

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.022.08

ANALISIS PENGARUH SUHU MINYAK KELAPA SAWIT (CPO) TERHADAP NILAI TAHANAN TERMAL MEMPERGUNAKAN PEMODELAN KURVA I(V) ISOTERMAL SENSOR PTC

Dellia Yulita ^{a)}, Lazuardi Umar^{b)}

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau, Sp. Panam Pekanbaru

Email: ^{a)} dellia.yulita@gmail.com, ^{b)} lazuardi@unri.ac.id

Abstrak

Level sensor PTC sebagai *overflow protection* bekerja berdasarkan nilai tahanan termal (R_w). Sensor kesulitan mengidentifikasi fluida bersuhu tinggi dalam menentukan *switching* pompa “ON” dan “OFF”, karena nilai R_w dipengaruhi suhu medium. Analisa dilakukan dengan mengamati nilai R_w minyak sawit (CPO) akibat pengaruh suhu penyimpanan. Nilai R_w diperoleh dari pemodelan kurva I(U) sensor suhu PTC EPCOS tipe B59050D1100 yang diukur dalam minyak CPO dengan suhu variasi mulai 20°C sampai 80°C. Jangkauan model ditentukan mempergunakan kurva isotermal, yang memberikan hasil nilai R_w maksimum sebesar 110.2K/W dan dapat dimodelkan dengan persamaan polynomial. Berdasarkan hasil pengukuran R_w di udara sebelumnya maka terdapat perbedaan sebesar 62.6% sehingga nilai tahanan termal di udara dan di dalam CPO dapat dipakai sebagai penentu posisi *switch* pompa pengisi sensor level secara aman.

Kata-kata kunci: level sensor, PTC, tahanan termal, minyak CPO, isotermal .

Abstract

PTC level sensor for overflow protection works based on the thermal resistance (R_w). The sensor cannot identify high-temperature fluid in the container and determine the pump switching status “ON” and “OFF”. This is due to the influence of the medium temperature on the R_w . Analysis is performed by observing the R_w value of crude palm oil (CPO) as a result of the storage temperature. The R_w value was obtained from the modeling of I (U) sensor curve of EPCOS B59050D1100 with temperature variations ranging from 20°C to 80°C. The modeled area is then determined using the isothermal curve and is resulted R_w value of 110.2K/W. The ambient temperature influence on R_w can be modeled after polynomial equation. Compare to the previous air measurement, the thermal resistance in CPO has 62.6% vary than in the air. This value can be used to determine the position of the level sensor switch safely.

Keywords: level sensors, PTC, thermal resistance, CPO, isothermal

PENDAHULUAN

Data statistik menunjukkan hampir 70% perkebunan kelapa sawit yang ada di Indonesia terletak di pulau Sumatera. Hal ini mengakibatkan banyaknya pabrik kelapa sawit beroperasi di wilayah tersebut. Minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*, CPO) yang baru diolah memiliki suhu yang tinggi dan disimpan pada kontainer serta tanki-tanki raksasa sebelum dikapalkan. Sistem deteksi CPO pada tanki sangat dibutuhkan untuk menentukan tanki telah penuh dan guna mencegah terjadinya kerugian

akibat terjadinya luapan (*overflow*) CPO pada proses pengisian, yang menimbulkan pencemaran lingkungan. Sebuah sensor ketinggian (*level measurement*) berfungsi mengatur pengisian bahan atau material melalui pompa secara otomatis ke dalam tangki penampungan, dimana material yang diukur dapat berupa gas, cairan maupun padatan.

Metode penentuan ketinggian suatu bahan dalam tangki terbagi atas kontinyu dan non kontinyu. Pada penelitian [1] telah dilakukan sistem pengukuran kontinyu *level* suatu cairan dalam tangki berdasarkan kontrol jarak jauh menggunakan sensor kapasitif. Dua buah elektroda dipasang di dalam tangki sehingga *level* cairan dapat dideteksi berdasarkan nilai kapasitansi dari bahan diantara kedua elektroda. Teknik seperti ini sangat mahal dan memiliki respon yang rendah [2]. Sementara [3] menyelidiki level sensor jangkauan lebar mempergunakan interferometer Fabry–Perot berbasis serat optik yang memungkinkan pengukuran sensitivitas tinggi, Bobo [4] mempergunakan kisi serat *optic Bragg* dengan variasi cairan dan tahan perubahan suhu. Pengukuran ini memberikan hasil yang sangat teliti untuk pengukuran ketinggian fluida secara kontinyu namun memiliki harga yang mahal. Penelitian yang disampaikan oleh [5] telah mendesain sensor yang bekerja mempergunakan cincin laser dengan mode tunggal dalam menentukan ketinggian fluida.

Metode deteksi lainnya adalah non kontinyu seperti teknik pengukuran berdasarkan identifikasi tahanan termal (R_w) medium di dalam kontainer [6]. Elsa [7] telah memodelkan sensor suhu termistor *Positive Temperature Coefficient* (PTC) yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu untuk menentukan parameter sensor dan nilai tahanan termal R_w . Nilai R_w di udara dan cairan pengisi sangat berbeda sehingga dapat dipergunakan sebagai nilai penentu status sensor di udara atau terendam di dalam fluida. Metode ini memiliki kelemahan yaitu sensor mengalami kesulitan untuk mengidentifikasi medium dengan suhu tinggi. Hal ini disebabkan karena kurva karakteristik arus dan tegangan sensor, $I(U)$ saling tumpang tindih (*overlapping*) di udara dan di cairan bersuhu tinggi, sehingga menyebabkan kesalahan deteksi dalam menentukan status sensor.



GAMBAR 1. Sensor suhu PTC yang diproduksi EPCOS

Gambar 1 memperlihatkan sensor suhu termistor PTC dari Fa EPCOS yang mendeteksi perubahan besaran suhu menjadi besaran listrik. Sensor ini selain memiliki tahanan yang *non linier* juga memiliki kekurangan yaitu sifatnya yang spesifik.

Pada paper ini dibahas tentang pengaruh suhu medium pengisi dari minyak CPO terhadap perubahan nilai tahanan termal, R_w mempergunakan teknik pemodelan kurva $I(U)$ sensor, dimana suhu lingkungan dimaskkan ke dalam algoritma model. Berdasarkan hasil ini akan mudah ditentukan nilai tahanan R_w dan variasinya yang berubah akibat suhu lingkungan.

METODE PENELITIAN

Minyak Kelapa Sawit dan Karakteristiknya

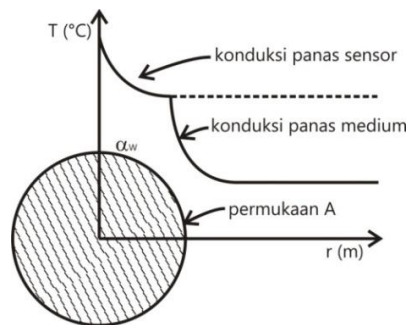
Pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan minyak nabati berupa minyak sawit mentah atau sering disebut *crude palm oil* (CPO) yang berwarna kuning, yang diperoleh dari hasil ekstraksi daging buah (*Mesocarp*) pada buah kelapa sawit [8]. Minyak kelapa sawit bersifat semi solid, hal ini dikarenakan minyak tersebut memiliki titik leleh yang cukup tinggi yaitu 25°C sampai dengan 55°C. Suhu 25°C merupakan suhu sesuai standar metode pengukuran yang juga menggambarkan kondisi

suhu kamar, sedangkan suhu 55°C merupakan suhu proses pengisian tangki dan pengaliran CPO dalam pipa [9]. Minyak CPO yang diuji memiliki suhu sampai dengan 80°C.

Sensor Deteksi Ketinggian Fluida Berdasarkan Prinsip Disipasi Panas

Prinsip deteksi ini mempergunakan perubahan konduktansi panas suatu sensor dimana arus yang mengalir akan memanaskan elemen detektor (*self heating*) sehingga suhunya berada di atas suhu lingkungan [10]. Hubungan antara sensor dan lingkungan yang mengelilinginya akan mempengaruhi nilai konduktansi termal [11]. Hubungan antara tahanan termal R_w dari sensor di dalam zat ukur yang bergantung pada nilai konduktivitas panas, koefisien perpindahan panas α_w dan luas permukaan A dari sensor dapat dijelaskan pada persamaan 1 berikut:

$$R_w = \frac{1}{\alpha_w \cdot A} \quad (1)$$



GAMBAR 2. Proses penjaralan suhu dari sensor di dalam zat yang diukur

Sensor akan mengalami pemanasan sendiri dimana suhunya (T_s) berada lebih tinggi dari suhu lingkungan (T_M) dan akan melepaskan panas tersebut ke lingkungan. Pada akhirnya akan terdapat suatu kondisi dimana panas yang diberikan sensor akan sama dengan panas yang diterima lingkungan. Implikasinya adalah suhu dari sensor tidak naik lagi dan terjadi kondisi kesetimbangan termal. Pada aplikasi praktis, perumusan kurva karakteristik sensor PTC dapat dijelaskan melalui persamaan 2 berikut [12]:

$$R(T) = R_{T0} e^{B \left(\frac{T_s - T_C}{T_s} \right)} + R_0 \quad (2)$$

Nilai R_{T0} merupakan tahanan sensor setelah kenaikan suhu (Ω), R_0 merupakan tahanan tanpa beban (Ω), T_C -suhu Curie (K), T_s suhu sensor (K) dan B merupakan nilai koefisien suhu pada sensor.

Pendekatan secara fisika dilakukan untuk menganalisa tahanan termal pada sensor PTC. Daya listrik sumber yang diberikan kepada sensor menghasilkan efek pemanasan pada sensor (*self-heating*) sebanding dengan tegangan yang mengalir pada rangkaian dan tahanan sensor. Pada kondisi kesetimbangan termal, besarnya panas yang didisipasikan sensor sebanding dengan daya termal yang diterima oleh lingkungan (P_{th}). Nilai tahanan termal R_w diperoleh seperti pada persamaan 3 sebagai berikut:

$$R_w = \frac{(T_s - T_M) \cdot \left(R_{T0} e^{B \left(\frac{T_s - T_C}{T_s} \right)} + R_0 \right)}{U^2} \quad (3)$$

Prinsip perhitungan tahanan termal R_w pada persamaan 3 dipergunakan pada penelitian ini sebagai dasar desain sistem sensor PTC yang dimanfaatkan untuk penentuan ketinggian permukaan CPO. Nilai suhu lingkungan T_M diukur dengan sensor terpisah mempergunakan sensor suhu PT100 dan

data pengukuran dimasukkan ke dalam algoritma penentuan status sehingga pengaruh suhu lingkungan terhadap sensor utama PTC dapat dieliminir.

Parameter-parameter pada persamaan 3 yaitu R_{T0} , R_0 , T_C , B dan T_S diperoleh melalui pemodelan kurva $I(U)$ mempergunakan metode penyelesaian *Jacobi Matrik*. Metode penyelesaian ini mempergunakan fungsi determinan pada matriks, yaitu dalam menyelesaikan nilai-nilai parameter dari persamaan 3 dimana fungsi determinan harus tidak sama dengan nol seperti pada persamaan 4 berikut:

$$FD(x_1, x_1, \dots, x_n) = \begin{vmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial x_n} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (4)$$

dengan fungsi sensor umum:

$$g_j = f(x_i; x_j) - y_j \quad (5)$$

pada titik-titik pengukuran $(x_j ; y_j)$ dengan parameter x_i . Pemodelan dilakukan dengan mengestimasi parameter pada persamaan 3 sebagai parameter awal dan algoritma akan menentukan secara konvergen nilai-nilai yang bersesuaian sehingga data dan kurva memiliki residu mendekati nol. Berdasarkan prosedur ekstraksi parameter ini maka parameter sensor R_{T0} , R_0 , B , T_C dan tahanan termal R_W diperoleh. Penulisan syntax MathCad berikut menjelaskan permodelan kurva $I(U)$ sensor suhu termistor PTC seperti pada persamaan 6.

*Given: guess values for the unknown variables R_{T0} , B , T_C , R_0
 root(f(var1, var2, ...), var1)*

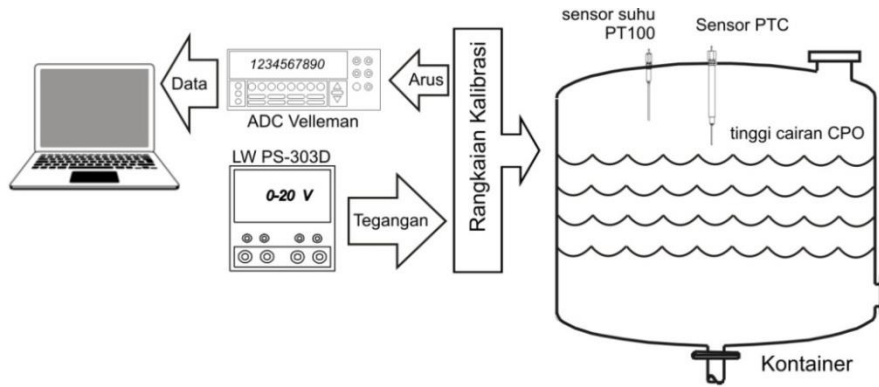
$$T_S = \text{root} \left[\left[\frac{V_T^2}{R_{T0} e^{\frac{B(t-T_C)}{t}} + R_0} \right] - \frac{1}{R_W} (t - T_M), t \right] \quad (6)$$

Fungsi *root(f(var1, var2, ...), var1)* memberikan nilai *var1* yang membuat fungsi *f* sama dengan nol. Hasil ini digunakan untuk prosedur ekstraksi parameter sebagai pada persamaan 7 berikut.

$$SSE(R_{T0}, R_0, B, R_W, T_C) = \sum_i \left[I_{\text{Data}} - \frac{V_T^2}{R_{T0} e^{\frac{B(t-T_C)}{t}} + R_0} \right]^2 \quad (7)$$

Minner(R_{T0}, R₀, B, R_W, T_C) = var₁, var₂, ..

Pengukuran nilai tahanan termal dilakukan pada kondisi *self heating* untuk menghasilkan kurva $I(U)$. Blok diagram karakterisasi ini diberikan pada Gambar 3. Kondisi *self heating* diperoleh dengan memvariasikan tegangan sumber U_S sehingga diperoleh efek pemanasan sehingga suhu sensor lebih tinggi dari pada suhu lingkungan ($T_S > T_M$). Hal ini menyebabkan terjadi perpindahan panas secara konduksi dan konveksi, yang dimulai dari inti sensor ke medium sekelilingnya. Perpindahan ini tergantung pada jenis dan suhu medium dan berimplikasi pada bentuk kurva $I(U)$ nya.

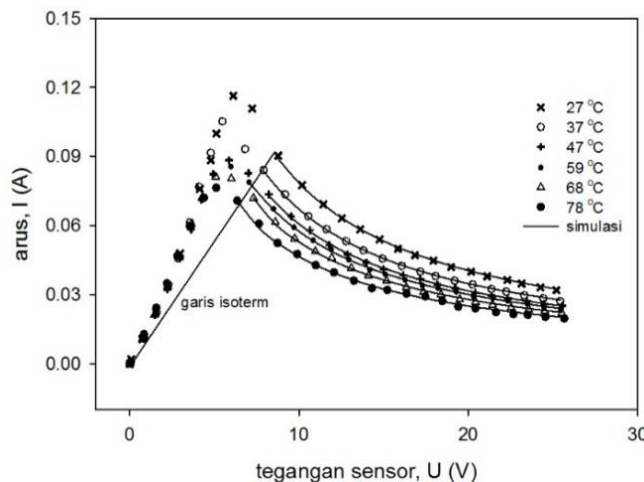


GAMBAR 3. Blok diagram karakterisasi sensor PTC untuk penentuan nilai tahanan termal medium

Pada penelitian ini, rangkaian karakterisasi telah terintegrasi dengan mikrokontroler sehingga tegangan analog yang diberikan pada sensor dapat secara digital diprogram dan diubah mempergunakan konverter digital ke analog (DAC). Sensor PTC dari Fa. EPCOS tipe B59050D1100 yang terendam dalam sampel CPO kemudian diuji. Efek *self heating* dicapai dengan memberikan sensor tegangan terprogram mulai dari 0V sampai dengan 30V, setiap kenaikan tegangan, respon sensor diukur dalam bentuk kurva I(U). Pengamatan variasi suhu CPO dilakukan dengan menempatkan sampel CPO dalam Oven Heraus tipe T6060 agar suhu sampel tetap konstan sampai dengan suhu sekitar 80°C. Kurva I(U) dengan variasi suhu CPO kemudian dimodelkan untuk menentukan nilai tahanan termalnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 berikut memperlihatkan kurva I(U) dari sensor PTC yang berada dalam minyak CPO dengan suhu bervariasi antara 27°C sampai suhu 78°C. Tiap-tiap suhu memiliki kurva I(U) tersendiri namun mempunyai kecenderungan yang sama. Pada awal kurva sampai dengan tegangan 5V, kenaikan arus tegangan kurva bersifat linier (*ohmic area*), kemudian arus naik mencapai maksimum pada titik Curie, yang diikuti penurunan konsumsi arus secara eksponensial. Kondisi suhu minyak CPO yang tinggi akan menurunkan konsumsi arus dimana sensor tidak memerlukan banyak daya untuk mencapai kesetimbangan termis karena lingkungan sensor itu sendiri telah panas.



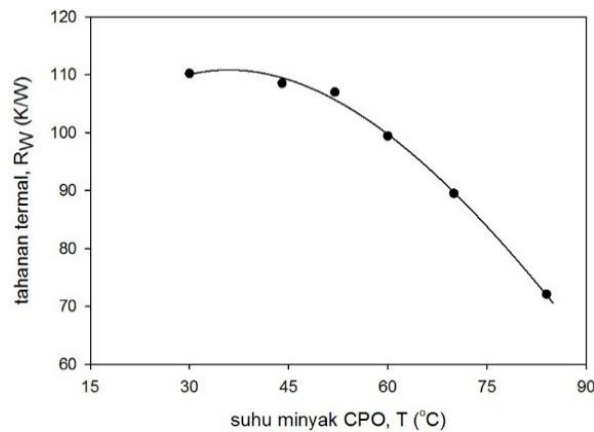
GAMBAR 4. Kurva I(U) sensor dengan pemodelan

Data I(U) kurva ini dimodelkan pada daerah tertentu seperti pada gambar 4, setelah titik Curie dimana jangkauan model ditentukan mempergunakan konsep garis isothermal [7]. Nilai parameter model yang dihasilkan dapat dilihat seperti pada tabel 1 berikut ini.

TABEL 1. Parameter hasil pemodelan sensor suhu PTC

No	Parameter	Simbol	
1	Tahanan sensor pada T_0	$R_{T_0} (\Omega)$	62.0
2	Tahanan tanpa beban	$R_0 (\Omega)$	0.01
3	Koefisien panas	B	190.3
4	Suhu Curie	$T_C (K)$	388
5	Suhu medium	$T_M (^\circ C)$	20 - 80
6	Jenis sensor	EPCOS tipe B59050D1100	
7	Medium	Minyak CPO	

Parameter sensor R_{T_0} , R_0 , B, T_C merupakan karakteristik sensor PTC dan berubah jika sensor mengalami degradasi atau kerusakan. Monitoring nilai parameter ini akan menjamin kualitas pengukuran sensor sepanjang masa operasinya. Sementara nilai tahanan termal R_w merupakan nilai yang diperoleh dari faktor disipasi panas sensor ke lingkungannya dan merupakan nilai transfer panas dalam bentuk (i) perpindahan konduktansi dari bahan sensor ke medium melewati rumah (*casing*) berbahan logam dan (ii) perpindahan konveksi dari permukaan sensor ke medium disekelilingnya. Kurva pada gambar 5 berikut memperlihatkan perubahan nilai tahanan termal dari sensor PTC yang berada dalam pada minyak CPO pada suhu yang bervariasi.



GAMBAR 5. Variasi nilai tahanan termal sensor pada sampel CPO dengan suhu tinggi

Pada gambar 5 terlihat bahwa nilai tahanan termal berubah terhadap suhu medium CPO dimana ketika suhu medium meningkat dari 20°C menjadi 80°C maka nilai tahanan termalnya menurun secara non linear dari 110.2K/W menjadi 72.1K/W yang dapat dinyatakan dengan persamaan polinomial sebagai berikut:

$$R_w = 78.46 + 1.93T - 0.03T^2 + 9.810^{-5}T^3 \tag{8}$$

Nilai tahanan termal R_w ini merupakan inversi dari nilai konduktivitas termal dari minyak CPO dan terlihat bahwa minyak CPO memiliki sifat sebagai penghantar panas yang baik. Minyak CPO yang dipanaskan akan mengalami degradasi menjadi material polar dan terjadinya perubahan kimia selama pemanasan yang akan mengubah sifat termal seperti koefisien transfer panas. Pemanasan minyak CPO juga akan menginduksi suatu reaksi bahan asam lemak bebas dan menyebabkan terjadinya formasi substansi baru yang akan mengubah sifat-sifat termal dari CPO [13]. Akibatnya, interaksi intermolekuler pada bahan CPO akan meningkat yang pada gilirannya menurunkan nilai viskositas minyak dan secara konsekuen akan meningkatkan nilai transfer panas.

Nilai koefisien termal dan tahanan termal dari minyak nabati adalah parameter penting pada suatu proses di dunia industri dan menjadi standar untuk aplikasi spesifik. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dirancang sistem *switching level sensor* mempergunakan nilai tahanan termal fluida sebagai faktor penentu (*decision*) untuk pengisian kontainer.

PENUTUP

Nilai tahanan termal R_w yang dipergunakan untuk aplikasi level sensor memperlihatkan variasi sebagai fungsi suhu. Penentuan tahanan termal didapatkan dari pemodelan kurva $I(U)$ sensor suhu PTC yang dimodelkan berdasarkan batasan kurva isothermal. Variasi suhu pada sensor dari 20°C sampai 80°C menghasilkan nilai tahanan termal sebesar 110.2K/W dan turun secara sebesar 34.5% yang dapat didekati dengan persamaan polinomial. Berdasarkan hasil pengukuran terdahulu di udara seperti pada [7], terdapat perbedaan sebesar 62.6% sehingga perbedaan nilai tahanan termal di udara dan di dalam CPO dapat dipakai sebagai penentu posisi *switch* pompa pengisi sensor *level* secara aman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh penelitian Hibah Unggulan Universitas bersumber dana BLU UR tahun 2017.

REFERENSI

- [1] F. Reverter *et al.*, "Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor," *Sensor and Actuator A: Physical*, vol. 138 (1) : pp. 1-8, 2007.
- [2] C. Yang *et al.*, "Fiber optical liquid level sensor under cryogenic environment," *Sensor and Actuator A*, vol. 94, pp.69-75, 2001,
- [3] W. Wenhua dan L. Fang, "Large-range liquid level sensor based on an optical fibre extrinsic Fabry-Perot interferometer," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 52, pp. 201-205, Jan. 2014.
- [4] G. Bobo *et al.*, "Reflective liquid level sensor based on modes conversion in thin-core fiber incorporating tilted fiber Bragg grating," *Optics Express*, vol. 22, Issue 10, pp. 11834-11839, 2014.
- [5] W. Zixiao *et al.*, "Liquid level sensor based on fiber ring laser with single-mode-offset coreless-single-mode fiber structure," *Optics & Laser Technology*, vol. 84, pp. 59-63, Okt. 2016.
- [6] Lazuardi, *Untersuchungen zur Selbstüberwachung von Füllstandssensoren*, VDI Reihe 8 Nr. 1026, Duesseldorf, Germany, 2004.
- [7] E. Maulina dan U. Lazuardi, "Karakterisasi dan rekonstruksi kurva $R(T)$ sensor suhu Positive Temperature Coefficient (PTC) dari kurva $I(V)$ menggunakan modul I-V Characterizer berbasis Arduino," *J. Komunikasi Fisika Indonesia (KFI)*, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru, ISSN.1412-2960, Oktober. 2016.
- [8] S. Tuminah, "Efek perbedaan sumber dan struktur kimia asam lemak jenuh terhadap kesehatan," *J. Pusat Penelitian dan Pengembangan Biomedis dan Farmasi Jakarta*, vol 38, pp. 43-51, 2010.
- [9] N. Wulandari *et al.*, "Physical properties of crude palm oil and their correlations to the quality attributes," *J. Teknol. dan Industri Pangan*, vol. 22 (2), pp. 177-183, 2011.
- [10] M. Horn dan U. Lazuardi, "Self-controlled PTC sensor for reliable overfill protection of liquids", *Proc. IEEE IMTC Conference*, Anchorage Alaska USA, 2002.

- [11] K. Kolahi, "Ein thermische Strömungswächter mit modellgestützter Selbstdiagnose," *Technisches Messen* 68, Oldenbourg Verlag, pp. 220-225, 2001.
- [12] E. Schrüfer, *Elektrische Messtechnik*, Leipzig : Hanser Verlag, 11. Auflage, 2014.
- [13] O. Fasina, dan Z. Colley, "Viscosity and specific heat of vegetable oils as a function of temperature", *International Journal of Food Properties*, 11(4): pp. 738-746, 2008.