

PEMBUATAN PROBE TERMOKOPEL

Sri Mulyono Atmojo* Iswanto**

*Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir- BATAN

**Pusat Standardisasidan Jaminan Mutu Nuklir - BATAN

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan probe (pelindung) termokopel yang digunakan untuk mengukur suhu tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah memfungsikan kembali termokopel yang terintegrasi dengan probe bahan *stainless-steel* (SS) yang ada dipasaran. Probe dibuat dari pipa dengan ukuran panjang 53 cm, tebal 0,25 cm. Salah satu ujung pipa tersebut ditutup dan dilas dengan SS pejal tebal 0,4 cm. Probe kemudian dirangkai dengan termokopel dan dikalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan cara: unit termokopel ini digunakan untuk mengukur suhu oven bersama-sama dengan unit termokopel lain yang ada di dalam oven. Suhu ruang oven dinaikkan dari suhu kamar hingga suhu mencapai 700°C. Pengamatan dilakukan pada setiap selang 50°C, dimulai dari penunjukan suhu 150°C. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa termokopel dengan probe SS buatan sendiri mempunyai deviasi pengukuran suhu antara 0,7 % - 6,7 %. Kesimpulan dari percobaan ini adalah termokopel yang terintegrasi dengan probe bahan SS yang ada dipasaran, cukup memadai untuk pengukuran suhu, dibawah 1000 °c.

Kata kunci : probe, termokopel, stainless-steel

THERMOCOUPLE PROBE MANUFACTURING

ABSTRACT

Thermocouple probe for high temperature measuring was carried out. Aim of this experiment is to refungtion of the thermocouple, so this thermocouple can be used for measuring temperature. Probe is made of stainless steel pipe in which that size are 53 cm length, 0,25 cm thick, and 2,24 cm of outer diameter. One ending of the probe was closed off by a piece of stainless steel in which the welding process was carried out on this connection. After probe was integrated on the thermocouple, calibration of this system was investigated. A process of comparing between this thermocouple to the oven thermocouple is a method for calibration. Oven temperature was increased from 150°C up to 700°C in 50°C intervals. Result of this experiment show that thermocouple covered by stailless steel has a devitation of 0,7 % - 6,7 %. Conclusion of this activity is that thermocouple covered by stainless steel probe is suitable for measuring temperature.

Keyword : probe, termocouple, stainless-steel

PENDAHULUAN

Termokopel merupakan salah satu alat ukur suhu yang sering digunakan di bidang industri manufaktur, maupun di bidang lain yang memerlukan pengukuran suhu pada bagian peralatan produksi. Untuk mengukur suhu, termokopel ini selalu dilindungi dengan *probe* agar termokopel tidak mudah rusak, karena termokopel

jenis ini biasanya dipasang tetap. Kerusakan yang sering terjadi adalah putusnya kawat termokopel atau rusaknya bimetal termokopel, atau probe yang pecah atau berubah bentuk. Kalau probe yang rusak, maka probe dapat diperbaiki sendiri, tetapi pengganti probe harus memenuhi persyaratan sesuai dengan spesifikasi unit termokopel yang diganti. Kalau probe terbuat dari keramik, maka probe yang digunakan

untuk mengganti juga dibuat dari keramik. Kalau probe yang rusak terbuat dari logam, maka penggantian juga harus dari bahan yang sama. Cara lain yang dapat dilakukan adalah mengkalibrasi unit termokopel terlebih dahulu, sebelum termokopel digunakan. Selain itu dapat pula dilakukan perbandingan hasil pengukuran suhu antara termokopel dengan probe yang diperbaiki dengan unit termokopel lain yang ada pada suatu sistem pemanas (misalnya oven). Hal ini dapat dilakukan dengan asumsi bahwa hasil pengukuran dengan termokopel yang terakhir ini benar. Probe ini biasanya dibuat dari bahan baja, *stainless-steel* (SS) atau bahan lain yang sejenis, atau dari bahan keramik, tergantung ketinggian suhu yang akan diukur. Kedua bahan ini mempunyai kekurangan dan kelebihan. Baja atau SS mempunyai kekuatan mekanik yang cukup baik, tetapi tidak bisa digunakan untuk mengukur suhu yang tinggi, karena suhu lebur baja tidak terlalu tinggi. Sedangkan probe dari bahan keramik rentan terhadap keretakan, tetapi mampu digunakan pada suhu tinggi sehingga termokopel yang dilindungi dengan probe keramik biasanya dipasang tetap. Kerusakan probe keramik dapat terjadi akibat benturan atau pemanasan atau pendinginan yang mendadak. Jika digunakan untuk pengukuran yang tidak terlalu tinggi, probe ini dapat diganti dengan probe baja. Namun setelah diganti harus dilakukan kalibrasi kembali, agar penunjukan suhu benar. Sedangkan untuk probe yang terbuat dari baja agak mudah menggantinya asal dapat diketahui karakteristik bahan probe tersebut dan juga tetap harus dikalibrasi setelah dilakukan penggantian. Selain itu, pemilihan beberapa sifat baja atau stain-

less-steel yang lain yang perlu dipertimbangkan adalah sifat ketahanannya terhadap tekanan hidrostatis dan tahan korosi, serta lebih mudah membuatnya. Berikut disampaikan pelaksanaan pembuatan probe dan pengujiannya, yang direncanakan untuk digunakan dalam pengukuran suhu pada dapur cor non-ferro. Termokopel ini tidak dipasang tetap, tetapi dipasang ketika akan digunakan untuk mengukur saja, dan cara pengukuran bersifat kontak langsung.

TEORI

Sebagaimana alat ukur lain yang mempunyai prinsip dasar tertentu, maka termokopel yang digunakan sebagai alat ukur suhu berdasar pada adanya suatu proses aliran kalor yang mengalir dari suhu yang tinggi ke yang rendah, sampai mencapai kesetimbangan. Ketika tercapai kesetimbangan inilah besar temperatur yang diukur ditunjukkan. Dalam penjelasan sebelumnya, termokopel selalu dilindungi dengan suatu probe, agar termokopel tidak mudah rusak. Namun hal ini akan menyebabkan perbedaan penunjukan suhu antara bahan yang diukur dengan termokopel. Oleh karena itu dalam pembuatan probe ini diawali dengan suatu model matematis, sehingga besarnya kesalahan pengukuran dapat diperkirakan.

Analisa sederhana untuk termokopel ini dapat disamakan dengan sebuah termometer air raksa. Yang membedakan keduanya adalah dinding termometer air raksa terbuat dari kaca/gelas, tetapi dinding termokopel terbuat dari dinding SS. Oleh karena itu, semua tetapan yang dimiliki SS dapat digunakan untuk perhitungan seperti dalam perhitungan termometer. Analisis selengkapnya adalah seperti tercantum di dalam bab berikut ini.

Sebagai alat ukur suhu, bentuk hasil ukur termokopel akan merupakan fungsi waktu, yang sesuai dengan bentuk gejala yang diukur. Bentuk gejala yang diukur sebagai fungsi waktu untuk

keperluan ini merupakan fungsi undak. ^[1]

Watak suatu alat ukur berupa sistem fisis, yang biasanya disajikan dalam bentuk persamaan matematik (persamaan diferensial). Dengan demikian analisa sederhana untuk termokopel menjadi lebih mudah dapat dikerjakan.

Kalau diandaikan bahwa :

C = kapasitas panas termokopel

R = tahanan panas dinding SS

T₀ = suhu setiap saat yang ditunjukkan oleh termokopel

T_i = temperatur benda yang diukur

Maka panas yang diserap oleh termokopel adalah : ^[2]

$$Q = C dT \dots\dots\dots (1)$$

Arus panas dari benda ke termokopel :

$$H = (T_i - T_0) / R \dots\dots\dots (2)$$

Karena H = dQ / dt,
maka (T_i - T₀) / R = C (dT₀ / dt)

Diperoleh persamaan diferensial

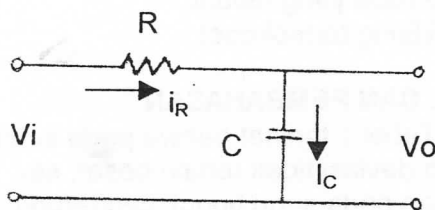
$$RC (dT_0 / dt) + T_0 = T_i \dots\dots\dots (3)$$

Bentuk persamaan (3) ini identik dengan bentuk rangkaian koping kapasitans dan resistans RC sebagai berikut: ^[3]

Pada Gambar 1, harga arus setiap saat yang lewat pada R dan C adalah sama, yaitu :

$$i_R = i_C$$

$$\frac{(V_i - V_o)}{R} = C \frac{dV_o}{dt}$$



Gambar 1 . Gambar ekivalensi termokopel dengan rangkaian RC

$$R C \frac{dV_o}{dt} + V_o = V_i \dots\dots\dots (4)$$

Jawaban persamaan 4 adalah:

$$V_i = V_o (1 - e^{-t/RC})$$

Demikian juga jawaban persamaan 3 adalah :

$$T_i = T_o (1 - e^{-t/RC})$$

Jadi untuk t tak terhingga, T_i akan sama dengan T_o.

Akhirnya kecepatan pengukuran suhu ini akan tergantung pada R (tahanan panas) dan C (kapasitas panas) dari bahan yang digunakan untuk probe termokopel.

TATAKERJA

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pipa stainless-steel (SS), SS pejal, elektroda las dan gas untuk pengelasan SS. Ukuran pipa SS diameter luar 21 mm, diameter dalam 16 mm, panjang 1000 mm. SS pejal berukuran diameter 21 mm, panjang 5 mm. Semua bahan ini dibeli dipasaran dengan spesifikasi : ^[4]

Koefisien ekspansi termal (70–200)⁰F: 9,6 x 10⁻⁶/⁰F.

Modulus elastisitas : 2,8 x 10⁶ psi,

Rentang suhu lebur : 2550 – 2650 ⁰F.

Panas spesifik, 70⁰C : 0,12 Btu/lb/⁰F,

konduktivitas termal, 70⁰F :

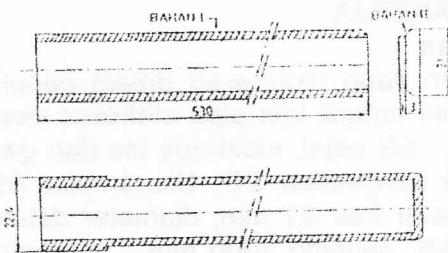
112,8 Btu/ft . hr. ⁰F ^[3]

Peralatan

Peralatan yang diperlukan dalam percobaan ini antara lain : peralatan mekanik seperti mesin bubut, mesin bor, mesin las, yang digunakan untuk membuat probe, dan oven yang dilengkapi dengan termo-kopel dan probe, serta digital read out (DRO), yang akan digunakan sebagai alat kalibrasi.

Pelaksanaan pembuatan

Bahan pipa SS dipotong sesuai dengan ukuran yang ditetapkan, kemudian dibubut pada bagian luar untuk meratakan dan menghilangkan karat atau kotoran lain yang mungkin akan mengganggu aliran panas dari luar pipa ke termokopel. Setelah selesai, salah satu ujungnya dibuat tirus. Kemudian tutup SS dilas pada bagian ujung pipa SS yang dibuat tirus tersebut dan bekas pengelasan dibubut sehingga diameternya sama dengan diameter pipa SS. Probe ini dirangkai dengan komponen yang lain seperti tertera pada Gambar 3.

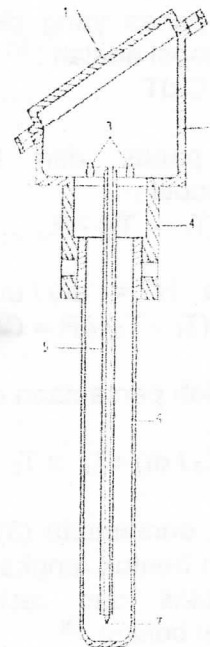


Gambar 2 Probe termokopel yang dibuat

Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut :^[5] probe dipasang pada termokopel dan kemudian digunakan untuk mengukur suhu. Hasil penunjukan pengukuran ini lalu diverifikasi dengan hasil perhitungan. Selanjutnya hasil pengukuran suhu termokopel dengan probe SS ini dibandingkan atau dikalibrasi dengan termokopel yang tersedia di dalam oven. Penunjukan suhu oleh termokopel oven ini dianggap telah benar, sehingga dapat digunakan sebagai alat kalibrasi terhadap termokopel dengan probe yang dibuat sendiri. Pengukuran suhu di-mulai pada 150°C sampai dengan 700°C dengan

selang pengukuran se-tiap 50°C Selanjutnya termokopel de-ngan probe buatan ini digunakan untuk mengukur suhu tembaga cair, dalam tungku peleburan yang menggunakan induksi. Proses pencairan tembaga dilakukan di dalam dapur cor induksi yang divakumkan. Hasil penunjukan suhu termokopel dengan bahan SS yang dibuat dibandingkan dengan data suhu cair tembaga. Penempatan termokopel berada pada sedikit diatas permukaan untuk menjaga probe agar tidak terkena imbas tembaga yang sedang mencair.

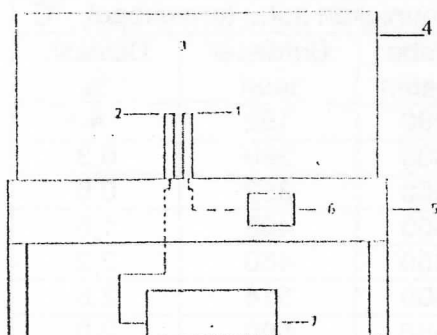


Gambar 3 Gambar susunan probe pada unit termokopel

1. Tutup termokopel
2. Rumah termokopel
3. Terminal termokopel
4. Dudukan probe termokopel
5. Keramik pembungkus termokopel
6. Probe yang dibuat
7. Ujung termokopel

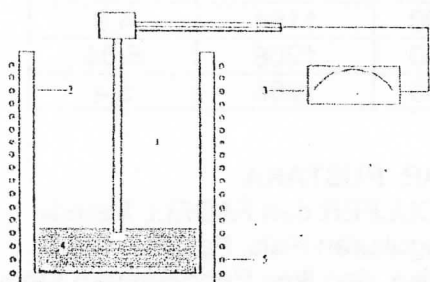
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 terlihat bahwa pada suhu rendah deviasi tidak terlalu besar, sedangkan pada suhu tinggi, cenderung membe-rikan deviasi pengukuran yang agak besar.



Gambar 4 Pengujian probe termokopel pada oven

1. Termokopel oven
2. Termokopel dengan probe buatan
3. Kotak oven
4. Tutup oven
5. Meja oven
6. DRO oven
7. Tampilan analog termokopel dengan probe buatan



Gambar 5 Termokopel dengan probe SS untuk mengukur suhu tembaga cair

1. Termokopel dengan probe buatan
2. Tungku cor vakum
3. Tampilan analog termokopel
4. Tembaga cair
5. Coil pemanas tungku

Keadaan ini juga sesuai dengan hasil ukur suhu secara teori. Kenaikan deviasi hasil ukur suhu ini mungkin disebabkan karena faktor R (tahanan panas) dan C (kapasitas panas) bahan pada suhu yang tinggi akan berubah, yang menyebabkan perbedaan hasil pengukuran yang cukup besar. Sedangkan pada pengukuran suhu yang rendah, seharusnya R dan C masih berfungsi

dengan baik, sehingga penunjukan suhu seharusnya tidak akan berbeda jauh dengan penunjukan suhu berdasar perhitungan. Tetapi kenyataannya deviasi yang diperoleh dari hasil pengukuran tidak teratur. Berbeda dengan hasil pengukuran secara teori yang memberikan suatu kecenderungan deviasi menaik dengan teratur. Ketidakteraturan deviasi ini mungkin disebabkan oleh ketidakstabilan suhu ruangan. Namun secara umum deviasi yang diperoleh cenderung naik pula. Ukuran ruangan oven yang sedemikian besar (100 x 60 x 40 cm) dapat menyebabkan ketidakstabilan suhu ruangan yang diukur. Selain itu, dinding yang tidak bisa merapat dengan baik pada alas ruangan, dapat menyebabkan suhu ruangan di dalam ruang tidak stabil. Karena deviasi suhu pada oven hanya bisa diatur pada $\pm 10^{\circ}\text{C}$, maka deviasi hasil ukur termometer dengan probe buatan masih dalam batas toleransi. Selanjutnya termokopel dengan probe buatan ini digunakan untuk mengukur suhu tembaga cair. Pada pengukuran suhu ini, termokopel diletakkan di dalam dapur cor di atas tembaga yang akan dicairkan, mulai mesin dihidupkan sampai tembaga tersebut mencair. Ketika tembaga tersebut mencair, tampilan termokopel menunjukkan angka 1000°C . Menurut referensi, suhu lebur tembaga sekitar 1100°C , yang berarti ada deviasi sekitar 10 %. Pada keadaan ini, pengukuran tidak diteruskan, karena induksi pada dapur cor dapat memanaskan probe SS pula, yang mungkin akan merusakkan probe dan akan berdampak kepada termokopel yang digunakan pada unit ini. Namun sebenarnya kalau pengukuran dilanjutkan, mungkin termokopel ini dapat menunjukkan suhu seperti yang ada di dalam referensi, sehingga deviasi bisa lebih kecil dari 10 %.

Tabel 1 Hasil pengujian termokopel

Penunjukan suhu termokopel, °C		
Probe buatan	Probe asli	Deviasi, %
150	151	0,7
200	202	1
250	254	1,6
300	299	0,3
350	349	0,3
400	396	1
450	435	3,3
500	490	2
550	553	0,5
600	633	5,5
650	691	6,3
700	747	6,7

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa probe yang dibuat dari SS dipasaran memungkinkan digunakan sebagai probe termokopel. Deviasi hasil pengukuran termokopel antara 0,7 % - 7 % terhadap hasil pengukuran termokopel oven, dan deviasi 0,3 % – 5,4 % terhadap hasil pengukuran berdasar perhitungan teori, oleh karena itu probe cukup baik digunakan sebagai pelindung termokopel, terutama jika digunakan untuk pengukuran suhu dibawah 1000 °C.

Tabel 2 Hasil pengujian termokopel

Penunjukan suhu termokopel, °C		
Probe buatan	Berdasar teori	Deviasi, %
200	192	4
300	299	0,3
350	352	0,6
400	406	1,5
450	460	2,2
500	514	2,8
550	566	2,9
600	621	3,5
650	672	3,4
700	728	4
750	780	4
800	836	4,5
850	887	4,4
900	943	4,7
950	994	4,6
1000	1050	5
1050	1100	4,8
1100	1154	4,9
1150	1208	5,04
1200	1265	5,4

DAFTAR PUSTAKA

1. G. DULFER dan FADELI, Metode Pengukuran Fisis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UGM, 1974
2. RALDI ARTONO KOESTOER, Perpindahan Kalor, Penerbit Salemba Teknika, Jakarta, 2002
3. HERBERT W. JACKSON, Introduction to Electric Circuits, Fifth Edition, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1959
4. ROBERT H. PERRY AND DON GREEN, Perry's Chemical Engineers Handbook Sixth Edition,
5. MANUAL OVEN,