

28 | Reconstruction of the R-T-Curve of the Thermistor Sensor Based on Parameter Extraction of the Current-Voltage Curve

Lazuardi Umar

Jurusan Fisika FMIPA UNRI

Kampus Bina Widya Jl. Prof. Dr. Muchtar Lutfi Sp. Baru Pekanbaru 28293

Abstract

A parameter extraction of the current-voltage curve of the thermistor sensor for reconstruction of its resistance-temperature dependency curve is proposed. The sensor is supplied with variable voltage of 0-30V and measured in a climatic room with temperature from -20°C to $+80^{\circ}\text{C}$ to obtain the current-voltage characteristic. Parameter extraction is used to control parameter changes of important sensor parameters such as resistances R_{T_0} and the temperature coefficient b of the thermistor itself in accordance to the temperature T_M of the medium. The result of the parameter extraction gives R_{T_0} value 143.286Ω at temperature of 373K , temperature coefficient b_1 0.01 K^{-1} and b_2 $9.993 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-2}$ respectively and are used to reconstruct the R-T-curve.

Keywords: Current-voltage curve, sensor thermistor, parameter extraction, self-heated mode

Pendahuluan

Dewasa ini terdapat banyak penggunaan komersial sensor PTC thermistor yang berdasarkan karakteristik tahanan-suhu (R-T). Salah satu dari aplikasi yang mempergunakan karakteristik tahanan-suhu adalah aplikasi sensor PTC thermistor sebagai proteksi pengisian (overfill protection) cairan di dalam bejana yang bekerja dengan mengevaluasi perubahan tahanan listrik dari thermistor R_T sebagai fungsi suhu lingkungan T_M (Roth, 2000; VDI 3519, 2002).

Umumnya aplikasi PTC thermistor adalah berdasarkan kondisi *steady state self-heated*. Jika tegangan catu konstan maka daya listrik yang melalui thermistor sensor adalah setara dengan panas yang terdisipasi dari permukaan sensor (*self-heated*) ke lingkungannya [Heywang, 1964; Feustel, 1982]. Kuantitas disipasi panas dari sensor tergantung pada tahanan thermal R_{th} dari sensor yang berada pada lingkungan tertentu. Pada kondisi dimana suhu medium lebih tinggi dibandingkan suhu sensor sendiri, pertukaran panas antara sensor dan medium sekelilingnya menjadi kurang efisien sehingga menggeser titik kerja sensor dalam mendeteksi adanya cairan di dalam bejana. Hal ini akan menyebabkan kegagalan dalam mendeteksi cairan.

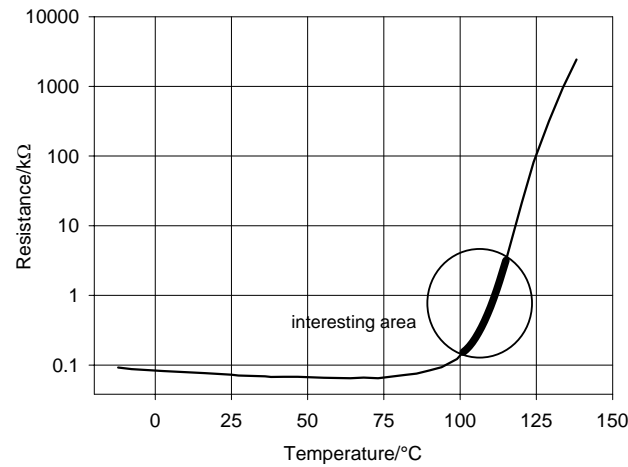
Dalam pengoperasiannya, sensor akan mengalami degradasi mutu pengukuran yang ditandai oleh perubahan parameter sensor. Umumnya, parameter tersebut diperoleh dengan mengkarakterisasi kurva $R(T)$ sensor. Namun, metode yang dipergunakan untuk memodelkan kurva $R(T)$ untuk memperoleh parameter model sensor memerlukan waktu yang lama serta diperlukan suhu konstan sepanjang

pengukuran. Oleh karena itu pada paper ini akan dijelaskan solusi masalah di atas dengan pemodelan kurva arus tegangan untuk menentukan parameter sensor serta juga dapat menentukan kopling termal R_{th} antara sensor dan medium sekitarnya.

Tinjauan Pustaka

Sifat Listrik Sensor Suhu PTC

Sensor suhu PTC dibuat dari semikonduktor yang didoping dengan donor barium titanate ($BaTiO_3$) akan memperlihatkan anomali kenaikan sensitivitas pada suhu Curie T_C . Karakteristik khas sensor, R_T dalam udara tenang sebagai fungsi suhu PTC, T (kondisi unloaded) diperlihatkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Tahanan sensor PTC-thermistor sebagai fungsi suhu (R_T - T characteristics)

Pada suhu rendah, tahanan dari PTC akan rendah disebabkan oleh the grain resistivity dan penurunan tipis terhadap suhu. Jika suhu T naik dan mencapai T_C , maka resistivitas ρ_S dalam grain boundary akan meningkat secara drastis [Al-Allak, 1989, Mallick et al 1968, Veijola, 1998]. Nilai resistivitas ρ_S dari material di atas suhu Curie bergantung secara signifikan pada potential barrier ϕ dalam wilayah grain-boundary [Otto, 2002]

$$\rho_S = \rho_0 e^{\left(\frac{e\phi}{kT}\right)} \quad (1)$$

dimana ρ_0 adalah konstanta, e muatan elektron dan k adalah konstantan Boltzmann. Potensial barrier untuk tegangan kecil adalah

$$\phi_0(\phi_0, T) = \frac{en_s^2}{8\epsilon_0 \epsilon_{gb}(T)N_D} \quad (2)$$

dimana n_s adalah densitas elektron tertangkap pada grain boundaries, N_D konsentrasi muatan pembawa, ϵ_0 permittivity free space dan $\epsilon_{gb}(T)$ adalah relative permittivity dari grain-boundary region. Di atas suhu T_C , akan mengikuti hukum the Curie-Weiss law

$$\epsilon_{gb}(T) = \frac{C}{T - T_C} \quad (3)$$

dimana C adalah konstanta Curie, $C = 1,2 \cdot 10^5$. Resistivitas grain-boundary dari sensor PTC thermistor, ditentukan dari persamaan (1-3), menghasilkan

$$\rho_s = \rho_0 e^{\frac{const. T - T_C}{k C T}} + \rho_{gr} \quad (4)$$

Karakteristik dari tahanan termistor diukur sebagai fungsi dari suhu (R_T -T characteristic). Untuk aplikasi praktis maka persamaan yang menggambarkan karakteristik PTC thermistor dapat diperlihatkan sebagai berikut [Horn et al, 2002]

$$R_T(T) = R_{T0} e^{b(T-T_0)} \quad (5)$$

dengan b – koefisien suhu, R_{T0} – tahanan pada suhu spesifik T_0 . Parameter ini akan mengalami perubahan pada pengoperasian sensor sebagai level sensor dan harus dimonitoring secara kontinyu.

Self Heated Mode Sensor Suhu

Pada self-heated mode (loaded), sensor menjadi panas oleh arus yang melewatinya. Efek self-heating ini tidak hanya bergantung dari beban yang diberikan, melainkan juga dari faktor tahanan thermal R_{th} . Kurva arus tegangan (I-V) menyatakan titik-titik kesetimbangan antara daya listrik yang dibutuhkan P_{el} dengan daya thermal P_{th} yang didisipasikan ke lingkungan, dan dinyatakan dengan persamaan (6) berikut [Sostman, 1997]:

$$U_T^2 \cdot \left(R_{T0} \cdot e^{B \left(\frac{T_s - T_c}{T_s} \right)} + R_0 \right)^{-1} = \frac{1}{R_{th}} (T_s - T_M) \quad (6)$$

Pada penelitian telah ditemukan bahwa pemodelan kurva I(U) mempergunakan persamaan (6) memberikan kesalahan sistematis sehingga persamaan R(T) dari sensor dimodifikasi menjadi:

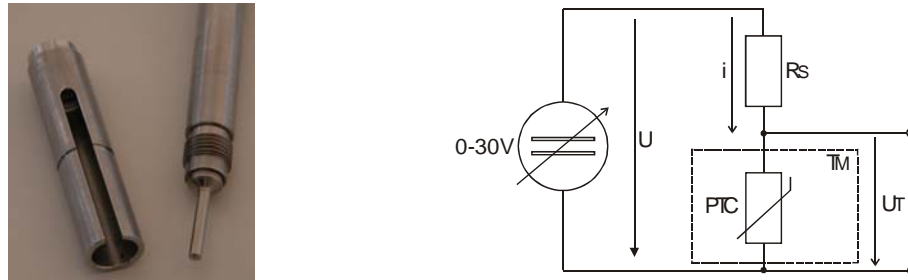
$$R_{th} = \left\{ \left(R_{T0} e^{b_1(T-T_0) + b_2(T-T_0)^2} \right) \cdot (T_s - T_M) \right\} \cdot (U^2)^{-1} \quad (7)$$

Dari pemodelan kurva arus tegangan (I-V) sensor diperoleh parameter-parameter R_{T0} , b_1 dan b_2 yang akan dipergunakan untuk merekonstruksi hubungan antara perubahan tahanan terhadap suhu, kurva R(T) dari sensor. Parameter ini juga menggambarkan

sifat dari sensor selama pengoperasian, dimana perubahan signifikan 1,5% dari nilai awal akan memperlihatkan kesalahan sensor dalam mengukur.

Hasil dan Pembahasan

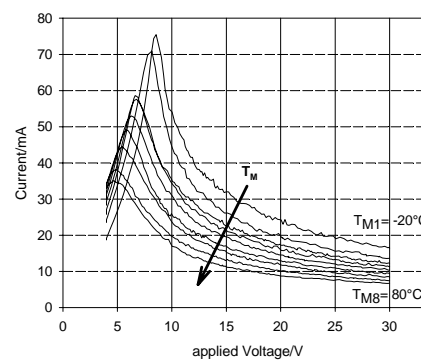
Pada penelitian ini dipergunakan sensor PTC thermistor dari tipe LS300 Fa Fafnir Hamburg yang mempunyai kemampuan tegangan maksimum sampai 30 V, gambar 2a. Untuk mengukur arus dan tegangan dipergunakan rangkaian pada gambar (2b). Tegangan operasional U diatur melalui komputer dan dihubungkan ke sumber tegangan terkontrol dari papan rangkaian Analog Devices tipe 6BP04-2 melalui serial interface RS-232C.



Gambar 2. (a.) Sensor PTC thermistor tipe LS300 Fa Fafnir, (b). Rangkaian untuk mengkalibrasi sensor

Sensor di berikan tegangan variabel 0-30 Volt dengan interval waktu 2-5 menit yang bertujuan untuk mencapai waktu kondisi kesetimbangan sensor setelah self-heated. Arus yang melalui sensor i dihitung dari $I = (U - U_T) / R_s$ dimana R_s adalah tahanan seri yang diketahui nilainya. Sensor di letakkan di dalam ruang bersuhu konstan dalam jangkauan antara -30°C sampai 200°C . Suhu lingkungan (medium) T_M diukur mempergunakan sensor Pt-100. Pada eksperimen dipergunakan program LabView berbasis program PC yang berfungsi mengatur alat-alat ukur untuk mengkalibrasi sensor PTC thermistor. Kurva $I(V)$ hasil pengukuran diperlihatkan pada gambar (3) berikut ini.

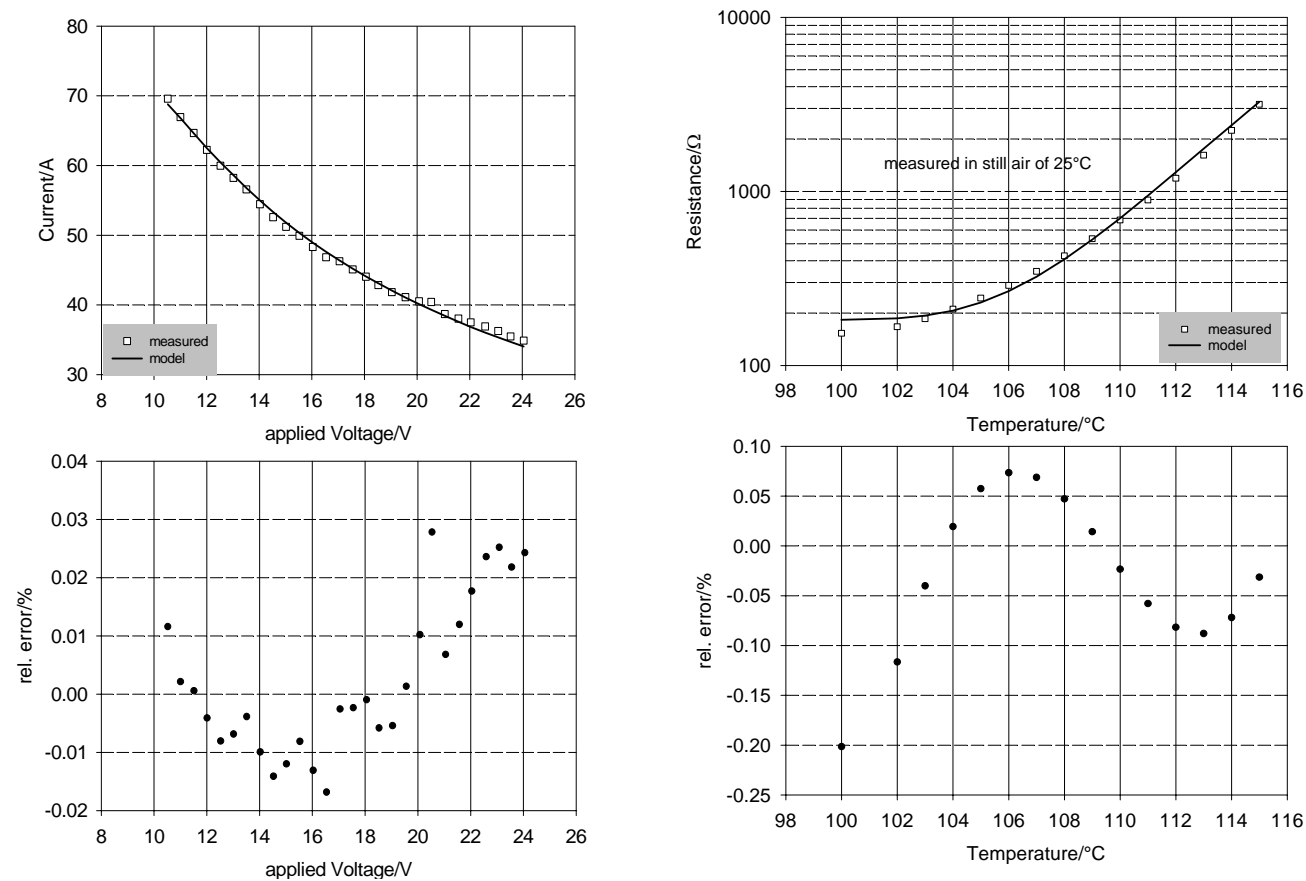
Gambar 3. Karakteristik $I(V)$ pada berbagai suhu dalam udara tenang



Hasil pemodelan sensor PTC tipe LS300 Fa Fanir diberikan pada tabel berikut ini.

Temperature coefficient	
b_1	0.01 K^{-1}
b_2	$9.993 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-2}$
Specified temperature T_0	$373 \text{ }^\circ\text{C}$
Resistance R_{T_0} at specified temp.	$143.286 \ \Omega$

Hasil dari pemodelan kurva I-V characteristic diperlihatkan pada gambar 4a berikut yang memberikan kesalahan maksimum relatif sebesar 0.3%. Pada gambar 4b merupakan rekonstruksi dari kurva suhu terhadap perubahan tahanan yang dibentuk dari persamaan (6) dengan parameter-parameter model yang diperoleh dari pemodelan kurva I(V). Dengan demikian, kurva R(T) dapat dibentuk dari hasil pemodelan kurva I(V).



Gambar 4. (a) Representasi dari model kurva arus dan tegangan yang diukur didalam udara tenang pada suhu 25°C , (b) hasil rekonstruksi kurva R(T) dari model parameter

Nilai parameter yang diperoleh dari pemodelan kurva menggambarkan karakteristik kurva sehingga dapat diperoleh dengan hanya memodelkan kurva I(V) dan membutuhkan waktu yang relatif sedikit jika dibandingkan dengan mengukur dan memodelkan kurva R(T) dari sensor.

Kesimpulan

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa kurva R(T) dari sensor dapat direkonstruksi dari pemodelan kurva arus tegangan sehingga memperoleh parameter model matematis. Parameter model ini menggambarkan karakteristik sensor sepanjang pengoperasiannya. Dengan memonitoring perubahan karakteristik ini melalui pemodelan kurva arus dan tegangan maka akan menghemat waktu serta dapat mengantisipasi perubahan proses pengontrolan tanki akibat kesalahan pendeteksian.

Daftar Pustaka

1. Al-Allak H. M., J. Illingsworth, A. W. Brinkman, and J. Woods, "Current-voltage characteristics of donor-doped BaTiO₃ ceramics," *Journal of Physics D*, vol. 22, Sept. 1989, pp. 1393-1397.
2. Feustel, O.; Schmidt, W.: *Sensorhalbleiter und Schutzelemente, Auswahlkriterien und Berechnungshinweise für Thermistoren und edelgasgefüllte Überspannungsableiter*. Vogel Verlag, 1982.
3. Heywang W., "Resistivity anomaly in doped barium titanate," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 47, no. 10, 1964, pp. 484-490
4. Horn, M., Umar L. 2002. *Self-controlled PTC Sensor for Reliable Overfill Protection of Liquids*. IMTC 2002 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. 21. -23. Mai, Anchorage Alaska USA
5. Mallick Jr. G. T. and Emtage P. R., "Current-voltage characteristics of semiconducting barium titanate ceramics," *Journal of Applied Physics*, vol. 39, 1968, pp. 3088-3094.
6. Otto, J. 2002. *Methoden der Füllstandmesstechnik, Eine aktuelle Übersicht*. VDI-Berichte 1712, Füllstandmesstechnik in der industriellen Praxis, Tagung Frankfurt, 4.-5. Dezember
7. Roth, P.: Ceramic PTC thermistor as sensor, Level measurement made easy. Siemens Matsushita Components GmbH, München.
8. Sostmann, H.: Thermistor Thermometer. *Fundamentals of Thermometry Part IV*, *Isotech Journal of Thermometry*, Volume 8 No. 2 (1997), S. 66-84.
9. VDI 3519 Blatt 1-2. Füllstandmessung von Flüssigkeiten und Feststoffen (Schüttgütern). VDI/VDE Verlag, S. 27-32.
10. Veijola T., "Electrothermal simulation models for NTC and PTC thermistors", *Proceedings of CSC'98*, vol. 2, Greece, 1998, pp. 950-955.