

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian telah dilaporkan dalam hubungannya dengan aplikasi sensor PTC untuk mendeteksi aliran udara seperti dalam [Makinwa, K. et al, 2002], yang mempergunakan sensor airflow pintar berdasarkan teknik modulasi sigma delta. Beberapa laporan riset terkini dalam [Prosser et al, 1999] telah memperlihatkan bahwa instrument deteksi telah dilengkapi dengan fungsi "smart" dan beberapa kemampuan terbatas untuk mendiagnosa. Kegagalan fungsi biasanya akan dapat dideteksi oleh pengguna melalui sinyal keluaran yang menyimpang dari spesifikasi operasinya.

II.1. Sensor Suhu Positive Temperature Coefficient (PTC)

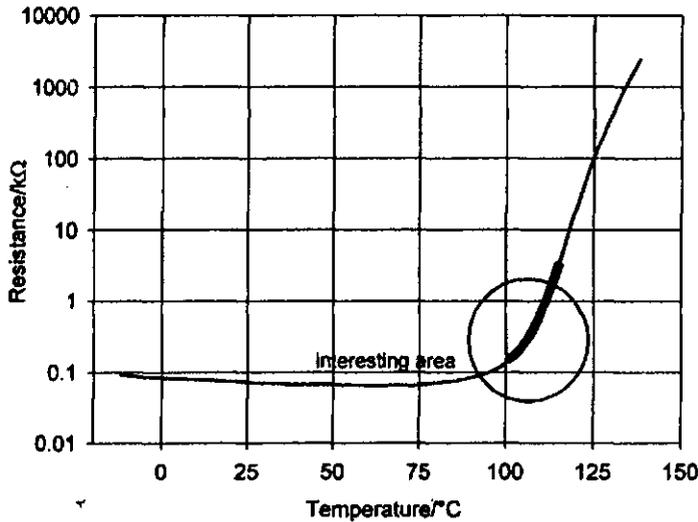
Dewasa ini terdapat banyak penggunaan komersial sensor PTC thermistor yang berdasarkan karakteristik tahanan-suhu ($R-T$). Salah satu dari aplikasi yang mempergunakan karakteristik tahanan-suhu adalah aplikasi sensor PTC thermistor sebagai proteksi pengisian (overfill protection) cairan di dalam bejana 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_W 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 tahanan sebagai fungsi dari suhu di sekelilingnya atau 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 diperlukan solusi masalah di atas dengan pemodelan kurva arus tegangan untuk menentukan parameter sensor serta juga dapat menentukan kopleng termal R_W antara sensor dan medium sekitarnya.

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 2.1.



Gambar 2.1. 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]

$$\rho_S = \rho_0 e^{\left(\frac{e\phi}{kT}\right)} \quad (2.1)$$

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

$$\phi_0(\phi_0, T) = \frac{en_s^2}{8\epsilon_0 \epsilon_{gb}(T) N_D} \quad (2.2)$$

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

$$\epsilon_{gb}(T) = \frac{C}{T - T_C} \quad (2.3)$$

dimana C adalah konstanta Curie, $C = 1,2 \cdot 10^5$.

Resistivitas grain-boundary dari sensor PTC thermistor, ditentukan dari persamaan (2.1-2.3), menghasilkan persamaan berikut yang memperlihatkan koefisien suhu material

$$\rho_s = \rho_0 e^{\frac{\text{const. } T - T_c}{kC \cdot T}} + \rho_{gr} \quad (2.4)$$

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]

$$R_T(T) = R_{T0} e^{b(T-T_0)} \quad (2.5)$$

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. Parameter-parameter model tersebut memperlihatkan karakteristik sensor PTC selama pengoperasian dan mutlak ditentukan.

Seperti dijelaskan oleh Lazuardi [2005] bahwa untuk menentukan tahanan termal maka sensor diberi arus searah untuk memberikan efek *self-heating*. Pada kondisi ini, sensor menjadi panas oleh arus i yang melewatinya. Kurva $I(U)$ dari sensor menyatakan titik-titik kesetimbangan antara daya tistrik yang dibutuhkan dengan daya thermal yang didisipasikan ke lingkungan dan dinyatakan dengan persamaan (2.6) berikut ini:

$$U_T^2 \cdot \left(R_{T0} \cdot e^{B \left(\frac{T_s - T_c}{T_s} \right)} + R_0 \right)^{-1} = \frac{(T_s - T_M)}{R_w} \quad (2.6)$$

dimana R_w adalah tahanan thermal (K/W), T_s suhu sensor (K), T_M suhu lingkungan (K) dan U_T tegangan pada sensor (V).

Untuk memperoleh parameter-parameter model dari persamaan (2.5) maka kurva $I(U)$ dimodelkan berdasarkan persamaan (2.6) di atas dalam suatu sistem persamaan non linear. Parameter-parameter model ini menyatakan kondisi stabilitas dari sensor, terutama harga tahanan nominal R_{T0} dan nilai koefisien suhu B . Bagian ini secara teknologi dipengaruhi oleh cacat produksi dan diproduksi dengan nilai toleransi tertentu [Feustel et al, 1982, Wood, 1978]. Tiap sensor memiliki karakteristik tersendiri sehingga harus dikalibrasi.

Pengaruh lingkungan berupa dampak fisika dan kimia pada sensor diterima komponen elektronik sebagai pembebanan yang mengakibatkan perubahan fisis seperti efek penuaan (*aging*). Dampak fisis ini dihasilkan dari perubahan struktur keramik dari bahan sensor, perubahan susunan molekul atau perubahan

keadaan kosentrasi dari komponen-komponen penyusun dari sistem molekul banyak [Hanke, 1973]. Sebagai contoh akibat beban perubahan suhu secara permanen maka melalui proses rekristalisasi dalam struktur terjadi perubahan kerapatan logam timah. Proses difusi pada bahan keramik juga bergantung tipe-tipe keramik, metalisasi alloy, kelembaban, suhu operasi, tipe dan besar tegangan yang diberikan dan parameter-parameter lainnya [Wise, 1992; Hill et al, 1991].

Efek penuaan (*aging effect*) ini diperlihatkan pada pergeseran (*drift*) kurva karakteristik arus tegangan (*I-U curve*) dari sensor thermistor yang berpengaruh kepada perubahan parameter-parameter elektrik dari sensor. Pengamatan berkala dari parameter sensor (*self-control sensor*) bertujuan agar alat-alat dalam pengoperasiannya selalu berada dalam daerah-toleransi (*tolerance range*) dari proses. Dalam operasi sensor-sensor bertugas memberikan sinyal yang dipergunakan untuk mengatur fungsi alat dan mengamati nilai batas toleransi. Dengan demikian kasus gangguan dan kerusakan peralatan yang membahayakan jiwa manusia, kerusakan pada mesin dan terhentinya proses produksi dapat dihindari [Schneider, 1996]. Untuk menentukan nilai-nilai dari parameter model maka sensor harus dikalibrasi.

Dari pemodelan kurva arus tegangan (*I-U*) sensor diperoleh parameter-parameter R_{T0} , b 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

II.2. Pemodelan Kurva Arus Tegangan Sensor

Pada penelitian ini dipergunakan pendekatan pemodelan matematis untuk menentukan tahanan thermal dari sensor PTC. Informasi untuk menentukan karakteristik sensor ditentukan dari model dengan besaran ukur yang dinyatakan sebagai parameter seperti diberikan sebagai berikut [Traenkler, 1996] :

$$g(a_j, x) = y - f(a_j, x) = 0 \tag{2.7}$$

dimana hasil pengukuran dinyatakan dengan y , besaran ukur x dan a_j adalah model dari parameter yang akan ditentukan. Persyaratan untuk menyelesaikan sistem persamaan ini dinyatakan dalam matrix Jacobi berikut ini:

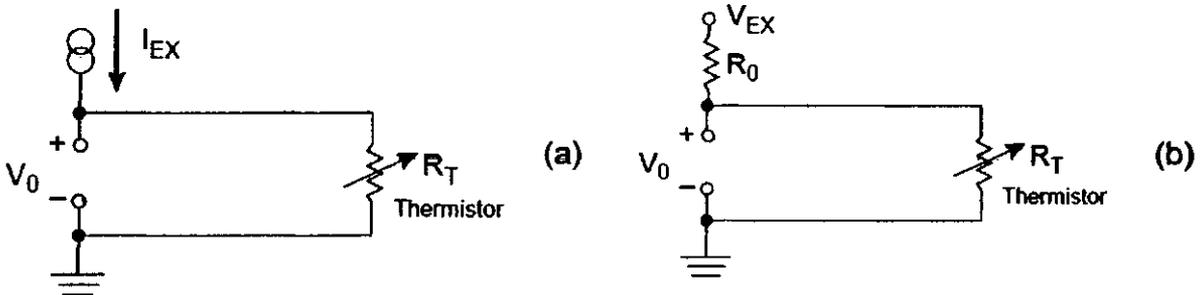
$$\frac{D(g_i)}{D(a_j, x)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial g_1}{\partial x} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_n}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial g_n}{\partial x} \end{vmatrix} \neq 0 \tag{2.8}$$

Untuk mengoptimasi persamaan pemodelan arus-tegangan (I-U) dipergunakan nilai awal dalam menentukan parameter persamaan. Parameter secara iteratif diubah sampai diperoleh harga minimum sesuai dengan metode kuadrat terkecil (*leastsquare-method*).

II.3. Rangkaian Pengukuran Thermistor

Divais suhu merupakan suatu piranti resistive sehingga thermistor harus dicatu dengan arus untuk menghasilkan tegangan yang dapat dideteksi oleh sistem akuisisi data [Wood, 1978]. Tahanan dan sensitivitas yang tinggi dari thermistor menyederhanakan rangkaian yang dibutuhkan dan pengolah isyarat. Teknik yang paling umum adalah menggunakan sumber arus konstan dan mengukur tegangan yang timbul diantara thermistor, seperti diperlihatkan pada gambar 2.2 (a), tegangan terukur V_0 dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$V_0 = R_T \cdot I_{EX} \tag{2.9}$$



Gambar 2.2. Pengukuran sensor suhu thermistor PTC mempergunakan (a) sumber arus konstan dan (b) sumber tegangan konstan dalam rangkaian pembagi tegangan

Alternatif lain adalah dengan memberikan tegangan konstan V_{EX} , dan sebuah tahanan referensi, R_0 , dan divais dikonfigurasi dalam rangkaian pembagi tegangan. Pada konfigurasi yang diperlihatkan pada gambar 2.2 (b) ini, tegangan keluaran V_0 akan diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$V_0 = V_{EX} \cdot \left(\frac{R_T}{R_T + R_0} \right) \tag{2.10}$$

Tingkat tegangan sinyal keluaran akan bergantung langsung pada tahanan thermistor dan magnitude dari sumber tegangan atau arus eksitasi. Konfigurasi ini dipergunakan untuk menentukan tegangan jatuh pada pengukuran sudut vektor aliran udara.