

APLIKASI SERAT OPTIK SEBAGAI SENSOR KEKENTALAN OLI MESRAN SAE 20W-50 BERBASIS PERUBAHAN TEMPERATUR

Azmi Wahyu Anggita, Harmadi

Program Sarjana FMIPA Universitas Andalas

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas, Padang 25163

e-mail: azmiwahyuanggita@yahoo.co.id; harmadi@fmipa.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah diaplikasikan serat optik sebagai sensor kekentalan oli Mesran SAE 20W-50 berbasis perubahan temperatur. Rancangan sistem sensor terdiri dari laser dioda ($\lambda = 650$ nm), serat optik FD-620-10, fotodetektor OPT 101 dengan menggunakan metoda *back scattering*. Sampel yang digunakan adalah oli Mesran SAE 20W-50. Pengujian sistem sensor serat optik dilakukan pada dua kondisi, yaitu saat oli dipanaskan pada temperatur 30 °C hingga 100 °C dan saat oli didinginkan pada temperatur 100 °C hingga 30 °C dengan interval yang diberikan adalah 5 °C. Nilai sensitivitas sensor sebesar 0,0007 V/°C saat oli dipanaskan dan 0,0012 V/°C saat oli didinginkan. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi tegangan keluaran yang dihasilkan dan semakin rendah nilai kekentalan oli.

Kata kunci: serat optik, temperatur, sensor, kekentalan

ABSTRACT

The optical fiber as Mesran oil SAE 20W-50 viscosity sensor based of the temperature changes has been applied. The design of this system consisting of a laser diode ($\lambda = 650$ nm), the optical fiber FD-620-10, OPT photodetector 101. The sample is Mesran oil SAE 20W-50. Testing of fiber optic sensor system was performed on two conditions, namely when the oil is heated at a temperature of 30 °C to 100 °C and when the oil is cooled to a temperature of 100 °C to 30 °C with a back given interval is 5 °C. The highest output voltage value obtained at a temperature of 100 °C, which is 0.168 V (when heated) and 0.171 V (when cooled). Lowest output voltage value obtained at a temperature of 30 °C, 0.105 V (when heated) and 0,101 V (when cooled). Value regression of the output voltage obtained when the oil is heated 0.915 and when cooled 0.8586. If the temperature higher then output voltage produced and the lower the viscosity of the oil.

Keywords : optical fiber , temperature , sensors , viscosity

I. PENDAHULUAN

Efisiensi dan efektifitas kinerja mesin kendaraan bermotor dalam industri otomatis sangat dipengaruhi oleh kondisi oli yang digunakan (Wijaya, 2009). Pelumasan oli pada mesin digunakan untuk menghindari terjadinya gesekan langsung antar logam pada mesin, sehingga tingkat keausan logam dan tingkat kerusakan mesin dapat dikurangi. Keadaan optimum pelumasan logam dapat dicapai, jika permukaan logam yang bersentuhan dapat dilapisi secara sempurna oleh oli.

Untuk mendapatkan oli yang sempurna, karakteristik dan jenis oli yang digunakan harus diperhatikan. Viskositas (kekentalan) merupakan salah satu karakteristik dari oli. Kekentalan menunjukkan besar hambatan yang disebabkan oleh gesekan antar molekul-molekul penyusun. Kekentalan pada oli dipengaruhi oleh perubahan temperatur. Perubahan temperatur pada oli disebabkan oleh energi panas yang dihasilkan selama proses pembakaran dan gesekan dalam mesin, sehingga berdampak terhadap kekentalan oli. Pada temperatur tinggi, kekentalan oli akan menurun karena molekul penyusunnya bergerak lebih cepat sehingga oli menjadi lebih encer. Pada temperatur rendah, kekentalan oli akan meningkat sehingga menyebabkan mesin sulit berputar dan sukar hidup (Mortier, 1997). Kemampuan oli untuk mengatasi perubahan nilai kekentalan terhadap perubahan temperatur disebut dengan indeks viskositas (indeks kekentalan). Oli yang baik tidak terlalu peka terhadap perubahan temperatur mulai dari mesin dijalankan hingga performa mesin meningkat (Hardiyatul, 2010).

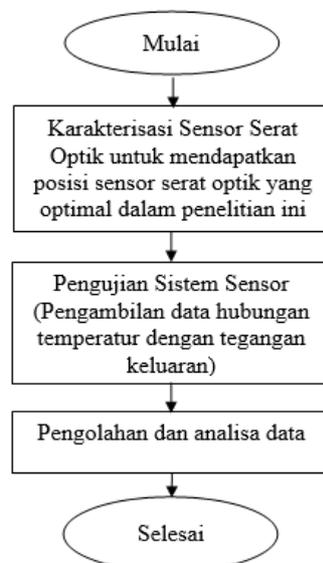
Pengukuran tingkat kekentalan oli yang umum digunakan adalah dengan menggunakan *falling ball viscometry*, namun metode ini sangat rentan terhadap kesalahan, seperti kesalahan

dalam pengamatan gerak bola akibat tidak lurus pandangan. Kemajuan teknologi di bidang optik memunculkan penelitian menentukan kekentalan oli menggunakan sumber cahaya laser. Energi panas yang diterima oleh oli akan mengakibatkan peningkatan temperatur pada oli. Oli akan mengalami perubahan kekentalan saat terjadi kenaikan temperatur. Nilai perubahan kekentalan oli dapat diidentifikasi dengan mengamati nilai absorptansi oli yang disinari laser He-Ne (Raharjo, dkk., 2012). Rolando (2013) telah melakukan penelitian pengukuran kekentalan oli Mesran SAE 20W-50 menggunakan LSI (*Laser Speckle Imaging*) dengan metode back scattering. Pola spekel didapatkan pada cahaya yang terhambur saat laser menyinari permukaan oli Mesran SAE 20W-50 pada temperatur 30 °C hingga 100 °C dengan interval perubahan temperatur 10 °C. Penelitian ini menjelaskan perubahan kekentalan pada oli Mesran SAE 20W-50 terhadap temperatur dapat dianalisis menggunakan perubahan nilai kontras pola spekel. Semakin tinggi temperatur oli maka nilai kekentalan dan kontras semakin menurun.

Metode optik lain yang dikembangkan untuk memperoleh suatu hasil pengukuran yang akurat dan responsif serta sesuai dengan kondisi sebenarnya adalah dengan menggunakan serat optik (Kodin, 2006). Serat optik menjadi salah satu pengembangan sensor yang menjanjikan karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu tidak kontak langsung dengan obyek pengukuran, tidak menggunakan sinyal listrik, akurasi pengukuran yang tinggi, dapat dimonitor dari jarak jauh, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data, harga relatif terjangkau serta ukurannya yang kecil dan ringan memudahkan penginstalan (Krohn, 2000). Pada penelitian ini dikembangkan sensor kekentalan oli Mesran SAE 20W-50 berbasis perubahan temperatur menggunakan serat optik. Penelitian ini memanfaatkan prinsip perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh hamburan (*back scattering*) cahaya yang dipengaruhi oleh perubahan temperatur pada oli.

II. METODE

Tata laksana penelitian ini dimulai dari pengkarakterisasian sensor serat optik. Karakterisasi ini bertujuan untuk mendapatkan posisi sensor serat optik yang optimal. Selanjutnya dilakukan pengolahan data dalam bentuk plot grafik. Diagram alir tata laksana dapat dilihat pada Gambar 1.

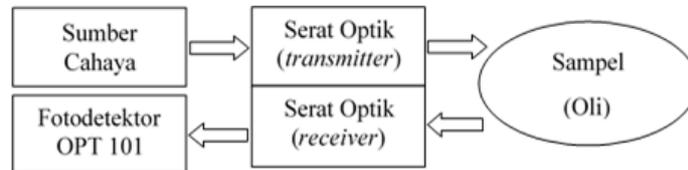


Gambar 1 Diagram alir tata laksana penelitian

2.1 Perancangan Sistem Sensor Serat Optik

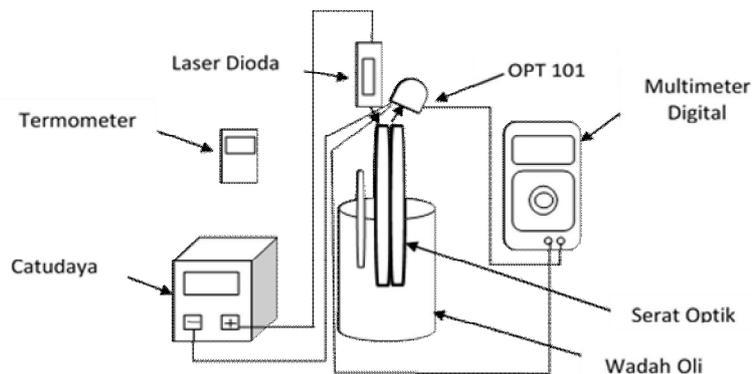
Pada sistem ini menggunakan sensor serat optik ekstrinsik yang terdiri dari laser dioda (LD) sebagai sumber cahaya, serat optik FD-620-10 sebagai media transmisi cahaya dan OPT 101 sebagai detektor cahaya. Serat optik tipe FD-620-10 merupakan jenis serat optik yang terbuat dari bahan plastik. Serat optik FD-620-10 mempunyai diameter *core* dan *cladding* yang

berukuran total sebesar 1 mm. Serat optik FD-620-10 tergolong serat optik jenis *step index multimode* yang mempunyai ketahanan terhadap suhu sebesar $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rancangan sistem sensor ini menggunakan serat optik berukuran panjang 20 cm. Secara umum diagram blok sistem sensor serat optik secara keseluruhan dapat diperhatikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok sistem sensor serat optik

Gambar 2 menggambarkan diagram blok dari keseluruhan sistem sensor serat optik. Sistem sensor yang akan digunakan adalah sistem sensor serat optik ekstrinsik dimana proses penginderaan terjadi diluar serat optik tanpa melakukan modifikasi pada serat optik sebelumnya. Pengukuran dilakukan dengan cara memposisikan dua buah serat optik (*transmitter* dan *receiver*) yang diposisikan sejajar dan tegak lurus terhadap permukaan oli. Cahaya yang ditransmisikan melalui serat optik *transmitter* akan mengalami hamburan (*back scattering*) saat laser dioda menyinari permukaan oli dan diteruskan kembali oleh serat optik *receiver* menuju fotodetektor. Fotodetektor akan mengubah intensitas cahaya yang diterimanya menjadi besaran listrik berupa tegangan analog. Adapun skema lengkap dari rangkaian keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema lengkap rangkaian keseluruhan

2.2 Pengambilan Data Karakterisasi Sensor Serat Optik

Rancangan sistem sensor serat optik yang dibuat pada penelitian ini akan dikarakterisasi terlebih dahulu dengan menggunakan detektor BF5R-D1-N. BF5R-D1-N yang merupakan perangkat terintegrasi untuk mengukur intensitas cahaya. Tujuan karakterisasi pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan posisi sensor serat optik yang optimal. Sebelum pengambilan data karakterisasi dilakukan, pastikan serat optik berada pada posisi sejajar dan tegak lurus terhadap permukaan oli. Kemudian dilakukan pengambilan data karakterisasi yaitu dengan mengukur kemampuan intensitas cahaya sensor serat optik dalam mendeteksi pergeseran jarak antara ujung sensor serat optik dengan permukaan oli, dengan interval pergeseran yang dilakukan adalah 1 mm. Hal ini dilakukan untuk menentukan jarak kerja sensor dengan batasan pergeseran maksimal 20 mm.

2.3 Pengujian Sistem Sensor Serat Optik

Setelah dilakukan penentuan jarak kerja sensor serat optik, selanjutnya dilakukan pengujian sistem sensor serat optik dengan pengambilan data dan mengidentifikasi hubungan antara pengaruh perubahan temperatur yang diberikan pada kekentalan oli terhadap tegangan

keluaran yang terbaca pada fotodetektor. Perubahan temperatur pada penelitian ini bermula dari 30 °C hingga 100 °C, dengan pengambilan data setiap interval 5 °C yang akan dideteksi oleh termometer yang diletakkan di dalam wadah yang sudah berisi oli. Dipastikan termometer tidak menyentuh dinding dari wadah, dengan kata lain termometer tepat berada di tengah-tengah sampel (oli). Kenaikan temperatur pada penelitian ini digunakan pemanas elektrik. Pengujian sistem sensor serat optik dilakukan dalam dua kondisi, yaitu saat sampel (oli) dipanaskan dan didinginkan.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Sistem Sensor Serat Optik

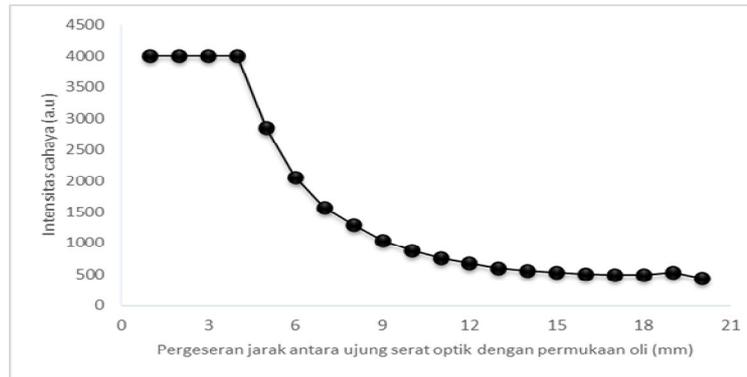
Sistem sensor serat optik secara keseluruhan terdiri atas beberapa bagian yaitu catudaya, serat optik FD-620-10, laser dioda, OPT 101 sebagai fotodetektor, termometer digital, pemanas elektrik dan multimeter. Catudaya dihubungkan ke laser dioda dengan tegangan masukan yang dipakai adalah 5 Volt. Sinyal cahaya yang ditransmisikan melalui serat optik *transmitter* akan mengalami hamburan oleh permukaan oli dan diteruskan kembali oleh serat optik *receiver* menuju fotodetektor OPT 101. OPT 101 dihubungkan dengan multimeter sehingga sinyal cahaya yang diterima oleh OPT 101 akan dikonversi menjadi tegangan analog. Hasil pengambilan data berupa data tegangan ditampilkan dalam bentuk grafik. Gambar alat sistem sensor serat optik secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Gambar keseluruhan sistem sensor serat optik secara keseluruhan

3.2 Karakterisasi Sistem Sensor Serat Optik

Karakterisasi serat optik dilakukan dengan cara mengukur besarnya perubahan intensitas cahaya fotodetektor dari sistem sensor serat optik terhadap jarak ujung serat optik dengan permukaan oli. Pada penelitian ini jarak antara ujung sensor serat optik dengan permukaan oli diberikan sebesar 1 mm. Pengukuran dilakukan sebanyak empat kali pengulangan. Hasil pengukuran karakterisasi perubahan jarak antara ujung sensor serat optik dengan permukaan oli kemudian diplot kedalam sebuah grafik untuk mempermudah dalam menganalisa data, seperti terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik intensitas cahaya detektor sebagai fungsi pergeseran jarak serat optik

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa jarak antara ujung sensor serat optik dengan permukaan oli mempengaruhi keluaran dari fotodetektor, yaitu berupa intensitas cahaya. Intensitas cahaya akan menurun seiring pertambahan jarak yang diberikan antara ujung sensor serat optik dengan permukaan oli, dengan rentang hasil pengukuran karakterisasi jarak yang dilakukan sebesar 1 mm – 20 mm. Batas bawah yang terukur sebesar 1 mm dikarenakan pada jarak 0 mm ujung sensor serat optik akan bersentuhan langsung dengan permukaan oli. Rentang pengukuran 1 mm – 4 mm dengan intensitas cahaya sebesar 4000 a.u. menunjukkan bahwa intensitas cahaya detektor maksimum, namun tidak mengalami perubahan. Keadaan ini disebabkan karena sudut pantulan cahaya dari permukaan oli dianggap masih dalam batas sudut yang masih diterima oleh serat optik *receiver*. Sedangkan pada rentang 5 mm – 20 mm, intensitas cahaya yang terbaca di detektor berkurang dengan bertambahnya jarak. Penurunan intensitas cahaya yang diterima oleh detektor karena pergeseran jarak disebabkan hasil hamburan cahaya oleh permukaan oli pada jarak tertentu ada yang dapat ditangkap secara maksimal dan ada yang tidak dapat ditangkap secara maksimal oleh serat optik *receiver*. Selain itu, menurunnya intensitas dapat dijelaskan dengan prinsip kuadrat terbalik, yaitu hubungan antara intensitas sumber cahaya (I) berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (R) antara sumber cahaya dengan letak suatu titik yang menjadi acuan, yaitu $I \propto 1/R^2$. Semakin besar jarak antara ujung sensor serat optik terhadap permukaan oli, maka semakin kecil intensitas yang ditangkap fotodetektor dan sebaliknya. Sensor serat optik dengan respon terbaik dari keempat pengambilan data yang telah dilakukan adalah pada pergeseran jarak 4 mm – 5 mm, dikarenakan terjadi perubahan paling besar dari posisi yang lain. Sehingga ditetapkan pada posisi 5 mm, peneliti akan menetapkan sebagai acuan untuk pengujian sistem sensor serat optik pada oli agar pengujian dapat berjalan optimal.

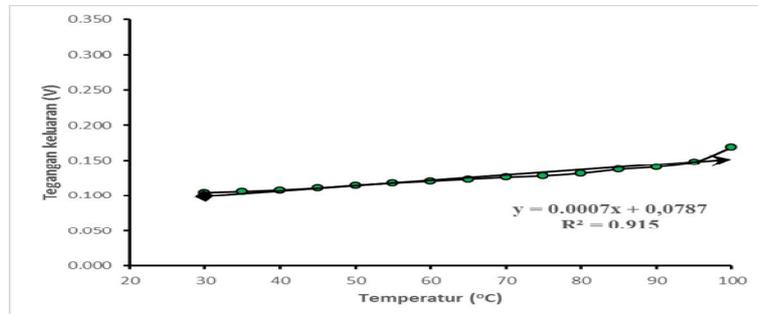
3.3 Hasil pengujian Sistem Sensor Serat Optik

Setelah dilakukan daerah kerja sensor serat optik, selanjutnya dilakukan pengujian sistem sensor serat optik serta pengambilan data perbandingan antara perubahan temperatur dengan tegangan keluaran sensor serat optik. Serat optik dan oli diposisikan secara vertikal dengan keadaan wadah oli tertutup seperti pada Gambar 4 dan diberikan perubahan temperatur dengan menggunakan kompor elektrik. Perubahan temperatur yang diberikan adalah 30 °C – 100 °C dengan interval 5 °C. Tegangan masukan pada penelitian ini ditetapkan sebesar 5 Volt, sedangkan oli yang digunakan adalah Oli Mesran SAE 20W-50. Pengujian sistem sensor dilakukan dalam dua kondisi, yaitu saat sampel (oli) dipanaskan dan didinginkan.

3.3.1 Analisis Perubahan Temperatur terhadap Tegangan Keluaran dan Kekentalan Oli Mesran SAE 20W-50 saat dipanaskan

Berdasarkan data yang diperoleh terlihat bahwa tegangan keluaran sensor serat optik terkecil terdapat pada temperatur 30 °C yaitu sebesar 0,105 V, sedangkan tegangan keluaran terbesar terdapat pada temperatur 100 °C yaitu sebesar 0,168 V. Hal ini menyatakan bahwa tegangan keluaran sensor berbanding lurus dengan kenaikan temperatur yang diberikan, dimana

semakin tinggi temperatur yang diberikan pada sampel (oli), maka tegangan keluaran sensor serat optik akan semakin besar. Data yang diambil merupakan data keluaran hasil pengujian sensor serat optik dari variasi temperatur pada saat oli dipanaskan. Data yang diperoleh diplot dalam sebuah grafik dengan menempatkan perubahan temperatur pada sumbu-x dan tegangan keluaran sensor serat optik pada sumbu-y, sehingga didapat grafik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Hubungan temperatur dengan tegangan keluaran sensor serat optik pada oli Mesran SAE 20W-50 saat dipanaskan

Dari Gambar 6 menggambarkan hubungan antara temperatur oli dengan tegangan keluaran sensor serat optik saat oli dipanaskan, yaitu tegangan keluaran sensor serat optik bertambah dengan kenaikan temperatur yang diberikan pada oli. Hubungan variasi temperatur dengan tegangan keluaran sensor serat optik pada oli Mesran SAE 20W-50 saat dipanaskan dinyatakan linier. Melalui pendekatan garis lurus diperoleh persamaan $y = 0,0007x + 0,0787$. Sensitivitas sensor adalah $0,0007 \text{ V/}^\circ\text{C}$ dan nilai derajat linieritas (R^2) sebesar 0.915, nilai ini cukup besar dan hampir mendekati linier. Rentang pengukuran yang dilakukan adalah $30 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan resolusi yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebesar $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

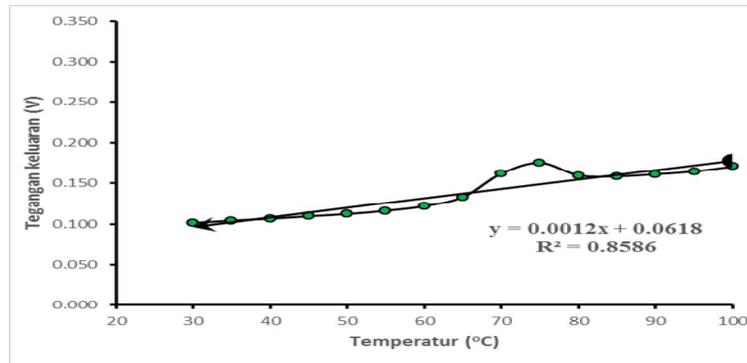
Teori kekentalan oli menjelaskan bahwa makin besar temperatur, ikatan molekul-molekul penyusunnya akan saling melemahkan. Molekul-molekul penyusun oli menjadi semakin berjauhan dan memiliki susunan yang tidak beraturan saat temperatur oli dinaikkan. Berkas cahaya laser dapat terhambur karena mengenai molekul penyusun yang tidak beraturan. Cahaya laser yang dimodulasikan ke oli terhambur dengan intensitas besar saat mengenai molekul yang tersusun tidak beraturan (Rolando, 2014). Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan keluaran sensor serat optik pada temperatur $30 \text{ }^\circ\text{C}$ meningkat saat dipanaskan hingga temperatur $100 \text{ }^\circ\text{C}$, yaitu dari $0,105 \text{ V}$ hingga $0,168 \text{ V}$. Kekentalan dapat mencapai nilai maksimum saat temperatur rendah dan kekentalan dapat mencapai nilai minimum saat temperatur tinggi.

3.3.2 Analisis Perubahan Temperatur terhadap Tegangan Keluaran dan Kekentalan Oli Mesran SAE 20W-50 saat didinginkan

Perubahan nilai tegangan keluaran yang terbaca pada detektor sebagai acuan terhadap perubahan kekentalan tidak hanya terjadi pada saat oli dipanaskan, tetapi juga terjadi pada saat oli didinginkan. Pengujian dilakukan pada saat temperatur oli $100 \text{ }^\circ\text{C}$ lalu dibiarkan dalam wadah dengan kondisi wadah tertutup, sehingga temperatur oli menurun hingga 30°C . Oli kembali di sinari berkas cahaya dari sumber cahaya (Laser Dioda) yang ditransmisikan melalui serat optik transmitter, lalu berkas cahaya akan terhambur karena mengenai molekul-molekul penyusun pada permukaan oli akan ditransmisikan kembali oleh serat optik *receiver* menuju fotodetektor (OPT 101). Berkas cahaya yang diterima oleh OPT 101 akan dikonversi menjadi tegangan keluaran analog oleh multimeter. Pengujian pada sistem sensor serat optik dilakukan sebanyak 5 kali pengambilan data. Hasil pengujian sistem sensor serat optik terhadap perubahan temperatur pada oli saat didinginkan dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan tegangan keluaran sensor ketika oli didinginkan (temperatur diturunkan) dari temperatur $100 \text{ }^\circ\text{C}$ hingga $30 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan interval $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Melalui pendekatan garis lurus diperoleh persamaan $y = 0.0012x + 0.0618$ memiliki sensitivitas sebesar $0.0012 \text{ V/}^\circ\text{C}$ dan

nilai derajat linieritas (R^2) sebesar 0.8586, hampir mendekati linier. Perbandingan data nilai tegangan keluaran sensor serat optik dan kekentalan oli Mesran SAE 20W-50 terhadap temperatur saat didinginkan dapat dilihat pada Gambar 8, dimana nilai kekentalan telah mengalami reduksi dengan faktor pembagi 1000. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan nilai tegangan keluaran sensor serat optik yang didapatkan bernilai kecil.



Gambar 7 Hubungan temperatur dengan tegangan keluaran sensor serat optik pada oli Mesran SAE 20W-50 saat didinginkan

Gambar 7 menunjukkan tegangan keluaran sensor ketika oli didinginkan (temperatur diturunkan) dari temperatur 100 °C hingga 30 °C dengan interval 5 °C. Melalui pendekatan garis lurus diperoleh persamaan $y = 0.0012x + 0.0618$ memiliki sensitivitas sebesar 0.0012 V/°C dan nilai derajat linieritas (R^2) sebesar 0.8586, hampir mendekati linier. Perbandingan data nilai tegangan keluaran sensor serat optik dan kekentalan oli Mesran SAE 20W-50 terhadap temperatur saat didinginkan dapat dilihat pada Gambar 8, dimana nilai kekentalan telah mengalami reduksi dengan faktor pembagi 1000. Hal ini dilakukan sebagai pembandingan nilai tegangan keluaran sensor serat optik yang didapatkan bernilai kecil.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa serat optik dapat diaplikasikan sebagai sensor untuk menentukan kekentalan oli Mesran SAE 20W-50 dengan metode *back scattering* yang memanfaatkan perubahan intensitas cahaya. Rentang pengukuran didapat dari 30 °C sampai 100°C dan nilai sensitivitas sensor sebesar 0,0007 V/°C saat oli dipanaskan dan 0,0012 V/°C saat oli didinginkan. Hubungan tegangan keluaran terhadap kenaikan temperatur (oli dipanaskan) dapat dilihat dari persamaan garis $y = 0,0007x + 0,0787$ dengan nilai regresi sebesar 0,915. Sedangkan hubungan tegangan keluaran terhadap penurunan temperatur (oli didinginkan) dapat dilihat dari persamaan $y = 0.0012x + 0.0618$ dengan nilai regresi sebesar 0,8586. Semakin tinggi temperatur, maka semakin tinggi tegangan keluaran, namun semakin rendah nilai kekentalan oli.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatul, Rizky M. dan Erika Rani, 2010, Analisis Karakteristik Pengaruh Temperatur dan Kontaminan Terhadap Viskositas Oli Menggunakan *Rotary Viscometer*, Jurnal Neutrino Vol. 3 No.1, Malang, UIN Maulana Ibrahim.
- Kodin, T., 2006, Perubahan Probe Sensor Serat Optik Untuk mengukur Konsentrasi Uap Metanol Menggunakan Polianilin Sebagai Cladding Pengganti, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Krohn, DA., 2000, *Fiber Optic Sensor, Fundamental and Application*, 3rd, ISA, New York.
- Mortier, R. M., 1997, *Chemistry and Technology of Lubricant*, 2nd, Blackie Academic and Professional, London, 147-151.
- Raharjo, Stefan Nugroho dan Hasto Sunarno, 2012, Identifikasi Fisis Viskositas Oli Mesin Kendaraan Bermotor Terhadap Fungsi Temperatur dengan Menggunakan Laser Helium Neon, Surabaya: ITS.

- Rolando, A., 2013, Analisa Kontras Spekel pada Oli Mesran SAE 20W-50 terhadap Perubahan Kekentalan dengan Variasi Temperatur Menggunakan LSI (*Laser Speckle Imaging*), *Skripsi*, FMIPA, Universitas Andalas, Padang.
- Wijaya, R., 2005, Perencanaan dan Pembuatan Alat Ukur Viskositas Oli Mesin pada Kendaraan Bermotor Berbasis Teknologi *Field Progmable Gate Array* (FPGA) *Xilinx* (C4010-XL), *Skripsi*, Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi-LIPI.