

## PEMBUATAN ALAT UKUR TEMPERATUR UNTUK MONITOR SUHU AIR DALAM PIPA PENDINGIN REAKTOR TRIGA MARK II DI PPTN

Didi Gayani, Sugito, M. Kadrusman, N. Juanda  
Pusat Penelitian Teknik Nuklir-Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

PEMBUATAN ALAT UKUR TEMPERATUR UNTUK MONITOR SUHU AIR DALAM PIPA PENDINGIN REAKTOR TRIGA MARK II DI PPTN. Pengukur temperatur dibuat untuk mengukur temperatur air yang mengalir dalam pipa pendingin dengan daerah ukur 10 sampai 50°Celsius. Alat ini dilengkapi dengan sistem alarm dengan lampu sebagai indikator yang menunjukkan bahwa temperatur yang diukur telah melebihi batas yang diperbolehkan. Sensor yang digunakan adalah resistor termal yang mempunyai koefisien temperatur positif. Sensor tersebut dipasang dalam pipa aliran air pendingin dan melengkapi suatu rangkaian jembatan Wheatstone, kemudian nilai ketidakseimbangan dari jembatan sebagai akibat perubahan temperatur diperkuat melalui penguat operasional sehingga memberikan besaran tegangan yang dikalibrasikan menjadi besaran temperatur. Besarnya temperatur sebagai batas alarm dapat diatur melalui resistor variabel.

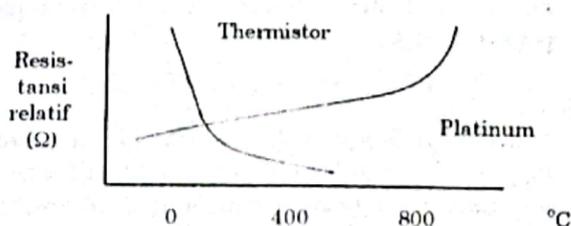
### ABSTRACT

CONSTRUCTION OF TEMPERATURE MEASURING INSTRUMENT FOR MONITORING WATER TEMPERATURE IN THE COOLING PIPE OF TRIGA MARK II REACTOR-BANDUNG. Temperature measuring instrument is designed to monitor the temperature of water that flowing in the cooling pipe in the range of 10° to 50°C. It is also furnished with alarm system to monitor the excess of permitted value through a lamp as an indicator. The sensor being used is nickel thermal resistor which has positive temperature coefficient. The sensor is placed in the cooling pipe, acting as a part of a Wheatstone bridge. The value of "out of balance" as an effect of temperature variation is amplified by operational amplifier to give a voltage that can be calibrated to temperature. The maximum value of temperature as a limit of permitted value in the alarm system can be adjusted through the variable resistor.

### PENDAHULUAN

Di dalam pengoperasian reaktor harus dilakukan pemantauan temperatur dari sirkulasi air pendingin untuk mencegah keadaan yang tak diinginkan dalam operasi reaktor tersebut. Pemantauan temperatur ini dilakukan pada bagian pipa primer tempat air pendingin mengalir. Alat ukur temperatur secara elektronik dapat menggunakan bermacam-macam sensor sebagai *transducer* di antaranya adalah termokopel, resistor termal (thermal resistor) atau thermistor NTC. Dalam makalah ini akan dibahas penggunaan sensor resistor termal. Berbeda dengan thermistor NTC yang mempunyai koefisien temperatur negatif besar, resistor termal ini mempunyai koefisien temperatur positif relatif kecil namun perubahannya lebih linier untuk daerah (range) temperatur sama. Resistor termal biasanya terbuat dari platina, nikel atau tembaga yang dililitkan pada isolator, sedangkan thermistor NTC terbuat dari bahan semikonduktor dari campuran mangan, kobalt

dan oksida nikel dalam perbandingan tertentu. Gambar 1 memperlihatkan karakteristik resistansi thermistor dan resistor termal platina terhadap perubahan temperatur. Konstruksi resistor termal yang digunakan pada peralatan ini bentuknya sudah terancang khusus dengan *montase baud* untuk dipasangkan pada sebuah pipa, dibuat oleh Lewis Probe Engineering, USA, dengan bahan resistifnya nikel. Alat pengukur temperatur ini dirancang untuk mengukur



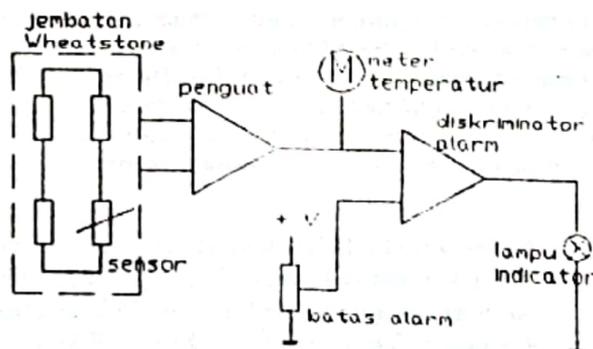
Gambar 1. Karakteristik resistansi termistor NTC dan resistor termal platina akibat temperatur

temperatur air pendingin dengan daerah ukur dari 10°C sampai 50°C.

### BAHAN & TATA KERJA

Metode yang digunakan dalam teknik pengukuran temperatur ini adalah metode simpangan dari suatu jembatan Wheatstone yang dibentuk dari resistor-resistor yang presisi dan resistor termal sebagai sensor temperatur. Apabila terjadi ketidakseimbangan jembatan sebagai akibat kenaikan temperatur, tegangan yang ditimbulkan diperkuat oleh penguat linier menjadi tegangan yang dapat diolah dan dikalibrasikan menjadi besaran temperatur.

Gambar 2 memperlihatkan diagram blok dari rangkaian pengukur temperatur tersebut. Suatu rangkaian alarm dipasang untuk memberikan batas yang diizinkan dari temperatur yang diukur. Besarnya batas temperatur yang diizinkan dapat diatur melalui pengaturan resistor variabel. Seandainya temperatur yang diukur melebihi batas yang diizinkan, lampu indikator akan menyala, kemudian akan padam bila temperatur yang diukur telah berada di bawah batas dan dilakukan penekanan tombol "reset".



Gambar 2. Diagram blok alat ukur temperatur

### Resistor Termal

Nilai resistansi suatu resistor sangat bergantung pada temperatur. Persamaan yang menyatakan ketergantungan ini tertera pada persamaan 1.

$$R_{T2} = R_{T1} [1 + \alpha (T_2 - T_1)] \quad (1)$$

$T_1$  dan  $T_2$  = temperatur pada keadaan 1 dan 2;  
 $R_{T1}$  dan  $R_{T2}$  = nilai resistansi pada  $T_1$  dan  $T_2$ ;  
 $\alpha$  = faktor pengali yang disebut koefisien temperatur dari bahan resistif (bervariasi antara  $2 \times 10^{-2}/^\circ\text{C}$  dan  $2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ).

Tabel 1 menunjukkan daftar koefisien temperatur untuk beberapa bahan resistif yang

Tabel 1. Koefisien temperatur dari bahan resistif

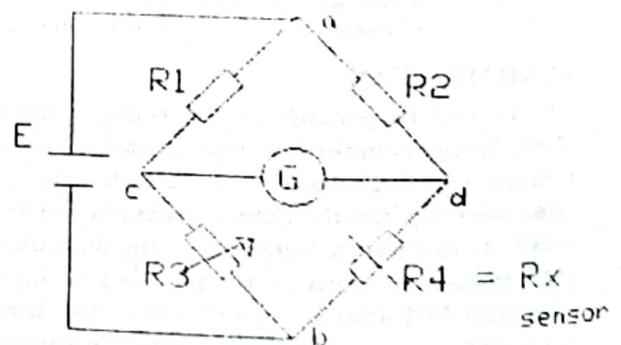
Material	koefisien temperatur ( $\alpha \times 10^3$ )
Nikel	6,70
Besi	4,00
Perak	4,30
Platina	4,10
Merkuri	3,92
Mangan	0,99
Karbon	$\pm 0,02$ - 0,70

umum (dikutip dari Principles of Electronic Instrumentation, Diefenderfer).

Ketergantungan terhadap temperatur ini digunakan untuk mengukur temperatur. Resistor termal platina lebih banyak digunakan pada suhu yang tinggi dan daerah ukur yang lebar karena ketergantungan terhadap temperaturnya relatif lebih linier dan merupakan standar dari  $-190^\circ\text{C}$  sampai  $+660^\circ\text{C}$ .

### Jembatan Wheatstone

Jembatan Wheatstone merupakan metode yang teliti untuk pengukuran resistansi suatu resistor. Keseimbangan bisa didapat dengan mengatur  $R_3$  sehingga tidak ada arus mengalir melalui Galvanometer G (Gambar 3).



Gambar 3. Penempatan sensor temperatur melengkapi suatu Jembatan Wheatstone

Dalam keadaan setimbang, maka diperoleh persamaan 2,

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (2)$$

Pengukuran temperatur dengan jembatan Wheatstone justru memanfaatkan ketidakseimbangan jembatan tersebut sebagai akibat

kenaikan temperatur pada  $R_x$  (dalam hal ini sebagai sensor). Pengukuran dengan metode ini sangat baik untuk pengamatan yang kontinyu. Besarnya tegangan pada Galvanometer (c-d) dapat dicari menurut theorem Thevenin dengan menghilangkan Galvanometer, sehingga diperoleh:

$$E_{cd} = E_{ac} - E_{ad} = I_1 R_1 - I_2 R_2 \quad (3)$$

dengan  $I_1 = \frac{E}{R_1 + R_3}$  dan  $I_2 = \frac{E}{R_2 + R_4}$

maka, persamaan 3 menjadi:

$$E_{cd} = E \left( \frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right) \quad (4)$$

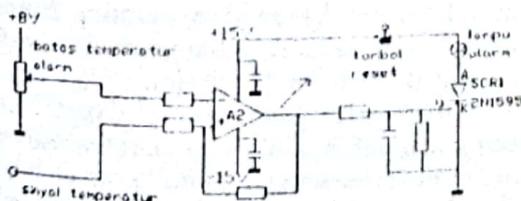
bila  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  dan  $R_4 = R_x$   
maka diperoleh:

$$E_{cd} = \frac{E (R_x - R)}{2 (R + R_x)} \quad (5)$$

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa sensitivitas jembatan Wheatstone dapat diperbesar dengan menaikkan nilai tegangan E, akan tetapi kenaikannya dibatasi oleh disipasi daya sensor yang diizinkan. Tabel 2 memperlihatkan besarnya tegangan  $E_{cd}$  untuk harga  $R = 100$  ohm dan  $R_x$  bervariasi.

#### Rangkaian alarm

Rangkaian alarm dimaksudkan untuk memberikan peringatan saat temperatur yang diukur melebihi batas yang diizinkan. Rangkaian ini dibentuk dari suatu penguat operasional yang difungsikan sebagai komparator untuk tegangan keluaran dari penguat sebelumnya dan tegangan yang menjadi batas temperatur yang diizinkan (Gambar 4). Apabila tegangan tersebut lebih besar dari batasnya, keluaran komparator (A2) menjadi positif yang mampu



Gambar 4. Rangkaian alarm dengan SCR

Tabel 2. Daftar nilai tegangan  $E_{cd}$  karena perubahan resistansi  $R_x$ , tegangan  $E = 1$  Volt

$R_x$ ( $\Omega$ )	$E_{cd}$ (mV)
90	- 26,3
92	- 20,8
94	- 15,5
96	- 10,2
98	- 5,1
99	- 2,5
100	0
101	2,5
102	5,0
104	9,8
106	14,5
108	19,2
110	23,8

untuk memicu Silicon Controlled Rectifier (SCR) menjadi keadaan konduksi sehingga lampu menyala. Keadaan konduksi tersebut tetap berlangsung selama temperatur yang diukur tidak berada di bawah batasnya dan tidak dilakukan penekanan tombol sebagai pengaturan kembali ("reset").

#### Rangkaian lengkap

Gambar lengkap dari rangkaian pengukur temperatur tersebut diperlihatkan pada Gambar 5. Rangkaian lengkap dari peralatan ini terdiri dari 3 kartu unit rangkaian, yaitu:

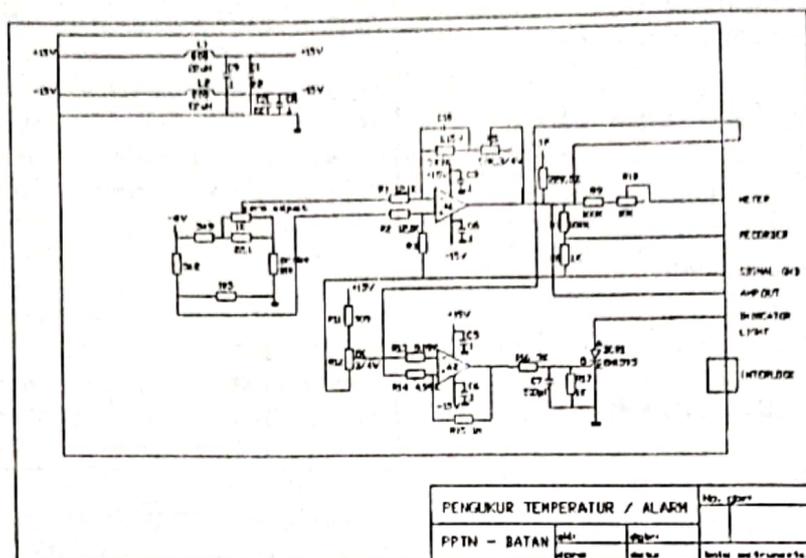
1. Kartu Rangkaian Catu Daya: +15V, -15V, +8V,
2. Kartu Rangkaian Jembatan Wheatstone,
3. Kartu Rangkaian Penguat dan Alarm.

Karena penunjukkan temperatur harus terbaca di ruang kontrol reaktor maka antara sensor dan rangkaian jembatan Wheatstone dihubungkan melalui kabel yang cukup panjang ( $\pm 30$  meter).

#### Cara kalibrasi

Untuk mengkalibrasi alat ukur temperatur ini dilaksanakan dengan cara sebagai berikut:

1. Mengukur es dengan temperatur yang diketahui sebagai  $0^\circ$  Celcius. Helitrim 1K sebagai pengatur nol ("zero adjust") diatur sehingga meter indikator menunjukkan angka  $0^\circ$  Celcius.
2. Kemudian mengukur air panas pada temperatur yang diketahui sebagai  $50$  derajat Celsius. Helitrim R5 (5K) diatur sehingga meter indikator menunjukkan angka  $50^\circ$  C.



Gambar 5. Rangkaian lengkap pengukur temperatur

3. Mengatur R12 (2K) sebagai batas temperatur yang diukur sambil mengukur air pada temperatur sebagai batas alarm (misal 45°C) sehingga lampu menyala.

**HASIL & DISKUSI**

Dari hasil pengamatan terhadap unjuk kerja dari alat tersebut dengan rangkaian seperti terlihat pada Gambar 5, ternyata cukup memberikan hasil pengukuran yang linier untuk daerah ukur dari 10 sampai 50 °C seperti terlihat pada tabel hasil pengukuran (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Pengukuran

Temperatur (°C)	Tegangan (V)
7	0,65
10	1,01
15	1,51
20	2,03
25	2,54
30	3,02
35	3,51
40	4,00
45	4,51
50	5,00

Grafik dari hasil pengukuran ini diperlihatkan pada lampiran 2.

**KESIMPULAN & SARAN**

Dari pengalaman tersebut di atas dapat ditarik beberapa catatan sebagai berikut:

1. Rangkaian alat pengukur ini dapat digunakan untuk mengukur temperatur air pendingin reaktor dalam pipa yang umumnya berkisar antara 10 sampai 50 °C.
2. Rangkaian alarm dapat dikembangkan lebih jauh untuk sistem keamanan dalam operasi reaktor.
3. Dengan digunakannya penguat operasional untuk memperbesar tegangan dari jembatan Wheatstone, maka keluaran dari penguat cukup besar dan mampu diproses lebih lanjut, misalnya dikonversikan ke digital untuk diproses komputer.
4. Ketelitian alat pengukur ini dapat dikembangkan lebih tinggi dengan merancang sistem pembacaan ("readout") yang lebih baik misalnya sistem digital. Karena pembacaan yang digunakan saat ini melalui meter indikator dengan skala maksimum 50°C dan spasi pembacaan 1°, maka ketelitian pembacaan adalah 0,5 °C.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, Instrumentation System: Operation & Maintenance Manual, Prepared for Institute of Nuclear Technology AERE, Bangladesh, General Atomic, (1993).
2. Anonim, Linear Hand Book, National Semiconductor, (1982).
3. Diefenderfer, Principles of Electronic Instrumentation, Tokyo, Topan, (1972).
4. William, D. C., Electronic Instrumentation and Measurement Techniques, New Jersey, Prentice Hall, (1979).

## DISKUSI

### Dudung:

1. Apakah data temperatur air s.d.  $50^{\circ}\text{C}$  diperoleh dari reaktor atau air tempat lain? Apakah air primer temperaturnya tidak boleh lebih dari  $49^{\circ}\text{C}$ ?
2. Bagaimana keadaan sensornya, langsung/tidak langsung kena air? Bagaimana pengaruh dari turbulensi?

### Didi Gayani:

1. Data yang ditampilkan di sini adalah hasil dari pengukuran percobaan di laboratorium yang ternyata cukup linier. Namun, alat ini pun dapat digunakan di reaktor dalam keadaan sebenarnya dengan probe yang sudah terpasang serta dikalibrasi dengan air yang sudah diketahui temperaturnya, untuk menentukan batas temperatur alarmnya.
2. Sensor mempunyai *montase baud* yang siap dipasangkan pada pipa dengan permukaan sensor langsung menyentuh air. Sensor pun dipasangkan pada pipa di kran air yang relatif tidak lebih deras dari pipa utama. Di samping itu, sensor mempunyai bentuk yang relatif besar sehingga *time constant* dan respon terhadap temperatur agak besar. Namun, *time constant* yang agak besar pun tidak menjadi masalah karena penempatan sensor ini digunakan untuk pengukuran yang kontinyu.