

EFEK TEKANAN DAN JENIS GEL PENGISI SAMBUNGAN TERHADAP INTENSITAS KELUARAN PADA FIBER OPTIK PLASTIK

(THE EFFECTS OF PRESSURE AND TYPE OF FILLING GEL TOWARD THE INTENSITY OUTPUT IN PLASTIC OPTICAL FIBER)

Aisyah Ninda Kusuma Wati dan Heru Kuswanto

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta
Jl. Colombo 1 Yogyakarta

email: aisyahninda19@gmail.com; herukus61@uny.ac.id

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. Fiber optik yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber (POF)* tipe SH-4001-1.3. POF ini memiliki indeks bias *core* sebesar 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. Gel disisipkan di antara fiber optik sepanjang 1 cm di dalam pipa kecil, kemudian diberi variasi tekanan sehingga mempengaruhi intensitas cahaya. Daya optik keluaran dari POF 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*, gel, sensor tekanan

Abstract

This study was aimed at determining the effect of applying pressure to changes in optical fiber output intensity, giving various kinds of filling gel on the connection to fiber optic output. The optical fiber used was Polymer Optical Fiber (POF) type SH-4001-1.3. This POF has a core refractive index of 1.49 and a cladding refractive index of 1.41. The gel was inserted between the optical fiber with a length of 1 cm in a small pipe, then given a variation of pressure so that it affected the intensity of the light. The optical power output from Polymer Optical Fiber was detected using Optical Power Meter (OPM). The light source used was the HeNe laser with a wavelength of 632.8 nm and an output power of 5 mW. The results show that the intensity of the optical fiber output light increases in line with the addition of pressure. Giving pressure on fiber optic joints using various types of gels show that the best light intensity output value was the yellow gel pen. The best sensitivity value on yellow pen gel at a distance of 0.5 cm with a gradient of (0.0035 ± 0.0028)

dBm/cm. While the best linearity is in the type of clear pen gel with a distance of 0 cm which is equal to 0.99919.

Keywords: *polymer optical fiber, gel, pressure sensor*

PENDAHULUAN

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).

Teknologi sensor berbasis serat optik memiliki peran yang sangat penting dalam dalam penginderaan jauh. Serat optik digunakan sebagai sensor untuk mengukur ketinggian cairan dalam labu volumetrik sebagai aplikasi dalam industri (Montero & Vázquez, 2012), pengukuran regangan

(Chen, Kuang, Chen, & Chuang, 2006; Chang & Han, 2009), sensor kelembaban dalam penyimpanan kimia (Harith dkk., 2015), dan sensor suhu (Moraleda, Vázquez, Zubia, & Arrue, 2013); serta sensor bensin (Montero & Vázquez, 2012).

Di sisi lain, serat optik telah digunakan untuk mengukur tingkat air dalam berbagai bentuk, beberapa sensor non-intrusif berdasarkan redaman cahaya saat melewati dinding tangki seperti pada tangki (Zhao, Bao, & Kundu, 2016) tetapi hanya berguna dalam tangki transparan (Chandari & Jaeger, 2007). Dunia industri membutuhkan alat untuk mengukur tingkat air dalam tangki besar. Serat optik adalah satu-satunya bagian dari alat pengukur yang dimasukkan ke dalam tangki yaitu, hanya cahaya dan plastik atau gelas yang berinteraksi dengan air - metode ini menjadi aman dan bebas korosi, tanpa percikan listrik yang dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan tangki (Bilro, Alberto, Pinto, & Nogueira, 2012). Serat optik plastik (POF) telah menerima perhatian yang meningkat karena keunggulan teknisnya yang jelas atas serat kaca, seperti fleksibilitas dan diameter inti besar, yang memungkinkan koneksi dan penggantian yang efisien menghasilkan sistem biaya rendah untuk jaringan area lokal (Chen, Chen, & Chen, 2005). POF memiliki bukaan numerik yang lebih tinggi daripada serat optik kaca, dan sistem juga memiliki keuntungan dari sudut penerimaan yang lebih

luas yang memberikan kondisi pengumpulan cahaya yang lebih baik (Bilro *et al.*, 2012).

Sensor serat optik menggunakan perilaku diubah dari gelombang cahaya. Metode untuk memodifikasi dapat dilakukan terhadap amplitudo (intensitas), frekuensi, dan fase (Chen, Kuang, Chen, & Chuang, 2006). Modifikasi amplitude memiliki keuntungan karena mudah untuk diproses (Lomer, Quintela, López-Am, Zubia, & López-Higuera, 2007). Metode ini adalah metode sederhana. Perubahan intensitas terjadi karena kebocoran yang disebabkan oleh serat optik yang mengalami tekanan (Chang & Han, 2009), perubahan suhu (Moraleda *et al.*, 2013), lentur (Zhao *et al.*, 2016) atau perawatan fisik lainnya.

Penelitian ini menentukan 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.

METODE PENELITIAN

Tahap penelitian ini adalah sebagai berikut. *Pertama*, nilai indeks bias gel pada persambungan fiber optik dikur 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.

Kedua, gel dimasukkan dengan cara menyuntikkan gel pada selang kecil. Gel sepanjang 1 cm diberikan pada persambungan fiber optik seperti pada Gambar 1.

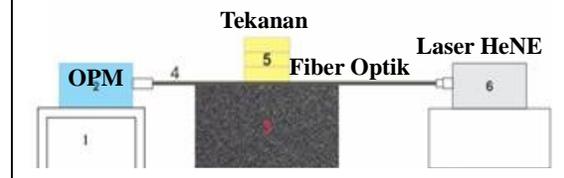
Gambar 1. Persambungan Fiber Optik



Ketiga, alat dirangkai 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.

Keempat, daya optik yang diukur dengan OPM untuk setiap penambahan tekanan.

Gambar 2. Desain Alat Penelitian



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}.

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).

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 DAN PEMBAHASAN

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. Pada Gambar 3 adalah perbedaan plot untuk semua jenis gel. Untuk grafik masing-masing jenis gel ditunjukkan pada Gambar 4, 5, 6, dan 7.

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).

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

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

$$NA = 0,48$$

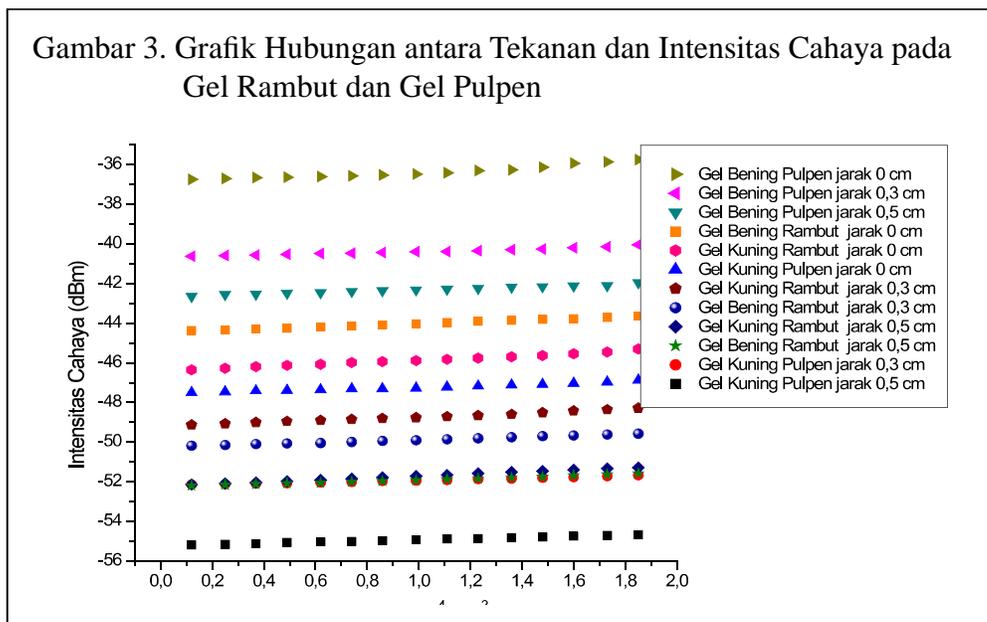
Selanjutnya menghitung nilai sudut penerimaannya dari nilai *Numerical Aperture*, karena sudut penerimaan mempengaruhi seberapa cahaya yang diterima masuk ke dalam fiber optik. Untuk mengetahui nilai sudut penerimaannya menggunakan persamaan (2).

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

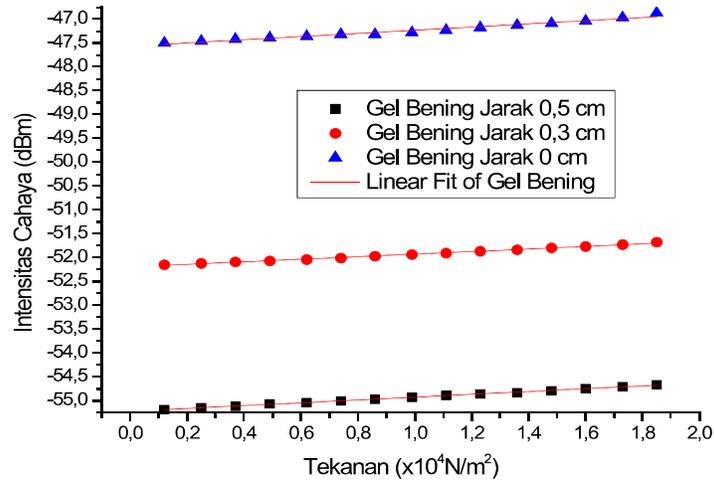
$$\text{sudut penerimaan} = \arcsin 0,48$$

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

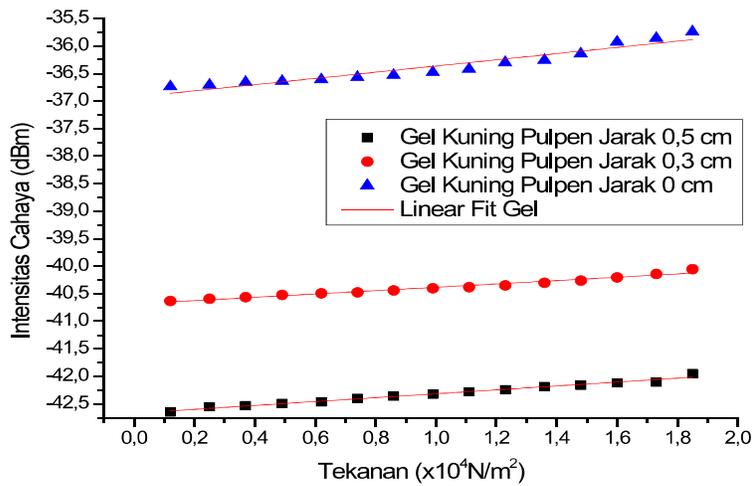
Setelah sudut penerimaan diketahui selanjutnya menentukan sudut datang dari laser Helium Neon yang masuk ke dalam



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Intensitas Cahaya terhadap Tekanan dengan Gel Pulpen Bening



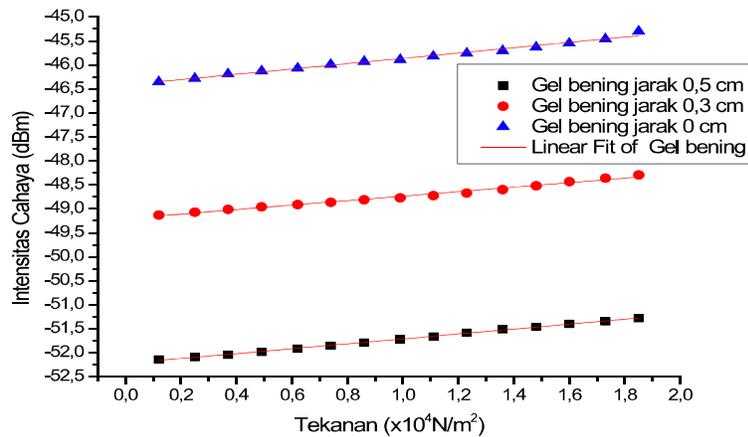
Gambar 5. Grafik Hubungan antara Intensitas Cahaya terhadap Tekanan dengan Gel Pulpen Kuning



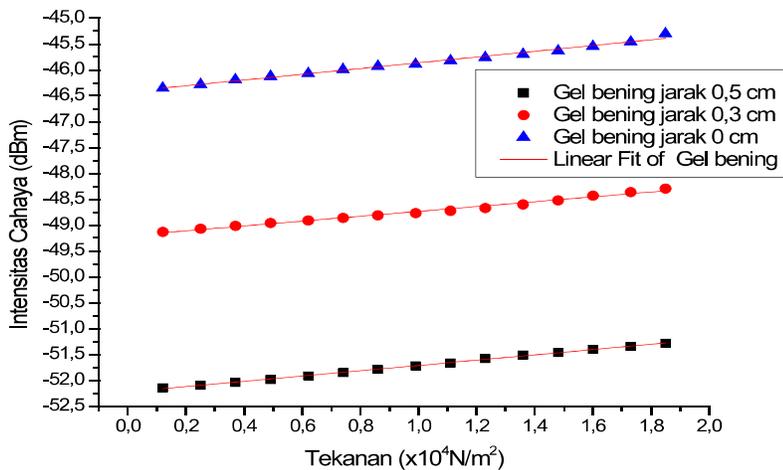
fiber optik. Dalam penelitian ini sudut datang dengan nilai 27° (Gambar 8). Dengan menggunakan Hukum Snellius seperti pada persamaan (3) maka dapat diketahui berapa nilai sudut yang masuk ke dalam *core*.

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

Gambar 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

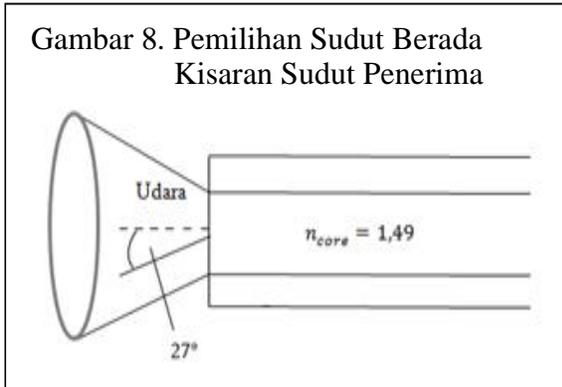


Cahaya yang masuk ke dalam *core* akan terus bergerak hingga di bidang perbatasan antara *core* dan *cladding*, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 10.

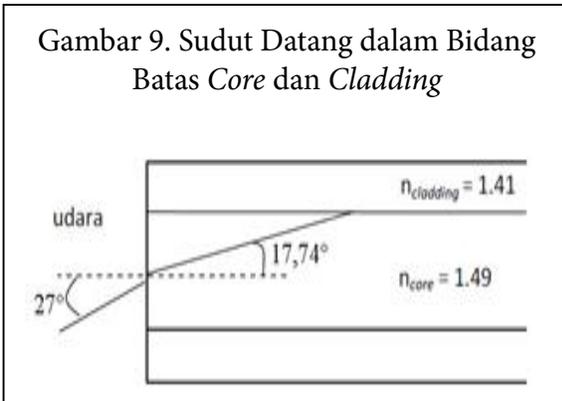
Ketika fiber optik berada pada keadaan yang lurus, maka posisi garis normal

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° .

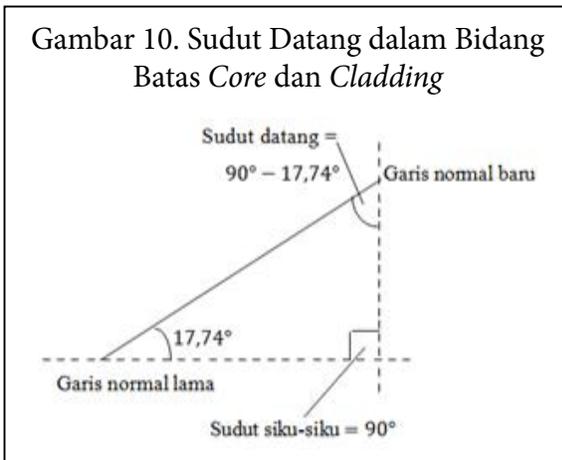
Gambar 8. Pemilihan Sudut Berada Kisaran Sudut Penerima



Gambar 9. Sudut Datang dalam Bidang Batas Core dan Cladding



Gambar 10. Sudut Datang dalam Bidang Batas Core dan Cladding



Apabila mengurangkan nilai sudut siku-siku dengan nilai sudut, maka akan mendapatkan sudut datang adalah

$$90^{\circ} - 17,74^{\circ} = 72,76^{\circ}$$

Selanjutnya menentukan apakah cahaya dengan sudut datang sebesar itu 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 ke dalam persamaan (4).

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

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

Karena sudut datang di dalam fiber optik lebih besar dari sudut kritis maka cahaya akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan ke dalam *core*.

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 tinggi 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.

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.

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya tanpa gel lebih besar dari nilai intensitas cahaya menggunakan gel. Semakin jaraknya diperbesar maka nilai intensitasnya semakin tinggi. Karena larutan gel penyetelan indeks bias (*index-matching gel*) digunakan dititik persambungan, mengisi celah diantara kedua ujung serat untuk meminimalkan rugi-rugi celah dan efek pemantulan fresnel.

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai sudut datang 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 dan perhitungan indeks bias menggunakan tabel konversi indeks bias.

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 (y/x) atau kemiringan grafik. Nilai gradien (B) pada Tabel 3 didapatkan dari *linear-fit* dengan menggunakan *SoftwareOrigin*.

Tabel 3 menunjukkan bahwa sensitivitas beberapa sensor fiber optik yang

Tabel 1
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

Bahan Persambungan	n_{gel}	NA	$\theta_i(^{\circ})$	$\theta_{kritis}(^{\circ})$
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

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 ± 0,0001	0,0017 ± 0,0003	0,0021 ± 0,0001
	Kuning	0,0021 ± 0,0018	0,0019 ± 0,0009	0,0035 ± 0,0028
Gel Rambut	Bening	0,0032 ± 0,0003	0,0029 ± 0,0008	0,0034 ± 0,0001
	Kuning	0,0021 ± 0,0004	0,0022 ± 0,0003	0,0027 ± 0,0004

menggunakan gel sebagai persambungan fiber optik. Pada Tabel 3 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.

Uji linearitas bertujuan untuk mengetahui dua variabel mempunyai hubungan yang linear atau tidak. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4. 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.

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

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.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mamun, A., Ahmed, N., Ahamed, N. U., Rahman, S. A. M. M., Ahmad, B., & Sundaraj, K. (2014). Use of wireless sensor and microcontroller to develop water-level monitoring system. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(9), 1321-1326.
- Bilro, L., Alberto, N., Pinto, J. L., & Nogueira, R. (2012). Optical sensors based on plastic fibers. *Sensors*, 12(9), 12184-12207. Doi:10.3390/s120912184.
- Chandani, S. M., & Jaeger, N. A. F. (2007). Optical fiber-based liquid level sensor. *Journal Optical Engineering*, 46(11).
- Chang, X., Li, M., & Han, X. (2009). Recent development and applications of polymer optical fiber sensors for strain measurement. *Frontiers of Optoelectronics*, 2(4), 362-367.
- Chen, Y. C., Chen, L. W., & Chen, P. C. (2005). Combined effects of bending and elongation on polymer optical fiber losses. *Optics Letters*, 30, 230-232.
- Chen, Y. C., Chen, P. C., & Kuang, J. H. (2006). Effect of elongation deformation on power losses in polymer optical fibers. *Applied Optics*, 45, 6668-6674.
- Chen, Y. C., Kuang, J. H., Chen, L. W., & Chuang, H. C. (2006). Effect of plastic strain energy density on polymer optical fiber power losses. *Optics Letters*, 31, 879-881.
- Crisp, J., & Elliott, B. (2008). *Serat optik: Sebuah pengantar*. Jakarta: Erlangga.
- Harith, Z., Irawati, N., Batumalay, M., Rafaie, H. A., Yun II, G., Harun, S. W., ... & Ahmad, H. (2015). Relative humidity sensor employing optical fibers coated with ZnO nanostructures. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(35). Doi: 10.17485/ijst/2015/v8i35/85348.
- Lomer, M., Quintela, A., López-Amo, M., Zubia, J., & López-Higuera, J. M. (2007). A quasi-distributed level sensor based on a bent side-polished plastic optical fibre cable. *Measurement Science Technology*, 18, 2261-2267.
- Lopez, J. E. A., Mondragon, J. J. S., & May-Arrijo, D. A. (2011). Fiber-optic sensor for liquid level measurement. *Optics Letters*, 36, 3425-3427.
- Montero, D. S., & Vázquez, C. (2012). Polymer optical fiber intensity-based sensor for liquid-level measurements in volumetric flasks for industrial application. *ISRN Sensor Networks*. Doi:10.5402/2012/618136.
- Moraleda, A. T., García, C. V., Zaballa, J. Z., & Arrue, J. (2013). A temperature sensor based on a polymer optical fiber macro-bend. *Sensors*, 13(10), 13076-13089. Doi: 10.3390/s131013076.
- Zhao, J., Bao, T., & Kundu, T. (2016). Wide range fiber displacement sensor based on bending loss. *Journal of Sensors*, 2016, 1-5. Doi: 10.1155/2016/4201870.