

**PENGEMBANGAN SENSOR TEKANAN BERBASIS POLYMER OPTICAL FIBER
(POF) YANG DISISIPI GEL
THE DEVELOPMENT OF PRESSURE SENSOR BASED POLYMER OPTICAL FIBER
(POF) INSERTED GEL**

Aisyah Ninda Kusuwa Wati, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Heru Kuswanto*, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: herukus61@uny.ac.id (corresponding author)

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian tekanan terhadap perubahan intensitas keluaran fiber optik, pemberian berbagai macam gel pengisian pada sambungan terhadap keluaran fiber optik dan untuk mengetahui sensitivitas dan linearitas terbaik pada sensor tekanan fiber optik. Fiber optik yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH-4001-1.3. *Polymer Optical Fiber* ini memiliki indeks bias *core* sebesar 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. Gel disisipi diantara fiber optik dengan sepanjang 1 cm di dalam pipa kecil, kemudian diberi variasi tekanan sehingga mempengaruhi intensitas cahaya. Daya optik keluaran dari *Polymer Optical Fiber* dideteksi menggunakan *Optical Power Meter* (OPM). Sumber cahaya yang digunakan adalah laser HeNe dengan panjang gelombang 632,8 nm dan daya keluaran 5 mW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya keluaran fiber optik mengalami kenaikan seiring dengan penambahan tekanan. Pemberian tekanan pada penyambungan fiber optik dengan menggunakan berbagai jenis gel menunjukkan bahwa gel yang memiliki nilai keluaran intensitas cahaya terbaik yaitu gel pulpen dengan warna gel kuning. Nilai sensitivitas terbaik pada gel pulpen dengan warna gel kuning pada jarak 0,5 cm dengan gradien sebesar $(0,0035 \pm 0,0028)$ dBm/cm. Sedangkan linearitas terbaik terdapat pada jenis gel pulpen dengan warna gel bening pada perlakuan dengan jarak 0 cm yaitu sebesar 0,99919.

Kata Kunci: *polymer optical fiber (POF), gel, sensor tekanan.*

Abstract. This study aimed to determine the effect of pressure on the output intensity of optical fiber, determine the impact of filling gel variations on the conjunction of the output optical fiber, and obtain the best sensitivity and linearity of the pressure sensor on optical fiber. The optical fiber used was *Polymer Optical Fiber* (POF) type SH-4001-1.3. *Polymer Optical Fiber* had a 1.49 core refractive index and 1.41 cladding refractive index. Gel was inserted between the optical fiber with a 1 cm length in the small pipe, and then the gel was given pressure variations to affect the intensity. Optical power output of *Polymer Optical Fiber* (POF) was detected using an *Optical Power Meter* (OPM). The light source was HeNe laser with 632.8 nm wavelength and 5 mW output powers. The study's results indicated that the output intensity of optical fiber increased by adding pressure. The giving of pressure variations to the optical fiber conjunction using different gel types showed that the gel with the best output intensity was the yellow gel pen. The yellow gel pen had the best sensitivity value with 0,5 cm distance and (0.0035 ± 0.0028) dBm/cm gradient. At the same time, the best linearity was had by a transparent gel pen with 0 cm distance and 0.99919 linearity.

Keywords: *polymer optical fiber (POF), gel, pressure sensor*

PENDAHULUAN

Teknologi fiber optik selalu berhadapan dengan masalah bagaimana cara agar lebih banyak informasi yang dapat dibawa, lebih cepat dan lebih jauh penyampaiannya dengan tingkat kesalahan yang sekecil-kecilnya. Informasi yang dibawa berupa sinyal digital, digunakan besaran kapasitas transmisi diukur dalam 1 Gb.km/s yang artinya 1 milyar bit dapat disampaikan tiap detik melalui jarak 1 km.

Fiber optik dikenal dengan dua bahan dasar yaitu gelas dan plastik. Fiber optik berbahan dasar gelas lebih banyak digunakan sebagai media komunikasi jarak jauh, sedangkan fiber optik plastik lebih banyak dimanfaatkan sebagai sensor. Perlakuan pada fiber optik plastik itu sendiri disesuaikan dengan fungsi sensornya. Perlakuan ini dapat berupa mengganti *cladding*, memanaskan bahan sambungan, ataupun dengan membuat bengkokan pada fiber optik. Saat ini sudah dikembangkan pemanfaatan fiber optik untuk sensor tekanan. Perubahan intensitas cahaya pada fiber optik disebabkan antara lain oleh absorpsi, hamburan Rayleigh, pemantulan Fresnel serta pelemahan akibat pembengkokan (Crisp & Elliot, 2008).

Dalam penyambungan fiber optik agar cahaya tidak terhambur maka teknik pemotongan harus tepat. Untuk mencegah cahaya berbelok atau terhambur pada titik sambung, maka permukaan ujung fiber harus datar. Karena ujung-ujung fiber yang disambungkan tidak dapat saling menempel sepenuhnya, maka selalu terdapat celah di titik persambungan. Cahaya yang keluar dari ujung fiber yang satu akan terlebih dulu melewati daerah diskontinuitas (celah) ini sebelum masuk ke ujung fiber di depannya dan menyebar dengan sudut sebesar kerucut penerimaan. Akibatnya, tidak semua bagian dari cahaya yang hilang itu akan jatuh di daerah inti fiber di depannya dan hilang menjadi rugi daya. Rugi daya ini dapat ditekan lebih jauh lagi jika mengisi daerah celah dengan larutan gel yang berindeks bias sama dengan inti (*index-matching gel*), sehingga jalur yang dilalui cahaya akan mendekati kontinu. Gel semacam itu biasanya digunakan untuk mengurangi efek pemantulan Fresnel, namun dapat membantu pula memperkecil rugi daya yang timbul di titik persambungan. Jika sumbu kedua fiber yang disambungkan berselisih posisi atau tidak saling berhimpit, maka daerah inti kedua fiber tidak akan sepenuhnya bersambungan. Akibatnya, sebagian cahaya yang keluar dari inti fiber yang satu tidak dapat masuk ke inti fiber yang lainnya dan hilang menjadi rugi daya (Crisp & Elliot, 2008).

Penelitian ini menentukan pengaruh jarak, pengaruh tekanan dan berbagai jenis pengisian pada sambungan fiber optik. Jenis pengisian yang digunakan yaitu gel pulpen dan gel rambut, masing-masing dengan warna gel kuning dan bening. Untuk jarak dari gel ke fiber yang digunakan 0 cm, 0,3 cm dan 0,5 cm sedangkan pada massanya dilakukan untuk setiap kelipatan 20 gram (hingga 300 gram). Sebagai sumber cahaya digunakan laser Helium-Neon dengan emisi keluaran 5 mW dan $\lambda = 632,6$ nm dan sebagai sisi ukur daya digunakan *Optical Power Meter* (OPM).

METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari hingga Mei 2016 di Laboratorium Spektroskopi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

Prosedur Penelitian

Tahap penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai indeks bias gel pada persambungan fiber optik dengan menggunakan refraktometer. Penggunaan refraktometer yaitu mengatur suhu ruangan sebesar 20° dan refraktometer dikalibrasi menggunakan aquades murni sebelum digunakan. Selanjutnya penentuan indeks bias dilakukan dengan meneteskan gel yang akan ditentukan indeks biasnya pada tempat sampel refraktometer. Prisma yang telah ditetesi sampel ditutup

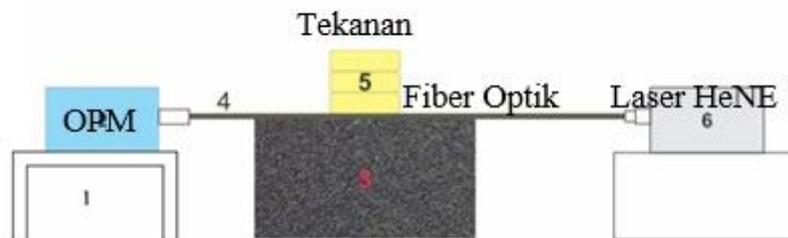
dengan perlahan hingga madu merata pada permukaan prisma. Selanjutnya membaca skala yang ada pada refraktometer dengan cara meneropong melalui lensa refraktometer ke arah sumber cahaya. Skala yang terbaca dalam satuan brix dikonversi ke dalam index bias menggunakan tabel konversi brix ke indeks bias. Refraktometer dibersihkan menggunakan aquades sebelum memulai pengukuran indeks bias gel selanjutnya.

2. Memasukkan gel dengan cara menyuntikkan gel pada selang kecil. Gel sepanjang 1 cm diberikan pada persambungan fiber optik seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Persambungan fiber optik

3. Merangkaian alat seperti pada Gambar 2 dimulai dengan memotong kabel fiber optik plastik sepanjang 13 cm sebanyak 2 buah. Kedua ujung fiber optik diampelas terlebih dahulu agar rata/datar. Satu ujung fiber optik dihubungkan pada laser sebagai sumber cahaya, sedangkan ujung satunya dihubungkan pada OPM sebagai detektor cahaya keluaran fiber optik.



Gambar 2. Desain alat penelitian

4. Mengukur daya optik yang diterima OPM untuk setiap pertambahan tekanan. Percobaan diulang dengan menggunakan jenis gel yang berbeda dan pemberian jarak dari gel hingga fiber optik (0 cm, 0,3 cm dan 0,5 cm}.

Teknik Pengambilan Data

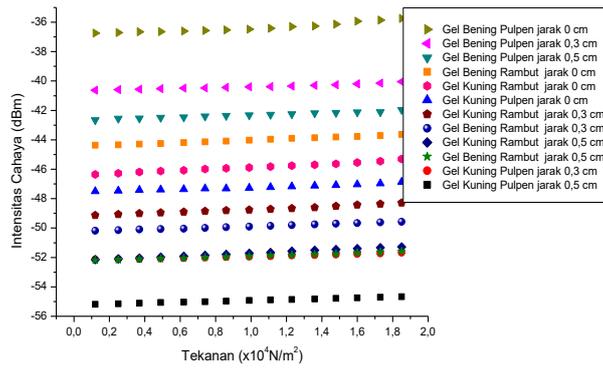
Pengambilan data dilakukan dengan mencatat intensitas keluaran fiber optik saat sebelum diberi persambungan gel, setelah diberi persambungan gel dan setiap pertambahan tekanan. Tekanan yang diberikan dari $0,12 \times 10^4$ hingga $1,85 \times 10^4$. Intensitas keluaran cahaya dicatat tiap pertambahan tekanan yang diberikan. Sinar laser yang ditransmisikan melalui fiber optik dideteksi oleh OPM dinyatakan dalam satuan desibel milliwatt (dBm).

Teknik Analisis Data

Analisis digunakan untuk mengetahui sensitivitas dan linearitas sensor fiber optik yang digunakan. Data yang telah didapatkan diubah ke dalam bentuk grafik dan dibuat plot linier untuk hubungan antara suhu lingkungan terhadap atenuasi fiber optik.

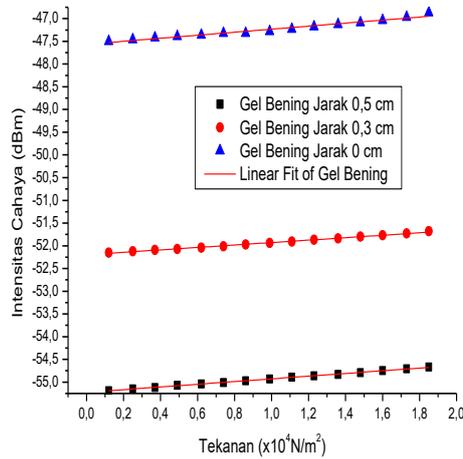
HASIL

Setelah melakukan pengambilan data di laboratorium spektroskopi maka diperoleh daya optik keluaran yang dinyatakan dalam satuan desibelmeter (dBm). Daya optik keluaran dideteksi dengan menggunakan alat OPM. Cahaya laser Helium-Neon ditransmisikan oleh POF. Fiber optik yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber* tipe SH-4001-1.3. Pada penelitian ini dilakukan pemberian perlakuan penambahan tekanan, penggunaan jenis gel yang berbeda dan pemberian jarak antara persambungan gel dengan fiber optik (0 cm, 0,3 cm dan 0,5 cm). Gambar 3 menunjukkan hubungan tekanan dengan intensitas keluarannya.

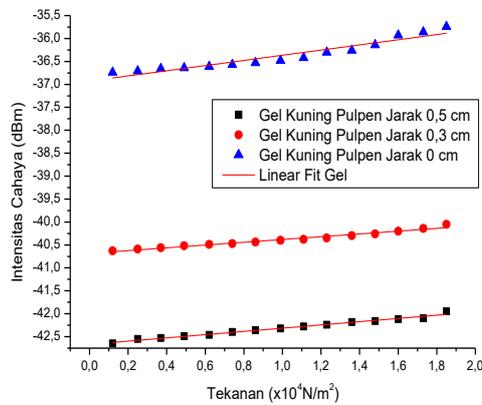


Gambar 3. Grafik hubungan antara tekanan dan intensitas cahaya pada gel rambut dan gel pulpen

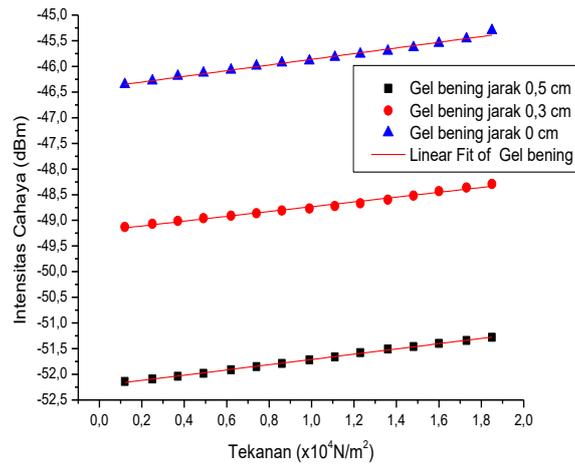
Pada Gambar 3 adalah perbedaan plot untuk semua jenis gel. Untuk grafik masing-masing jenis gel ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



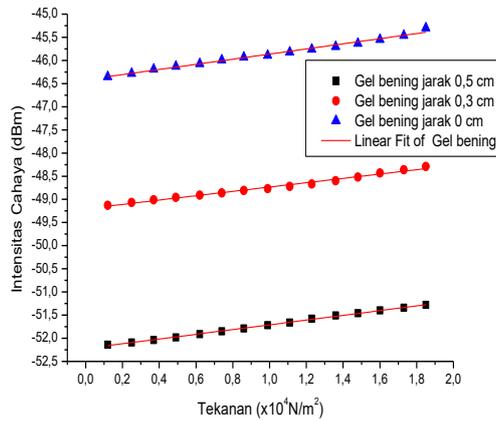
Gambar 4. Grafik hubungan antara intensitas cahaya terhadap tekanan dengan gel pulpen bening



Gambar 5. Grafik hubungan antara intensitas cahaya terhadap tekanan dengan gel pulpen kuning



Gambar 6. Grafik hubungan antara intensitas cahaya terhadap tekanan dengan gel rambut bening



Gambar 7. Grafik hubungan antara intensitas cahaya terhadap tekanan dengan gel rambut kuning

PEMBAHASAN

1. Perambatan Cahaya Dalam Fiber Optik

Proses perambatan cahaya dimulai dengan menentukan nilai *Numerical Aperture* (NA). Untuk menentukan nilai *Numerical Aperture* maka terlebih dahulu menentukan indeks bias *core* dan *cladding* dengan menggunakan persamaan (1) berikut:

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2} \quad (1)$$

$$NA = \sqrt{1,49^2 - 1,41^2}$$

$$NA = 0,48$$

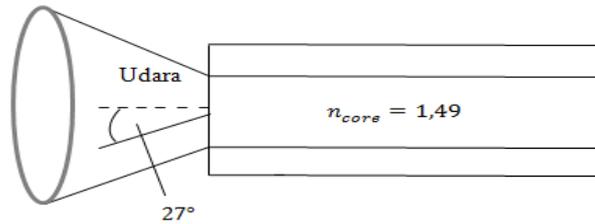
Selanjutnya menghitung nilai sudut penerimaannya dari nilai *Numerical Aperture*, karena sudut penerimaan mempengaruhi seberapa cahaya yang diterima masuk ke dalam fiber optik. Untuk mengetahui nilai sudut penerimaannya menggunakan persamaan (2) berikut:

$$\text{sudut penerimaan} = \arcsin NA \quad (2)$$

$$\text{sudut penerimaan} = \arcsin 0,48$$

$$\text{sudut penerimaan} = 28,8^\circ$$

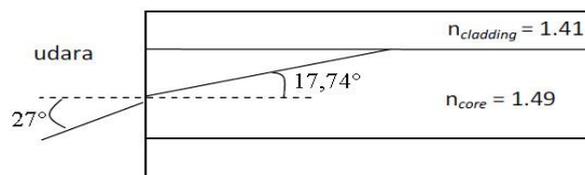
Setelah sudut penerimaan diketahui selanjutnya menentukan sudut datang dari laser Helium Neon yang masuk ke dalam fiber optik. Dalam penelitian ini sudut datang dengan nilai 27° (Gambar 8).



Gambar8. Pemilihan sudut berada kisaran penerima

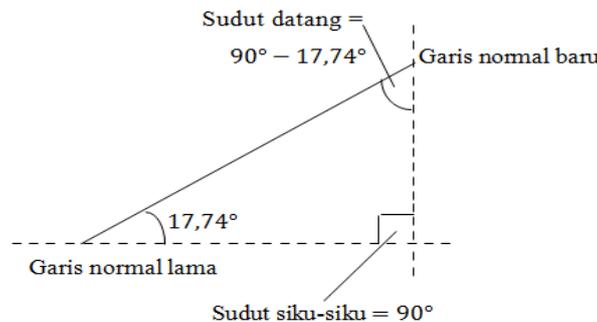
Selanjutnya dengan menggunakan Hukun Snellius seperti pada persamaan (3) maka dapat diketahui berapa nilai sudut yang masuk kedalam *core*.

$$\begin{aligned}
 n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 & (3) \\
 n_{udara} \sin \theta_{udara} &= n_{core} \sin \theta_{core} \\
 1,0 \sin 27^\circ &= 1,49 \sin \theta_{core} \\
 \theta_{core} &= 17,74^\circ
 \end{aligned}$$



Gambar 9. Sudut datang dalam bidang batas *core* dan *cladding*

Cahaya yang masuk ke dalam *core* akan terus bergerak hingga di bidang perbatasan antara *core* dan *cladding*, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Sudut datang dalam bidang batas *core* dan *cladding*

Ketika fiber optik berada pada keadaan yang lurus, maka posisi garis normal tegak lurus terhadap bidang perbatasan *core-cladding*. Gambar 10 menunjukkan bahwa antara garis normal (lama dan baru) membentuk sebuah bidang siku-siku. Dalam setiap segitiga, jumlah ketiga sudutnya adalah 180°

Apabila mengurangi nilai sudut siku-siku 90° dengan nilai sudut $17,74^\circ$, maka akan mendapatkan sudut datang adalah

$$90^\circ - 17,74^\circ = 72,26^\circ$$

Selanjutnya menentukan apakah cahaya dengan sudut datang sebesar $72,26^\circ$ akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan *core-cladding* atau cahaya dapat menembus ke

dalam *cladding*. Untuk dapat menentukannya dilakukan dengan mensubstitusikan nilai *Numerical Aperture* yang telah didapatkan kedalam persamaan (4)

$$\theta_{kritis} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (4)$$

$$\theta_{kritis} = \arcsin\left(\frac{1,41}{1,49}\right)$$

$$\theta_{kritis} = 71,14^\circ$$

Karena sudut datang di dalam fiber optik lebih besar dari sudut kritis ($72,26^\circ > 71,14^\circ$) maka cahaya akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan ke dalam *core*.

2. Pengaruh Tekanan Terhadap Keluaran Fiber Optik

Pengaruh terhadap pemberian tekanan pada persambungan fiber optik dapat mempengaruhi intensitas cahaya keluarannya, semakin bertambahnya tekanan yang diberikan maka nilai intensitas cahaya keluarannya semakin kecil sehingga membentuk grafik linear ke atas ditunjukkan pada Gambar 3, 4, 5, 6 dan 7. Hal ini disebabkan tidak adanya lekukan-lekukan pada fiber optik yang membuat pelemahan intensitas keluaran fiber optik.

3. Perambatan Cahaya Dari Persambungan Fiber Optik Dengan Gel

Persambungan fiber optik disisipi gel, satu fiber optik menuju laser Helium-Neon dan fiber optik yang lain menuju OPM. Sinar laser yang masuk ke dalam fiber optik akan melalui gel dan diteruskan kembali pada fiber optik yang lain.

Nilai intensitas cahaya tanpa gel lebih besar dari nilai intensitas cahaya menggunakan gel. Semakin jaraknya diperbesar maka nilai intensitasnya semakin tinggi. Karena larutan gel penyetaraan indeks bias (*index-matching gel*) digunakan dititik persambungan, mengisi celah diantara kedua ujung serat untuk meminimalkan rugi-rugi celah dan efek pemantulan fresnel.

Tabel 1. Pengaruh intensitas cahaya tanpa gel dan menggunakan gel

Jarak Fiber	Intensitas Cahaya Tanpa Gel (dBm)	Intensitas Cahaya Dengan Gel (dBm)			
		Pulpen		Rambut	
		Bening	Kuning	Bening	Kuning
0	-63,47	-47,57	-36,8	-46,42	-44,43
0,3	-75,14	-52,30	-40,73	-49,71	-50,31
0,5	-81,20	-55,27	-42,76	-52,25	-52,33

Tabel 2. Indeks bias beberapa medium dan sudut kritis saat digunakan sebagai *cladding*

Bahan persambungan	n_{gel}	NA	θ_i (°)	θ_{kritis} (°)
Gel Bening Pulpen	1,36	0,62	72,26	65,55
Gel Kuning Pulpen	1,35	0,62	72,26	65,34
Gel Bening Rambut	1,38	0,57	72,26	67,48
Gel Kuning Rambut	1,35	0,62	72,26	65,25

Pada tabel 3 menunjukkan bahwa nilai sudut datang (θ_i ($^\circ$)) lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali ke dalam bahan menyebabkan terjadinya pemantulan internal sempurna. Pengukuran indeks bias gel dilakukan dengan menggunakan *refraktometer* pada suhu 20° dan perhitungan indeks bias menggunakan tabel konversi indeks bias.

4. Sensitivitas Sensor Tekanan Pada Fiber Optik Dengan Persambungan Yang Disisipi Gel

Sensitivitas merupakan perubahan pada output untuk setiap perubahan input terkecil. Untuk elemen linear, penentuan sensitivitas merupakan gradien ($\Delta y / \Delta x$) atau kemiringan grafik. Nilai gradien (B) pada Tabel 3 didapatkan dari *linear-fit* dengan menggunakan *Software Origin*.

Tabel 3. Sensitivitas berbagai madu sebagai pengganti *cladding*

Jenis Gel	Warna Gel	Sensitivitas untuk jarak (cm)		
		0	0,3	0,5
Gel Pulpen	Bening	$0,0018 \pm 0,0001$	$0,0017 \pm 0,0003$	$0,0021 \pm 0,0001$
	Kuning	$0,0021 \pm 0,0018$	$0,0019 \pm 0,0009$	$0,0035 \pm 0,0028$
Gel Rambut	Bening	$0,0032 \pm 0,0003$	$0,0029 \pm 0,0008$	$0,0034 \pm 0,0001$
	Kuning	$0,0021 \pm 0,0004$	$0,0022 \pm 0,0003$	$0,0027 \pm 0,0004$

Dari Tabel 3 tersebut dapat dilihat sensitivitas beberapa sensor fiber optik yang menggunakan gel sebagai persambungan fiber optik. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa perbedaan sensitivitas tiap jenis gel tidak terlalu signifikan antara gel pulpen (kuning dan bening) dan gel rambut (kuning dan bening). Dari jenis gel pulpen (kuning dan bening) dan gel rambut (kuning dan bening) yang digunakan, gel pulpen dengan warna gel kuning pada jarak 0,5 cm memiliki sensitivitas yang terbaik dengan gradien sebesar $(0,0035 \pm 0,0028)$ dBm/cm dan jenis gel dengan warna gel bening memiliki sensitivitas dengan gradien sebesar $(0,0034 \pm 0,0001)$ dBm/cm pada jarak gel dengan fiber optik sebesar 0,5 cm. Jarak terjauh menunjukkan sensitivitas terbaik karena berkaitan dengan kemiringan dari grafik yang memiliki kemiringan yang tajam.

Tabel 4. Linearitas berbagai madu sebagai pengganti *cladding*

Jenis Gel	Warna Gel	Linearitas untuk jarak (cm)		
		0	0,3	0,5
Gel Pulpen	Bening	0,99919	0,99539	0,96787
	Kuning	0,90565	0,96935	0,91443
Gel Rambut	Bening	0,99881	0,98817	0,98887
	Kuning	0,99457	0,99654	0,99749

Uji linearitas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linear atau tidak. Analisis regresi sederhana merupakan hubungan antara dua variabel yaitu variabel bebas dan variabel tak bebas. Linearitas dapat diwujudkan dalam persamaan

garis lurus. Jika nilai linearitas (R) mendekati atau sama dengan 1, kedua variabel memiliki hubungan linear. Linearitas terbaik terdapat pada jenis gel pulpen dengan warna gel bening pada perlakuan dengan jarak 0 cm yaitu sebesar 0,99919. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang diteruskan oleh fiber optik berhubungan linear terhadap penambahan tekanan.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya keluaran fiber optik semakin tinggi saat diberi penambahan tekanan sehingga data menunjukkan grafik linear. Penyambungan fiber optik dengan menggunakan berbagai jenis gel yang memiliki nilai keluaran intensitas cahaya terbaik yaitu pada gel pulpen dengan warna gel kuning. Sensitivitas terhadap perubahan tekanan terbaik pada gel pulpen dengan warna gel kuning pada jarak 0,5 cm dengan gradien sebesar $(0,0035 \pm 0,0028)$ dBm/cm. Linearitas terhadap perubahan tekanan terbaik terdapat pada jenis gel pulpen dengan warna gel bening pada perlakuan dengan jarak 0 cm yaitu sebesar 0,99919.

Untuk selanjutnya disarankan untuk melakukan penelitian dengan lebih banyak variasi pada gel yang digunakan sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi sebelum dikembangkan lebih lanjut. Selain itu peneliti disarankan agar dalam melakukan pemotongan fiber optik dan mengamplas fiber optik harus diperhatikan tekniknya agar mendapatkan hasil yang lebih baik, karena jika teknik pemotongan tidak tepat maka cahaya dapat berbelok atau terhambur pada titik sambung dan saat menempatkan gel pada persambungan sebaiknya lebih cermat agar dapat meminimalisir gelembung-gelembung udara yang terdapat pada gel.

DAFTAR PUSTAKA

John, C., & Barry, E. (2008). *Serat Optik: Sebuah Pengantar*. Jakarta: Erlangga.

Keiser, G. (1991). *Optical Fiber Communications*. Singapore: Mc Graw-Hill Publishing Company

Smith, F.G. et al. (2007). *Optics and Photonics: An Introduction Second Edition*. England: John Wiley & Sons Ltd

Helen, T. (2015). *Mengenal Karakteristik Dan Cara Kerja Fiber Optik*. Diakses pada 10 Juni 2016 melalui <http://www.helenturvey.com/mengenal-karakteristik-dan-cara-kerja-fiber-optik/>

Apri, Y.P. (2011). *Pengaruh Jenis Pengisian (Air, Udara dan Gel) dan Jarak pada Sambungan terhadap Intensitas Keluaran Serat Optik*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta