

# Rancang Bangun Sensor *Specific Gravity* pada *Crude Oil* Menggunakan Serat Optik Plastik

Achmad Wahyu Rizky Widharyanto, Heru Setijono, dan Gerry Sasanti Nirmala  
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
E-mail: wahyu.rizky09@gmail.com

**Abstrak**—Tingkat kebutuhan energi minyak bumi di dunia semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, pihak produsen harus menambah jumlah produksinya dengan meningkatkan efisiensi pada saat proses produksi. Salah satu hal yang harus dilakukan adalah melakukan uji *specific gravity* pada minyak bumi. Uji *specific gravity* pada minyak bumi penting untuk dilakukan karena berdasarkan  $^{\circ}\text{API}$ , hal ini menentukan apakah minyak bumi tersebut diklasifikasikan dalam *heavy oil*, *medium oil* atau *light oil*. Selain itu, nilai *specific gravity* juga akan menentukan nilai kapasitas kapal *tanker* untuk pengangkutan minyak mentah tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan sensor serat optik plastik yang dikelupas *cladding*-nya dengan variasi panjang sensor 1 cm, 2 cm, 4 cm dan 8 cm. Prinsip kerja dari sensor ini adalah pemanfaatan dari perubahan medan *evanescent* apabila dilakukan penggantian *cladding* serat optik oleh *crude oil*. Daya keluaran serat optik sebelum dan sesudah diberikan minyak mentah diukur menggunakan *powermeter*, dan beda daya yang dihasilkan nantinya akan dikonversi menjadi nilai *specific gravity*. Dari hasil uji karakteristik statis sensor, sensor dengan panjang 2 cm adalah sensor dengan respon terbaik yang memiliki sensitivitas sebesar  $74,65\mu\text{W}$  per satuan *specific gravity*, dengan span pengukuran terbesar yaitu sebesar  $5,048\mu\text{W}$ , nilai koefisien determinasi sebesar 91,6% dan nilai error maksimal sebesar 0,86%.

**Kata kunci**—*Specific Gravity*, serat optik plastik, beda daya

## I. PENDAHULUAN

**D**ATA statistik Dirjen Migas dan Pertamina menyebutkan tingkat kebutuhan minyak bumi di Indonesia semakin meningkat tiap tahunnya seiring perkembangan industri yang pesat serta jumlah kendaraan bermotor yang semakin meningkat. Pada tahun 2012 konsumsi minyak bumi untuk transportasi saja sudah mencapai 43,5 juta kiloliter dan diperkirakan pada tahun 2013 kebutuhan minyak bumi mencapai 48 juta kiloliter. Jika dilihat dari grafik kebutuhan minyak bumi pada Gambar 1, kebutuhan minyak bumi ini akan terus mengalami peningkatan.

Salah satu langkah yang harus dilakukan adalah dengan meningkatkan produksi minyaknya dan semaksimal mungkin meningkatkan efisiensinya. Untuk meningkatkan dua hal tersebut, produsen minyak bumi juga harus mengembangkan teknologi yang dimilikinya agar minyak bumi yang dihasilkan semakin baik serta cepat dan murah dalam proses produksinya.

Dalam produksi minyak bumi terdapat tiga proses penting, yaitu pengeboran pada *rig*, distribusi minyak bumi

melalui kapal tanker atau pipa, serta pengolahan minyak pada unit kilang. Ketiga proses ini mempunyai standar masing-masing dalam melakukan produksi minyak bumi, dan salah satu hal yang harus dilakukan adalah melakukan uji *specific gravity* pada minyak bumi. Uji *specific gravity* pada minyak bumi penting untuk dilakukan karena hal ini menentukan apakah minyak bumi tersebut diklasifikasikan dalam *heavy oil*, *medium oil* atau *light oil* [1]. Klasifikasi ini menentukan kualitas dari minyak mentah tersebut sehingga harga minyak bumi juga berbeda berdasarkan klasifikasi tersebut. Semakin mendekati *light oil*, maka harganya pun semakin tinggi. Klasifikasi berdasarkan *specific gravity* ini bertujuan untuk menentukan perlakuan minyak mentah pada kolom distilasi serta untuk memprediksi hasil dari olahan minyak yang dihasilkan. Dan salah satu fungsi lain dari pengukuran *specific gravity* adalah untuk menentukan nilai kapasitas kapal tanker untuk pengangkutannya.

Nilai *specific gravity* pada minyak bumi dapat diketahui dengan melakukan uji laboratorium berdasarkan standar ASTM D 1298. Pengujian yang dilakukan di laboratorium mengenai *specific gravity* ini cukup mudah dan murah. Tetapi operator di lapangan tidak bisa langsung menentukan klasifikasi minyak bumi tersebut karena harus menunggu uji laboratorium. Hal ini disebabkan karena alat uji tersebut tidak dapat dibawa langsung ke sumur maupun kilang. Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah penelitian Tugas Akhir untuk merancang bangun sensor *specific gravity* menggunakan sensor Serat Optik plastik yang nantinya diharapkan dapat dibuat sebuah alat pengukur *specific gravity* yang praktis dan memungkinkan operator untuk menguji *specific gravity* di lokasi tanpa harus membawa sample minyak bumi ke laboratorium, sehingga proses pengambilan keputusan yang terkait *specific gravity* lebih cepat dilakukan.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Total Internal Reflection

Prinsip dasar dari penelitian ini adalah *Total Internal Reflection (TIR)*. *TIR* adalah prinsip pemanduan cahaya pada serat optik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Cahaya dapat ditransmisikan atau dipandu pada serat optik disebabkan karena berkas cahaya datang dari medium yang mempunyai indeks bias lebih besar ke medium yang mempunyai indeks bias lebih kecil. Jika sudut berkas cahaya datang lebih kecil daripada sudut kritis, maka cahaya akan dibiarkan keluar dari serat optik. Sedangkan jika sudut berkas cahaya datang lebih

besar daripada sudut kritis, maka cahaya akan dipantulkan lagi kedalam serat optik. Sudut kritis adalah besar sudut datang yang menghasilkan sudut bias sebesar  $90^\circ$ . Jika dituliskan dalam matematis, persamaan sudut kritis dapat diturunkan dari persamaan snellius yang mempunyai sudut bias sebesar  $90^\circ$  menjadi persamaan 1 [2].

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \tag{1}$$

dimana  $\theta_c$  adalah besarnya sudut kritis,  $n_1$  adalah indeks bias medium yang lebih rapat dan  $n_2$  adalah indeks bias medium cahaya yang lebih renggang.

TIR hanya terjadi pada berkas cahaya kedua dan ketiga. Berkas cahaya pertama tidak terjadi TIR disebabkan karena sudut datangnya lebih kecil daripada sudut kritis. Oleh karena itu berkas cahaya yang dimasukkan ke dalam core serat optik harus mempunyai sudut maksimal yang dapat diterima agar menghasilkan sudut kritis yang minimal. Gambar 3 menjelaskan berkas cahaya yang dimasukkan ke dalam core serat optik yang menghasilkan sudut kritis agar terjadi pemanduan cahaya pada serat optik. Nilai  $\theta_{o\ max}$  yang dapat diterima dapat dicari menggunakan persamaan 2.

$$n \sin \theta_{o,\max} = n_1 \cos \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \tag{2}$$

dimana  $n$  adalah indeks bias medium di luar serat optik,  $n_1$  adalah indeks bias core,  $n_2$  adalah indeks bias cladding,  $\theta_{o\ max}$  adalah sudut penerimaan berkas cahaya maksimal agar terjadi TIR dan  $\theta_c$  adalah sudut kritis [3].

Nilai  $\sin \theta_{o\ max}$  dapat direpresentasikan dengan NA (Numerical Aperture), yaitu angka yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimal serat optik agar terjadi pemanduan cahaya yang sempurna. Nilai NA selalu  $< 1$  [2]. Persamaan matematis untuk mendapatkan NA dapat diturunkan dari persamaan 2 menjadi persamaan 3.

$$NA = n \sin \theta_{o,\max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \tag{3}$$

dimana  $\Delta$  adalah perbedaan indeks core-cladding yang dapat dicari menggunakan persamaan 4.

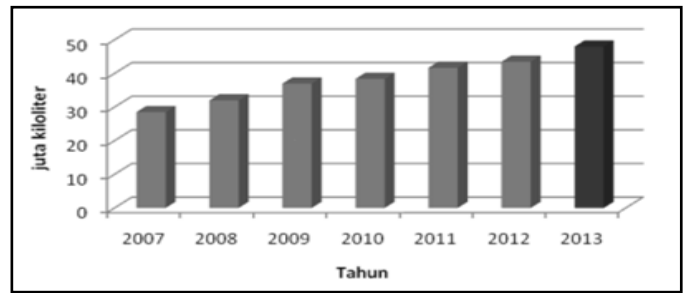
$$\Delta = 1 - \frac{n_2}{n_1} \tag{4}$$

dimana  $n_1$  adalah indeks bias core dan  $n_2$  adalah indeks bias cladding.

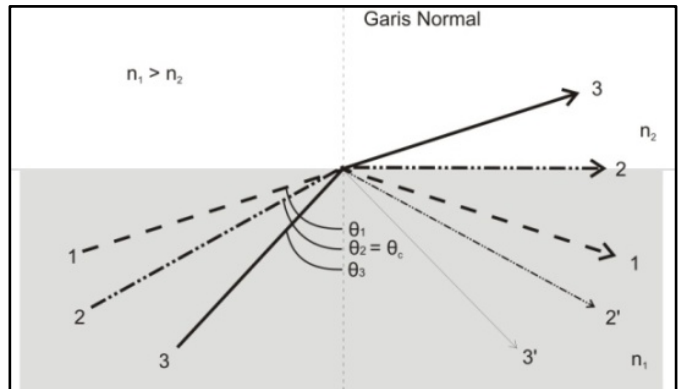
**B. Gelombang Evanescent**

Pada umumnya ada dua buah prinsip kerja serat optik sebagai sensor, yaitu prinsip gelombang evanescent.

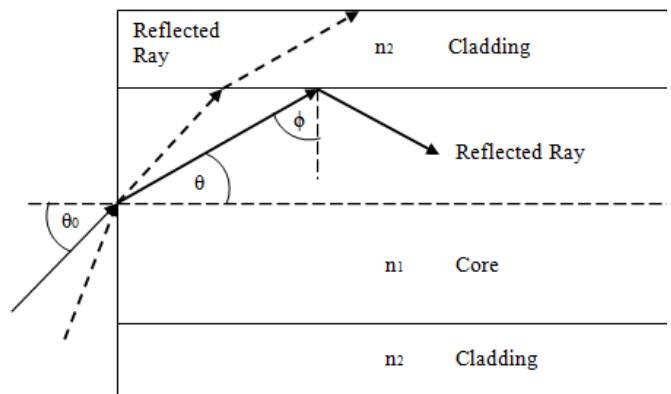
Sensor menggunakan serat optik pada umumnya menggunakan metode adsorpsi gelombang cahaya oleh cladding, yaitu dengan menggantikan cladding serat optik dengan spesimen yang akan diukur. Gelombang yang diserap oleh cladding ini dimanakan gelombang evanescent seperti ditunjukkan pada Gambar 4 [4]. Metode ini sering digunakan karena desainnya mudah dan tidak membutuhkan biaya yang mahal.



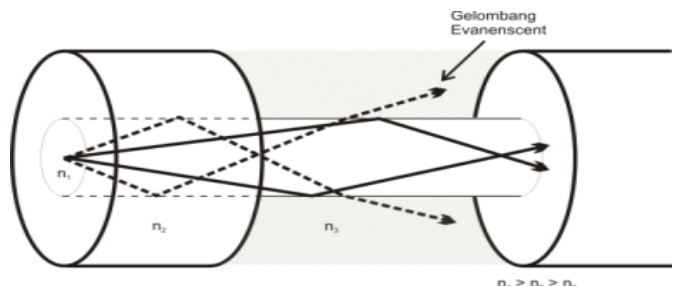
Gambar. 1. Tingkat Kebutuhan minyak bumi di Indonesia.



Gambar. 2. Skema peristiwa Total Internal Reflection.



Gambar. 3. Skema pemanduan cahaya pada serat optik [2].



Gambar. 4. Skema gelombang evanescent.

Perubahan spesimen cladding menyebabkan penyerapan pada cladding berubah pula. Hal inilah yang menyebabkan intensitas cahaya yang ditransmisikan berbeda-beda jika spesimen yang dijadikan cladding berbeda. Saat sinar ditransmisikan pada serat optik yang sedikit energinya masuk ke dalam cladding dan menghilang (atenuasi) secara eksponensial dinamakan sebagai medan evanescent yang ditunjukkan oleh persamaan 5.

$$E_z = E_0 \exp\left(-z/d_p\right) \tag{5}$$

dimana  $z$  adalah jarak penjalaran gelombang cahaya,  $E_0$  adalah medan gelombang mula-mula dan  $d_p$  disebut dengan *penetration depth* yaitu kedalaman gelombang memasuki *cladding* yang ditunjukkan oleh persamaan 6.

$$d_p = \frac{\lambda}{\left(2\pi n_1/n_2\right) \sqrt{\sin^2 \theta - \left(n_2/n_1\right)^2}} \tag{6}$$

dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang sumber,  $n_1$  adalah indeks bias *core*,  $n_2$  adalah indeks bias *cladding* dan  $\theta$  adalah sudut berkas sinar datang.

C. *Specific Gravity Pada Crude Oil*

*Specific Gravity* pada minyak bumi (*crude oil*) merupakan perbandingan massa jenis minyak pada suhu tertentu dengan massa jenis air pada suhu tertentu. Pada umumnya, suhu yang digunakan adalah 15°C atau 60°F [5]. Pengukuran *specific gravity* dilakukan untuk menentukan jenis minyak tersebut termasuk dalam minyak berat atau minyak ringan dan hal ini sangat menentukan treatment untuk proses selanjutnya yaitu distilasi. Standar yang digunakan untuk menentukan *specific gravity* adalah ASTM D 1298-99 [1]. Pada standar tersebut ditentukan pula persamaan untuk menentukan *specific gravity* dengan mencari nilai °API terlebih dahulu.

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{(spgr_{60}/60^{\circ}F)} - 131,5 \tag{7}$$

kemudian untuk menentukan jenis dari minyak mentah tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut,

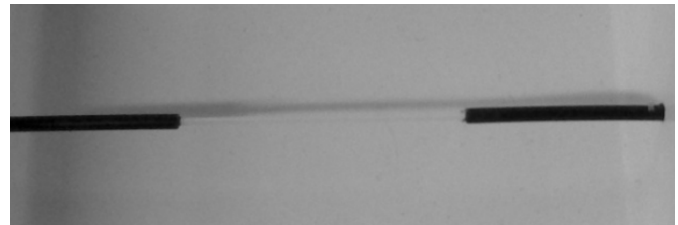
D. *Sensor Specific Gravity Menggunakan Serat Optik Plastik*

Sensor serat optik plastik menggunakan *core* yang telah dikelupas *cladding*-nya untuk mendeteksi perubahan indeks bias. Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk membuat sensor *specific gravity* menggunakan serat optik plastik, yaitu yang pertama adalah dengan memotong serat optik plastik sepanjang 15 cm. Setelah itu bagian tengah dari serat optik plastik dikelupas jaketnya menggunakan *cutter* dengan variasi panjang 1 cm, 2 cm, 4 cm dan 8 cm.

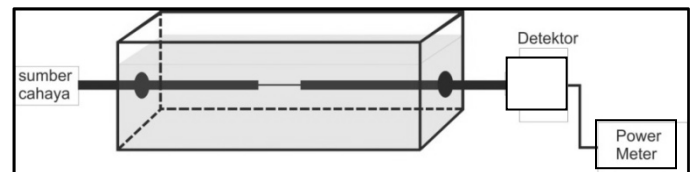
Setelah jaketnya terkelupas, *cladding* dari bagian tengah serat optik dihilangkan. Ada beberapa metode untuk menghilangkan *cladding* dari serat optik plastik. Pemilihan metode ini didasarkan pada jenis serat optik dan bahan pembuat *cladding* tersebut. Untuk serat optik plastik tipe “*Super Eska™ Polyethylene Jacketed Optical Fiber Cord DIN VDE 0888: V-2Y 1P980/1000*”, metode yang direkomendasikan adalah menggunakan *polishing paper* atau menggunakan laser [6]. Sedangkan penghilangan *cladding* secara *chemical* menggunakan cairan pelarut *dichloromethan (CH2CL2)* tidak direkomendasikan karena *core* dari serat optik plastik akan hilang terlebih dahulu sebelum *cladding*-nya hilang.

Tabel 1. Klasifikasi minyak mentah berdasarkan °API Gravity

°API	Klasifikasi	Specific Gravity
10 – 20	Heavy Oil	1,0 – 0,93
20 – 30	Medium Oil	0,93 – 0,87
> 30	Light Oil	< 0,87



Gambar. 5. Sensor serat optik plastik.



Gambar. 6. Rancangan sistem sensor *Specific Gravity*.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah penghilangan *cladding* dengan cara menggosok menggunakan *polishing paper*. Penggosokan harus dilakukan secara pelan-pelan dan merata agar semua *cladding* pada seluruh bagian terkelupas dengan rata. Langkah selanjutnya adalah dengan membersihkan bagian yang terkelupas menggunakan alkohol dan Gambar 5 menunjukkan serat optik plastik yang telah dikelupas *cladding*-nya.

Serat optik yang telah dikelupas jaket dan dihilangkan *cladding*-nya kemudian dihubungkan dengan *powermeter* dan sumber cahaya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. *Coupling* sumber cahaya ke serat optik plastik dan *coupling* serat optik ke sensor *powermeter* dilakukan dengan jarak 0 cm. Dan untuk pengambilan data pada *powermeter Thorlabs* dilakukan menggunakan *software PM100D Utility*.

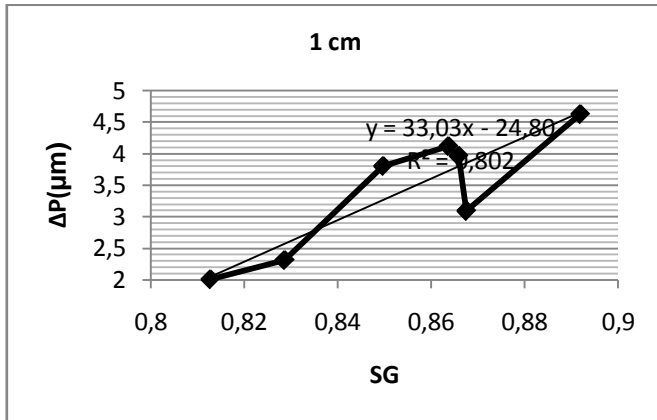
III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini terdapat dua buah tahapan uji nilai *Specific Gravity*, yaitu menggunakan serat optik plastik dan menggunakan timbangan dan gelas ukur. Data yang diperoleh dari pengukuran *Specific Gravity* menggunakan serat optik plastik kemudian diolah dan hasilnya divalidasi dengan data yang diperoleh dari pengukuran *Specific Gravity* menggunakan timbangan dan gelas ukur. Tabel 2 menunjukkan nilai *Specific Gravity* masing-masing sampel yang digunakan pada penelitian ini. Nilai *Specific Gravity* yang terukur diurutkan sebagai acuan dalam pengolahan data selanjutnya.

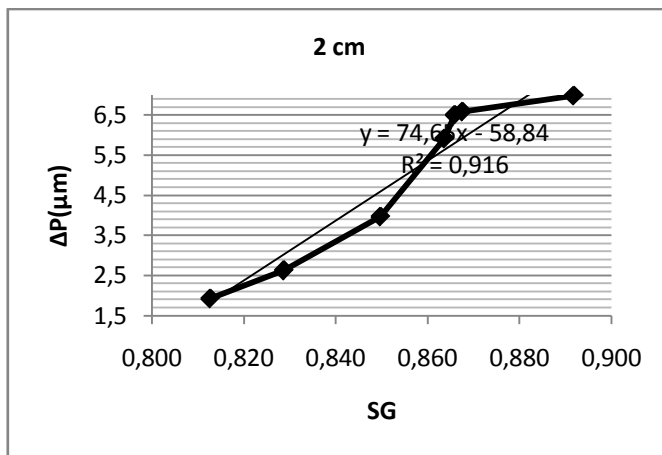
Nilai *Specific Gravity* yang terukur diatas didapatkan dari perhitungan massa jenis minyak tersebut dibandingkan dengan massa jenis air. Jika dilihat pada Tabel 1, maka semua sampel minyak yang dijelaskan pada Tabel 2 diatas merupakan jenis dari minyak ringan.

Tabel 2.  
 Nilai *Specific Gravity* masing-masing sampel *crude oil*

Nama	SG
Mudi	0.813
Kawengan	0.829
Crude A	0.850
Adera 1	0.864
Crude B	0.866
Crude C	0.868
Adera P	0.892



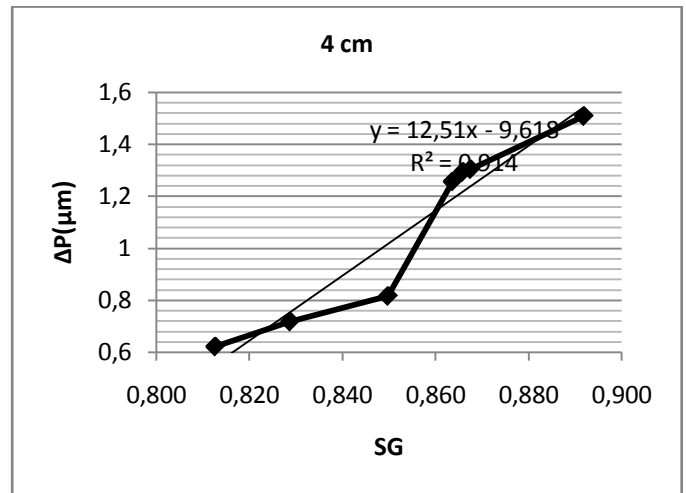
Gambar. 7. Grafik hubungan beda daya dengan nilai *Specific Gravity* untuk sensor 1 cm.



Gambar. 8. Grafik hubungan beda daya dengan nilai *Specific Gravity* untuk sensor 2 cm.

Kemudian uji kedua adalah dengan menggunakan serat optik plastik. Sensor serat optik plastik yang digunakan adalah dengan mengelupas *cladding*-nya sepanjang 1 cm, 2 cm, 4 cm dan 8 cm. Perbedaan daya yang diukur pada saat serat optik belum tercelup minyak dan setelah tercelup minyak kemudian dihubungkan dengan nilai *Specific Gravity* pada Tabel 2.

Gambar 7 menunjukkan daya keluaran sensor ketika dilekupas *cladding*-nya sepanjang 1 cm. Dari grafik tersebut terlihat bahwa sensor ini mempunyai *range output* sebesar 2,617  $\mu$ W. Dan sensor tersebut mempunyai daya keluaran terbesar sebesar 4,624  $\mu$ W, serta daya keluaran terkecil sebesar 2,007  $\mu$ W.



Gambar. 9. Grafik hubungan beda daya dengan nilai *Specific Gravity* untuk sensor 4 cm.

Nilai sensitivitasnya dapat dilihat dari nilai gradien regresi linearnya yaitu sebesar 33,03  $\mu$ W. Kemudian untuk melihat linearitas dari data hasil pengukuran dapat dilihat nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 80,2%.

Jika dilihat dari Gambar 8, beda daya hasil keluaran dari sensor 2 cm lebih besar daripada sensor serat optik dengan panjang 1 cm. Hal ini disebabkan karena permukaan sensing, atau bagian *cladding* yang dikelupas lebih luas daripada sensor serat optik plastik dengan panjang 1cm. Pada pengukuran sensor serat optik dengan panjang 2 cm, nilai beda daya terbesar yang terukur adalah sebesar 6,982  $\mu$ W ketika nilai *Specific Gravity* 0,892, dan nilai beda daya terkecil yang terukur adalah sebesar 1,934  $\mu$ W ketika nilai *Specific Gravity* 0,813.

Saat menggunakan sensor serat optik sepanjang 2 cm, nilai sensitivitas dari sensor tersebut mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena semakin panjang sensor, maka nilai daerah sensing dari sensor serat optik tersebut juga semakin besar. Sensor serat optik plastik ini mempunyai sensitivitas sebesar 74,65  $\mu$ W. Selain itu, akibat dari penambahan panjang sensor, nilai koefisien determinasinya-pun juga semakin membesar mendekati 100% yaitu sebesar 91,6%.

Gambar 9 menunjukkan beda daya hasil keluaran sensor serat optik mengalami penurunan walaupun daerah sensing semakin besar. Hal ini disebabkan karena gejala evanescent pada serat optik plastik tersebut. Nilai daya keluaran dari sensor ini mengalami penurunan secara eksponensial sesuai dengan persamaan 5. Sehingga ketika terjadi perubahan indeks bias *cladding* ketika diberikan minyak, daya yang keluar atau *loss* akan semakin sedikit. Pada pengukuran sensor serat optik dengan panjang 4 cm, nilai beda daya terbesar yang terukur adalah sebesar 1,50964  $\mu$ W ketika nilai *Specific Gravity* 0,892, dan nilai beda daya terkecil yang terukur adalah sebesar 0,62263  $\mu$ W ketika nilai *Specific Gravity* 0,813.

Tabel 3.  
Data hasil pengukuran daya sensor serat optik dengan panjang 8 cm

sensor 8 cm				
Nama	P (mW)	$\Delta P$	SG	
Mudi	P0	0,008	0,008	0,813
	P1	0,000		
Kawengan	P0	0,009	0,008	0,829
	P1	0,001		
Crude A	P0	0,007	0,007	0,850
	P1	0,000		
Adera I	P0	0,007	0,007	0,864
	P1	0,000		
Crude B	P0	0,006	0,006	0,866
	P1	0,000		
Crude C	P0	0,005	0,005	0,868
	P1	0,000		
Adera P	P0	0,007	0,007	0,892
	P1	0,000		

Tabel 4.  
Karakteristik statis sensor SG

Jenis Sensor	Span Output ( $\mu W$ )	Sensitivitas ( $\mu W$ )	Koef. Determinasi (%)
1 cm	2,618	33,03	80,2
2 cm	5,048	74,65	91,6
4 cm	0,887	12,51	91,4
8 cm	-	-	-

Tabel 5.  
Hasil pengujian *specific gravity* dengan sensor 2 cm

Sampel	$\Delta P$ terukur	SG terukur (SGt)	SG validasi (SGv)	% error (%)
kawengan 2	2,513	0,822	0,829	0,86
Raja	6,132	0,870	0,864	0,74
crude C2	6,398	0,874	0,868	0,68

Ketika menggunakan sensor serat optik sepanjang 4 cm, nilai sensitivitas dari sensor tersebut mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena beda daya yang dihasilkan pada sensor serat optik plastik ini juga semakin sedikit, walaupun daerah sensing dari sensor serat optik tersebut semakin besar. Sensor serat optik plastik ini mempunyai sensitivitas sebesar 12,51  $\mu W$ . Dan akibat dari penurunan beda daya sensor serat optik ini, nilai koefisien determinasinya-pun juga semakin mengecil yaitu sebesar 91,4%.

Pada pengukuran sensor serat optik keempat ini menggunakan sensor sepanjang 8 cm. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3 yang menunjukkan bahwa data daya awal menunjukkan nilai yang relatif kecil. Hal ini menyebabkan beda daya yang dihasilkan tidak dapat terlihat oleh sensor sehingga setelah minyak dimasukkan ke dalam sensor, daya yang keluar sangat kecil bahkan menunjukkan nilai 0. Oleh karena itu untuk sensor dengan panjang 8 cm ini tidak dapat terdeteksi dan tidak dapat diuji karakteristiknya.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, karakteristik dari sensor dapat diberikan pada Tabel 4. Dari keempat macam sensor dengan variasi panjang sensing menunjukkan bahwa panjang sensor mempengaruhi respon keluaran dari sensor yaitu nilai sensitivitas dan linearitasnya. Range pengukuran dari sensor yang digunakan adalah nilai SG sebesar 0,813 hingga nilai SG sebesar 0,892.

Sensor dengan respon terbaik dari keempat pengukuran yang telah dilakukan adalah sensor serat optik dengan panjang sensor 2 cm. Nilai sensitivitas yang dihasilkan yaitu sebesar 74,65 $\mu W$ , dengan span pengukuran terbesar yaitu sebesar 5,048  $\mu W$ , dan nilai koefisien determinasi sebesar 91,6%.

Setelah diketahui bahwa sensor serat optik dengan panjang 2 cm yang terbaik, maka dilakukan pengujian sensor untuk mengetahui nilai error dari sensor serat optik ini. Pengujian ini dilakukan menggunakan sensor yang sama dengan tiga buah sampel yang berbeda. Sampel tersebut adalah kawengan 2, raja, dan Crude C2. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai beda daya ( $\Delta P$ ), kemudian nilai beda daya tersebut dimasukkan ke dalam persamaan nilai regresi dari sensor serat optik pada Gambar 8 sehingga dapat diketahui nilai *specific gravity* hasil dari pengujian tersebut.

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian nilai *specific gravity* untuk tiga buah sampel dengan menggunakan sensor serat optik 2 cm. Dari tiga buah sampel yang diuji, masing-masing menunjukkan nilai error untuk kawengan 2 adalah 0,86%, raja 0,74% dan Crude C2 0,68%.

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dilakukan rancang bangun sensor *specific gravity* melalui variasi panjang sensor menggunakan polymer optical fiber tipe multimode step index dengan penggantian cladding oleh crude oil yang akan diukur.
2. Dari 4 variasi panjang sensor yang digunakan, sensor dengan panjang 2 cm adalah sensor dengan respon terbaik yang memiliki nilai sensitivitas terbesar yaitu sebesar 74,65 $\mu W$ , span pengukuran terbesar yaitu sebesar 5,048  $\mu W$ , dan nilai koefisien determinasi terbesar yaitu sebesar 91,6%.
3. Dari hasil pengujian sensor untuk tiga buah sampel yang diuji, hasilnya menunjukkan nilai error maksimal adalah sebesar 0,86% dan memenuhi standar error instrumen dalam pengukuran yaitu kurang dari 2%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dawe, Richard A. 2001. Modern Petroleum Technology Volume 1 Upstream, sixth edition, England : The Institute of Petroleum
- [2] Keiser, G. 2000. Optical Fiber Communications, second edition, Singapore : McGraw-Hill.
- [3] Wicaksono, Dody. 2004. Perancangan alat ukur indeks bias larutan dengan menggunakan metode refraktometri, Tugas Akhir, Surabaya : Teknik Fisika – ITS.
- [4] Matiin, Nafi'ul. 2012. Pengaruh Variasi Bending Sensor pH Berbasis Serat Optik Plastik Menggunakan Lapisan Silica Sol Gel terhadap Sensitivitas, Tugas Akhir, Surabaya : Teknik Fisika – ITS.
- [5] Standart Test Method, ASTM D 1298 - 99. "Density, Relative Density (Specific gravity), or API Gravity of Crude Oil Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method"
- [6] C. Rizotis. 2013. Laser Microstructured Polymer Optical Fibres for Optimised Sensing Devices. Theoretical and Physical Chemistry Institute, National Hellenic Research Foundation, Athens, Greece
- [7] Yu, Francis TS. Khoo, Iam-Choon. Principles of Optical Enggenering, Jonh Wiley & Sons, Inc.
- [8] Bestarian, Tegar. 2011. Rancang Bangun Sensor Suhu Menggunakan Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode Dan Optical Time Domain Reflectometer, Tugas Akhir, Surabaya : Teknik Fisika – ITS.
- [9] Bentley, John. 1995. Principles of Measurement System, third edition, England : Longman Singapore Publishers, Ltd.
- [10] Lee, Jung-Ryul. 2010. Investigation of cladding stripping methods for specialty optical fibers. Elsevier
- [11] Veranita, Dina. 2009. Penentuan indeks bias dan pengaruh konsentrasi cairan menggunakan prisma refraktometri, Tugas Akhir, Surabaya : Fisika - ITS
- [12] Iim, Fatimah. 2009. Perancangan dan pembuatan alat ukur indeks bias cairan menggunakan fiber optik plastik FDS 620 aC10, Tugas Akhir, Surabaya : Fisika - ITS.