency detection.

Keywords: *Fiber optic, fiber optic vibration sensor, bundled probe and tunable signals.*

1. Introduction:

Fiber optic innovation offers wide applications in numerous zones, for example, communication, information transmission and additionally the sensor. The last mentioned, which comes either as natural or outward fiber sensor are promising detecting approach for an extensive variety of physical factors, for example, displacement, weight, temperature, electric field and so forth [1- 3]. There are many advantages of fiber optic sensor such as, electrical isolation and immunity from electromagnetic fields, small dimension, and compatibility with other optical fiber devices. One of the important applications offered by fiber sensors is in the area of vibration analysis. Vibration sensor is very crucial in the medical (e.g. heart rate signal), automotive industry, aircraft, and other high precision technology. Recent progress shows various types of fiber-optic vibration sensors have been fabricated such as by fiber interferometry technique [4], fiber bragg grating (FBG) [5], over-coupled fused coupler (OCFC) [6] and also bundled fiber optic. The fiber interferometers operate based on the phase modulation of the input signal and thus it is complicated to implement on-site, rather expensive and prone to temperature fluctuation [7]. FBG sensor must use mechanical devices to improve their sensitivity, while the use of OCFC requires three fiber lines to transmit the input and output of the sensor. Bundled fiber based sensors only operate within low frequency range (less than 500 Hz) [8, 9].

On the other hand, plastic optical fibers (POFs) have gain a tremendous interest in recent years due to their great demands for the transmission and processing of optical signals in the optical fiber communication system [10]. Furthermore, they are inexpensive and have high mechanical flexibility and numerical aperture. An intensity modulated fiber optic displacement sensor has also been demonstrated to be efficient for different applications. They are relatively inexpensive, easy to fabricate and suitable for employment in harsh environments. In this paper, a relatively simple, low cost, yet very efficient bundled fiber optic displacement sensor is proposed and demonstrated for the measurement of frequency of vibration of a load speaker in the range of 50-100 Hz. The range is a low frequency and suitable for heart beat detection.

2. Experimental Setup:

Figure 1 shows the experimental set-up for the proposed fiber displacement vibration sensor. It consists of a 633nm light source, bundled plastic optical fiber, load speaker, audio generator, silicon detector and a digital storage oscilloscope. Two meters long bundled fiber consisting one transmitting fiber (TF) with a diameter, $d=1.0\text{mm}$ and 16 receiving fibers (RF)

with $d=0.25\text{mm}$ was used as a probe. The light source used is a He-Ne laser with a peak wavelength of 633 nm. Silicon photo-detector was employed as it provides high speed detection with an optical response of 400- 1100 nm, making it compatible with a wide range of visible light including the 633 nm visible He-Ne laser used in this experiment.

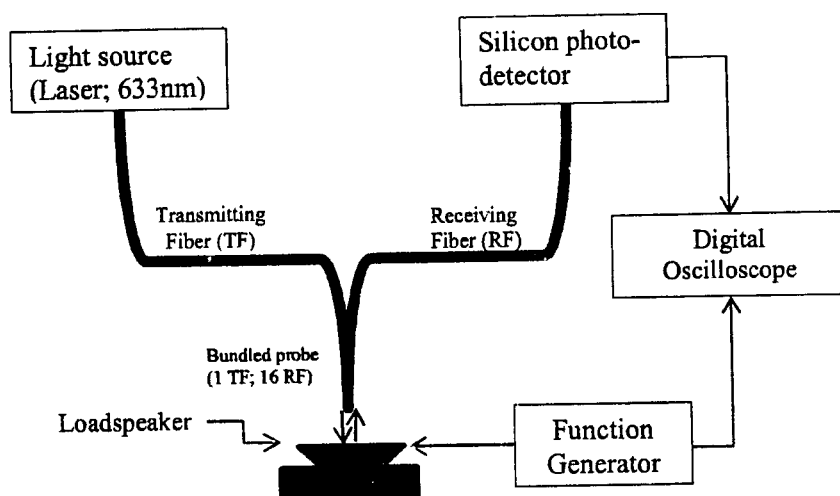


Figure 1: Experimental setup.

The light from He-Ne laser enters the transmitting fiber and then radiates to the concave diaphragm of the loadspeaker, and the light reflected from the diaphragm is transmitted through the receiving fiber to the silicon photodetector. Firstly, the calibration measurement was made for the diaphragm of the load-speaker at zero vibration frequency. The amplitude of output signal is measured from the digital storage oscilloscope for every $50\mu\text{m}$ increase in displacement from the diaphragm of the speaker. A graph of intensity output signal against displacement is drawn and the linear range on the front slope region is identified. Then an experiment is carried out where the speaker is turned on to emit signals of different frequencies controlled by the tunable function generator. Input signal with sinusoidal shape was used throughout the experiment. The frequency range where choose as data sampling from 50 to 100 Hz for sine, square and triangle waveforms. For each input frequency, the frequency of output signal was measured from the digital oscilloscope.

3. Results and Discussions:

Figure 2 shows the variation of the output voltage signal against displacement from the diaphragm of the load-speaker at zero vibration frequency (i.e. when the speaker is off).

The output signal is minimal at zero displacement because the light cone does not reach the RF cores. While with the increasing displacement, the volume of the reflected light cone increases and starts overlapping with RF cores thus gives a small output signal. Larger overlapping volume leads to further increase in the output signal until it reaches the maximum value where the reflected cone power falls within the surface area of the RF. Beyond the peak value displacement, the reflected cone size is bigger than the size of the RF. Therefore, only a fraction of the power of the reflected light will be detected, where its effect can be seen as almost an inverse square law relationship between the output signal and the displacement. A linear range of linearity more than 88 % is obtained in the front slope of the profile as shown in Figure 2. A linear range has a very short, then this range can not be used as the position of the probe for vibration measurement. For the back slope, a linear range of 600 μm was obtained starting from the distance of 150 μm until 750 μm with the sensitivity of the back slope is calculated as 0.06 mV/ μm .

Table 1 summarizes the performance of the displacement sensor in the front and back slope regions. The back slope linear region with lower sensitivity will be used in the vibration sensor measurement. In this work, the initial position of the loadspeaker is fixed within the linear range of the back slope for vibration measurement. The stability measurement of the sensor's output signal at the initial position is shown in the inset of Figure 2. We obtain a very stable output voltage for the displacement sensor system with the the measurement error of less than 0.2% when the loadspeaker is turned off.

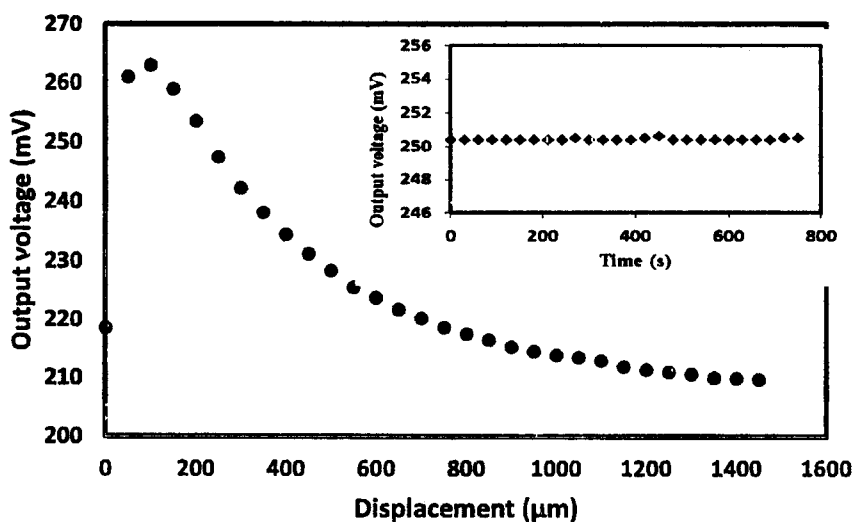


Figure 2: The variation of the output voltage with the displacement of the fiber optic probe from the diaphragm of the load-speaker. Inset shows the stability of the sensor with error measurement of 0.05mV.

Table 1: The linear region of fiber optic displacement sensor

Front slope			Back slope		
Sensitivity (mV/ μ m)	Linear range (μ m)	Resolution (μ m)	Sensitivity (mV/ μ m)	Linear range (μ m)	Resolution (μ m)
0.444	0-100	0.1	0.066	150-750	0.76

Figures 3, 4 and 5 show the measured frequency of the load speaker against the input driving frequency of audio generator for sine, square and triangle signals, respectively. In this experiment, the gap between the mirror and fiber bundle probe is fixed at the back slope range (150-750 μ m), which is the linear range of displacement sensor when the speaker is off. The speaker frequency is varied from 50 to 100 Hz, 50 to 80 Hz and 50 to 80 Hz for sine, square and triangle signals respectively. As can be seen from Figures 3, 4 and 5, the output signal carries the same sinusoidal, square and triangle shape as the input signal for each measurement. Figures 6(a), 7(a) and 8(a) show the relation between the input and output frequency of the sensors with sine, rectangular and triangle signal respectively. As shown in these figures, the input frequency is almost similar to output frequency with a linearity of more than 98% for all frequency shapes. Figures 6(b), 7(b) and 8(c) show the relation between the input and output amplitude of the sensors with sine, rectangular and triangle signal respectively. As shown in these figures, the measured output amplitudes are a linear function of the input amplitude with slope obtained is more than 90% for all frequency shapes. The performance of fiber optic vibration frequency sensor is summarized in Table 2. The stability measurement of the sensor's is also investigated, which indicates the percentage of the measurement error of less than 0.2%.

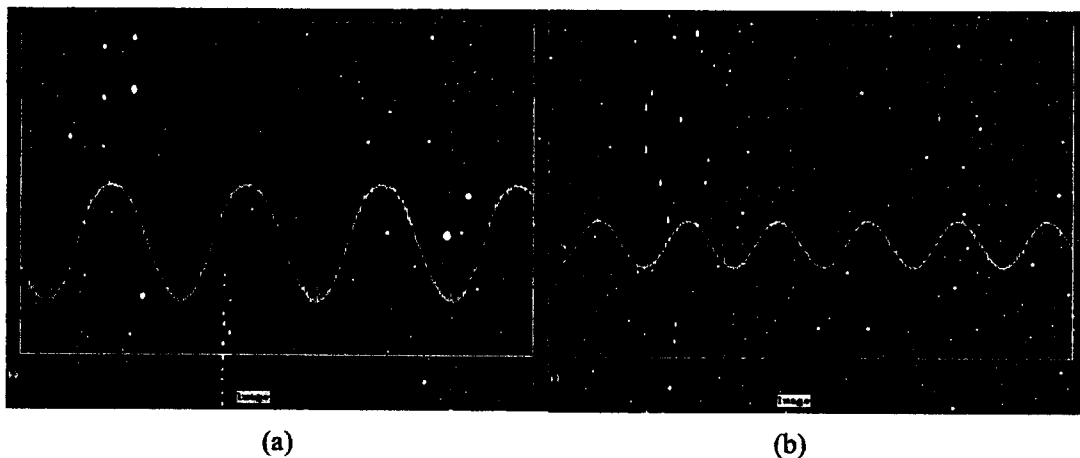


Figure 3. The digital oscilloscope display of the input and output sine signal representation for (a) 50 Hz and (b) 75 Hz.



Figure 4. The digital oscilloscope display of the input and output square signal representation for (a) 50 Hz and (b) 68 Hz.

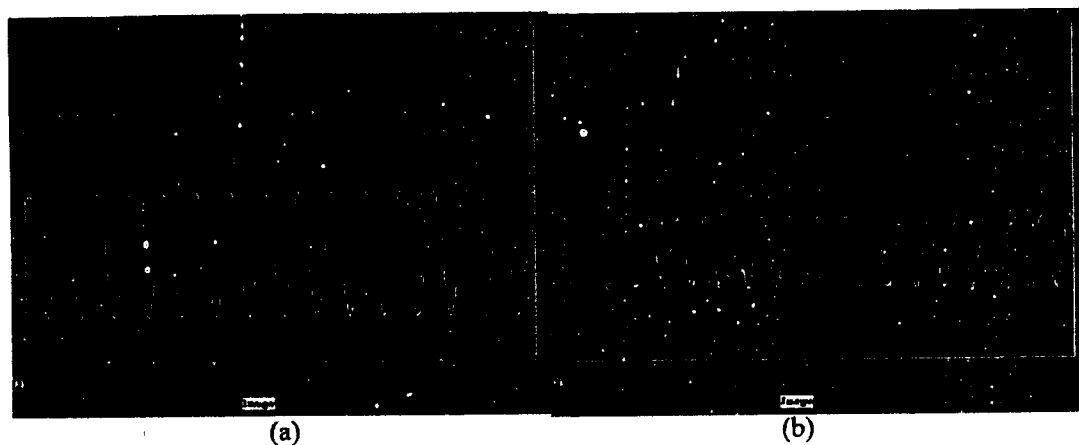


Figure 5. The digital oscilloscope display of the input and output triangle signal representation for (a) 50 Hz and (b) 60 Hz.

The results indicates that the developed sensor system is capable to measure a high performance frequency vibration as well as to be able to detect the sinusoidal, square and triangle shape of the input vibration signals. The sensor setup is designed so that the ambient condition is constant throughout the experiment thus minimizing its effect on the output signal. To reduce the mechanical vibration, the experimental setup has been primarily rigidly attached to the vibration free table. The sensor system is very suitable for real field applications as its simplicity, high sensitivity as well as low cost of the fabrication.

Microwave and Optical Technology Letters

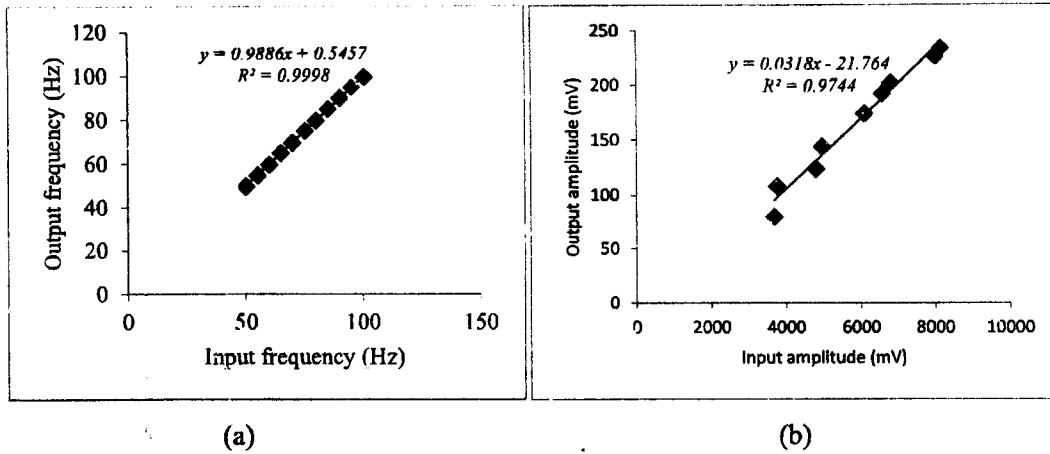


Figure 6: The graph of (a) frequency of the output signal against the frequency of given input sine from 50 to 100 Hz and (b) amplitude of output signal against the amplitude of given input sine at 50 Hz.

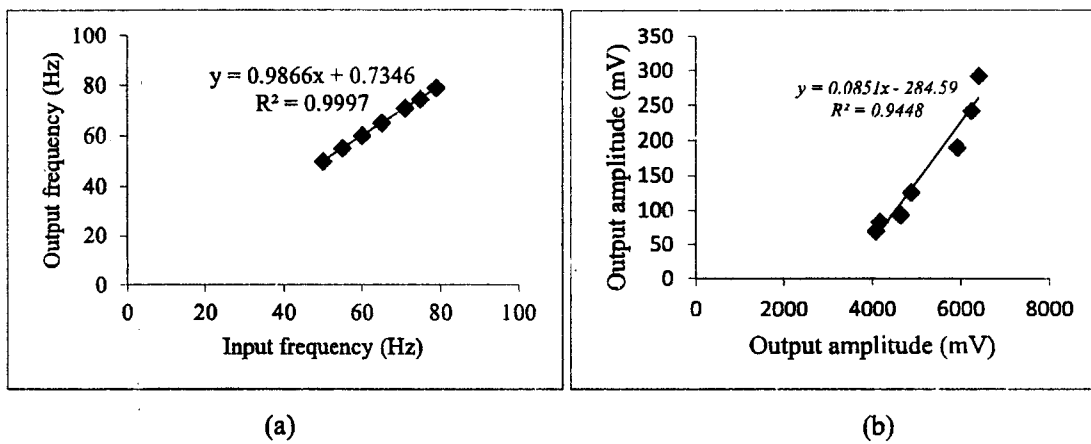


Figure 7: The graph of (a) frequency of output signal against the frequency of given input square from 50 to 80 Hz and (b) amplitude of output signal against the amplitude of given input square at 50 Hz.

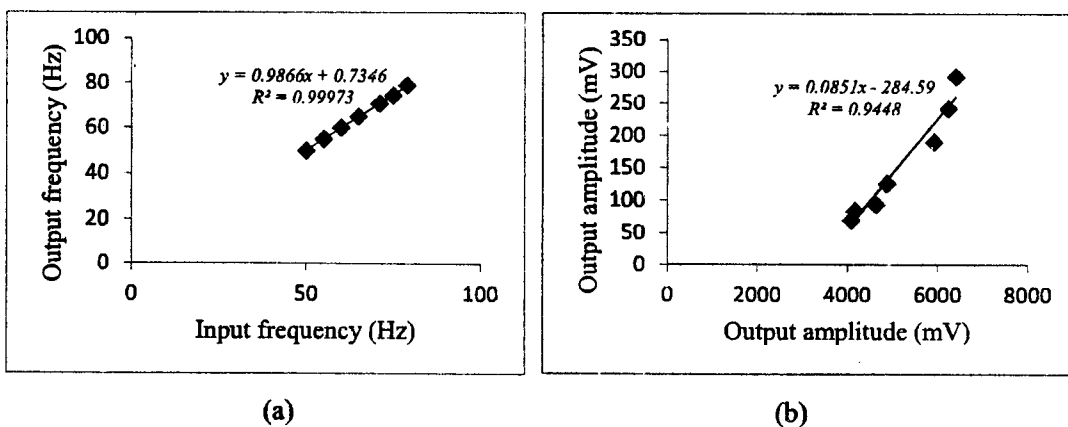


Figure 8: The graph of (a) frequency of the output signal against the frequency of giving an input triangle from 50 to 80 Hz and (b) amplitude of output signal against the amplitude of given an input triangle at 50 Hz.

Table 2: Performance of the tunable vibration frequency sensor

Tunable frequency shape	Sine waveform (50-100 Hz)	Square waveform (50-80 Hz)	Triangle waveform (50-80 Hz)
Linearity	More than 99 %	More than 99 %	More than 99 %
Slope	0.98	0.98	0.98

4. Conclusions:

An extrinsic fiber optic vibration sensor is proposed and investigated to measure a tunable vibration frequency ranging from 50 to 100 Hz based on fiber optic displacement sensor using a polymer multimode bundled fiber as a probe. The front slope displacement sensor has a sensitivity of 0.44 mV/ μm and linearity of 88 % within a measurement range between 0 – 100 μm . By placing the diaphragm of the concave load-speaker within the linear range of the probe, the frequency of the tunable vibration can be measured. The graph of input frequency against output frequency of sine, square and triangle waveform frequency, show very high linearity of more than 0.98. Simplicity, long term stability, low power consumption, wide dynamic and frequency ranges, noise reduction, ruggedness, linearity and light weight make it a promising alternative to other well-establish methods for vibration frequency measurement.

Acknowledgements:

This work was supported by Indonesia Government through Competencies Based Research Grant (PBK; No. 01/E/KPT/ 2018) and Airlangga University Grant (2018).

References:

1. S. Maske, P.B. Buchade, A.D. Shaligram, A novel fiber bundle configuration for concurrent improvement of displacement range and sensitivity of self-referenced fiber optic displacement sensor, *Optics and Laser Technology* 98 (2018), 339–343.
2. Qiang Zhao, Hong-kun Zheng, Ri-qing Lv, Ya-fei Gu, Yong Zhao, Yang Yang, Novel integrated optical fiber sensor for temperature, pressure and flow measurement, *Sensors and Actuators A* 280 (2018), 68–75.

3. Fei Xu, Baojin Peng, Daru Chen, Lu Wang, Xueqin Lei, and Qingguo Shi, A Novel Strain Sensor Based On A Dual-Core Photonic Crystal Fiber, *Microwave and Optical Technology Letters* 56 (2014), 2778-2780.
4. Pu Wei, Xuekang Shan, Xiaohan Sun, Frequency response of distributed fiber-optic vibration sensor based on nonbalanced Mach-Zehnder interferometer, *Optical Fiber Technology* 19 (2013), 47-51.
5. Yao Guozhen, Li Yongqian, Yang Zhi, A novel fiber Bragg grating acceleration sensor for measurement of vibration, *Optik* 127 (2016), 8874-8882.
6. R. Chen, G. F. Fernando, T. Butler, and R. A. Badcock, A Novel Ultrasound Fibre Optic Sensor Based on a Fused-Tapered Optical Fibre Coupler, *Meas. Sci. Technol.*, 15 (2004), 1490-1495.
7. Yong Zhao, Feng Xia, Mao-qing Chen, Ri-qing Lv, Optical fiber low-frequency vibration sensor based on Butterfly-Shape Mach-Zehnder Interferometer, *Sensors and Actuators A* 273 (2018), 107-112.
8. Hao Zhang, Robert Kuschmierz, Jürgen Czarske, Miniaturized interferometric 3-D shape sensor using coherent fiber bundles, *Optics and Lasers in Engineering* 107 (2018), 364-369.
9. Y.G. Yhun Yhuwana, R. Apsari, M. Yasin, Fiber optic sensor for heart rate detection, *Optik* 134 (2017), 28-32.
10. H. Z. Yang, S. W. Harun and H. Ahmad, Theoretical and experimental studies on concave mirror-based fiber optic displacement sensor, *Sensor Review* 31 (2011), 65- 69.

