

KALIBRASI TERMOKOPEL TIPE-K PADA BAGIAN UJI HeaTiNG-03 MENGUNAKAN cDAQ-9188

Siti Mariam¹, Keis Pribadi², G. Bambang Heru³, Ainur Rosidi³, Mulya Juarsa³

¹Mahasiswa Jurusan Fisika FST-UIN Bandung

²Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibnu Khaldun Bogor

³Laboratorium Eksperimental Termohidrolika, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir-BATAN

ABSTRAK

KALIBRASI TERMOKOPEL TIPE-K PADA BAGIAN UJI HeaTiNG-03 MENGGUNAKAN cDAQ-9188. Eksperimen pada bejana uji HeaTiNG-03 membutuhkan alat ukur temperatur yang dapat mengukur temperatur tinggi. Alat ukur temperatur yang digunakan pada bagian uji HeaTiNG-03 adalah termokopel tipe K. Oleh karena itu dibutuhkan alat ukur temperatur yang handal dalam pengukuran termal. Untuk mendapatkan hasil yang akurat dalam suatu pengukuran perlu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi termokopel dilakukan dengan menggunakan termometer standar, NI tipe cDAQ-9188, modul NI-9213 dan program virtual LabVIEW yang telah tersedia. Pengukuran termokopel dibuat dalam beberapa kondisi dari temperatur yang dimulai dari 40°C- 80°C dengan selisih 5°C. Tujuan kalibrasi adalah untuk membandingkan antara hasil pengukuran temperatur dari termokopel dengan termometer standar sehingga diketahui nilai *error*. Hasil dari kalibrasi TC-A memiliki nilai *error* rata-rata 2,65 %, TC-2B 3,32%, TC-3B 2,09%, TC-4B 2,90%, TC-8C 13,65%, TC-4D 3,89% . TC-8C memiliki nilai *error* rata-rata yang paling tinggi yaitu 13,65%. Sedangkan termokopel yang lainnya memiliki nilai *error* di bawah rata-rata *error* seluruh termokopel dengan rata-rata *error* seluruh termokopel adalah 1,87%.

Kata Kunci : termokopel, kalibrasi, DAS-NI

ABSTRACT

CALIBRATION OF TYPE-K THERMOCOUPLE ON TEST SECTION HEATING-03 USING CDAQ-9188. Experiments on Heating-03 test vessel required temperature measuring instrument which can measure high temperatures. Temperature measuring devices that are used in the Heating-03 test section is a thermocouple type K. Therefore, it needs a reliable means of measuring the temperature in the thermal measurement. To obtain the accuracy in the results of experiment data, a calibration measurement needs to be done. Calibration has been done using NI thermocouple type cDAQ-9188, NI-9213 module and LabVIEW virtual program. The measurements on Thermocouples has been made in several conditions. Variation of temperature starting from 40°C to 80°C with a difference of 5°C . The purpose of the current calibration is to compare the results of temperature measurement between thermocouple with standard thermometer in order to obtain the value of error. The result of thermocouple calibration type K on HeaTiNG-03 test section have got error value. The result of calibration is TC-A has an average error rate of 2.65%, 3.32% on TC-2B, 2.09% on TC-3B, 2.90% on TC-4B, 13.65% on TC-8C, and 3.89% on TC-4D. TC-8C average error rate is the highest with 13.65%. The other thermocouple has an error rate below the average error of the entire thermocouples with an average error of 1.87%.

Keywords : thermocouple, calibration, DAS-NI

PENDAHULUAN

Eksperimen bagian uji *Heat Transfer in Narrow Gap-03* (HeaTiNG-03) bergantung pada data pengukuran temperatur. Eksperimen pada bagian uji tersebut membutuhkan alat ukur temperatur yang dapat mengukur temperatur tinggi. Agar eksperimen berjalan dengan baik dibutuhkan alat ukur temperatur yang handal dalam pengukuran termal.

Alat ukur temperatur yang digunakan pada bagian uji HeaTiNG-03 adalah termokopel tipe K. Termokopel adalah salah satu peralatan instrumentasi yang berfungsi sebagai sensor temperatur. Termokopel terdiri dari berbagai jenis dengan perbedaan bahan pembuatan, rentang pengukuran, serta sensitivitasnya. Termokopel tipe K terdiri dari bahan *Chromel* (*Ni-Cr alloy*) dan *Alumel* (*Ni-Al alloy*) yang memiliki rentang pengukuran temperatur dari -270°C hingga 1350°C dengan sensitivitas 40,6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ [1].

Hasil yang akurat dalam suatu pengukuran didapatkan dari proses kalibrasi yang benar. Kalibrasi merupakan suatu rangkaian kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap alat ukur yang standar, baik standar nasional maupun internasional [2]. Kalibrasi termokopel dilakukan dengan perlakuan temperatur yang berbeda, kemudian akan dibandingkan dengan termometer standar termometer air raksa untuk rentang pengukuran temperatur 0 - 100°C.

Ketika besaran fisik diukur, nilai yang didapatkan mestinya tidak dapat diharapkan

tepat sama dengan nilai sesungguhnya dari besaran tersebut. Untuk setiap besaran yang terukur, akan selalu terdapat *error*. *Error-error* ini dapat muncul dari *error instrumentasi*, *error pembacaan*, *error faktor manusia* dan *error sisipan*. Istilah *error* digunakan untuk menyatakan selisih antara hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur [3].

Tujuan kalibrasi saat ini adalah untuk membandingkan hasil pengukuran termokopel dengan pengukuran thermometer standar sehingga diketahui nilai *error* pada pengukuran termokopel.

TEORI

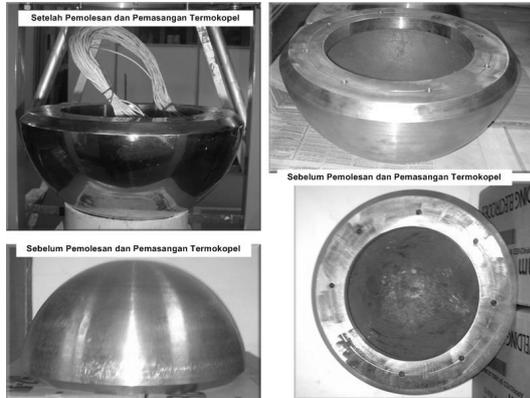
Bejana bagian uji

Merupakan bejana dengan bahan SS316 yang berbentuk setengah bola. Ukuran diameter dalam (ID, *inner diameter*) adalah tetap sebesar 273,5 mm, sedangkan ukuran tebal bervariasi berdasarkan urutan ukuran celah. Data geometri untuk bejana bagian uji setengah bola (*semi-spherical*) ditunjukkan pada Tabel 1.

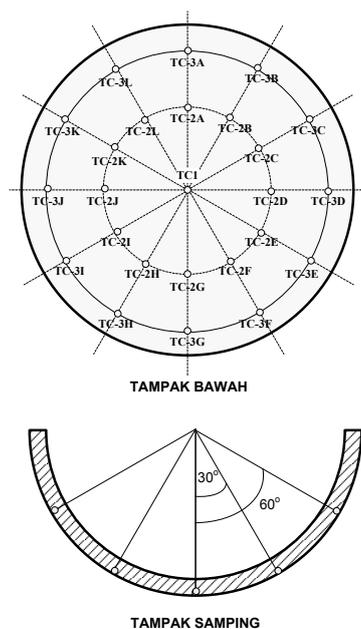
Tabel 1. Data geometri bejana bagian uji

Diameter Luar, OD [mm]	Tebal, <i>t</i> [mm]	Diameter Dalam, ID [mm]
299	13	273,5
298	12	273,5
296	11	273,5

Bagian mulut setengah bola digabungkan dengan *flange* yang berfungsi untuk mengikat bejana bagian uji dengan bagian lainnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Foto Bejana Uji



Gambar 2. Titik termokopel pada bejana uji

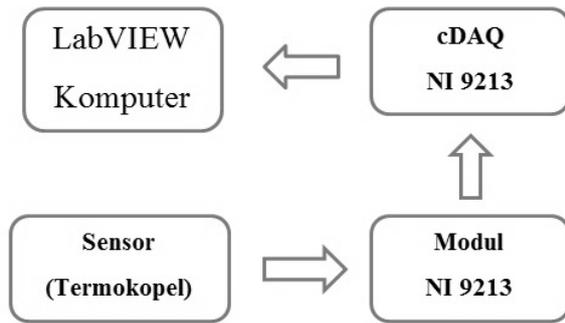
Permukaan luar bejana bagian uji dipasang 25 titik termokopel yang tersusun seperti pada Gambar 2.

Sistem Instrumentasi

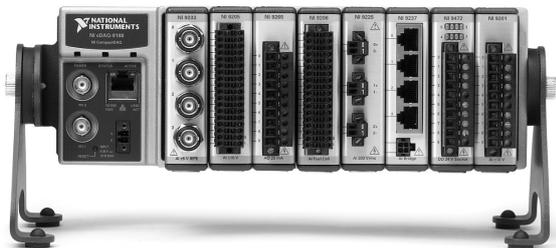
Sebuah sistem akuisisi data atau biasa dikenal *Data-Acquisition Sistem (DAS)* merupakan sistem instrumentasi elektronik terdiri dari sejumlah elemen yang secara bersama-sama bertujuan melakukan pengukuran, menyimpan, dan mengolah hasil pengukuran. Secara aktual DAS berupa *interface* antara lingkungan analog dengan lingkungan digital. Lingkungan analog meliputi *transduser* dan pengondisian sinyal dengan segala kelengkapannya, sedangkan lingkungan digital meliputi *analog to digital converter (ADC)* dan selanjutnya pemrosesan *digital* yang dilakukan oleh mikroprosesor atau sistem berbasis *mikroprosesor*^[4].

Sistem instrumentasi terdiri dari sensor dan beberapa modul rangkaian elektronik yang dikendalikan melalui program aplikasi. Sensor berfungsi mengkonversi besaran fisik yang akan diukur menjadi besaran listrik. Modul *Signal Conditioner (SC)* adalah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengkondisikan keluaran sensor menjadi besaran tegangan, arus atau frekuensi. Sedangkan Modul *Data Acquisition (DAQ)* berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran modul SC menjadi sinyal digital yang akan diterima komputer dan diproses berdasarkan program aplikasi^[5].

Blok diagram sistem instrumentasi pengukuran berbasis komputer dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram sistem komputerisasi data pengukuran



Gambar 4. Modul akuisisi data NI

Dalam hal ini, dilakukan kalibrasi termokopel tipe K sebagai sensor temperatur. Termokopel memberikan sinyal keluaran dalam bentuk tegangan. Modul SC yang digunakan sebagai pengkondisi sinyal adalah modul NI-9213 yang memberikan fasilitas masukan 16 kanal. Setiap modul pengkondisi tersebut terhubung pada sebuah slot cDAQ-9188 yang keseluruhannya menyediakan 8 slot^[5]. Modul-modul akuisisi data NI yang terdiri dari cDAQ-9188, dan NI-9213 dapat dilihat pada Gambar 4.

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) adalah program virtual instrumentasi LabVIEW terdiri dari blok diagram dan *front pane*. *Front panel* adalah tampilan program. Objek-objek pada jendela ini akan terlihat oleh pengguna saat program dijalankan. Objek-objek pada *front panel* ini akan secara otomatis memiliki repre-

sentasi ikonnya di *block diagram*, khususnya untuk objek-objek yang membawa data baik data yang masuk dari pengguna ke program, maupun data yang keluar dari pengguna ke program. *Block diagram* adalah tempat pembuatan program. Jendela ini tidak akan terlihat oleh pengguna saat program dijalankan^[6]. Program LabVIEW untuk kalibrasi termokopel ini telah tersedia.

TATA KERJA

Langkah kerja kalibrasi termokopel tipe K pada HeaTiNG-03 terdiri dari beberapa tahapan.

1. Inventarisasi termokopel untuk mengetahui jumlah termokopel dan letak termokopel. Hal ini dilakukan secara langsung pada bejana uji HeaTiNG-03.
2. Konfigurasi dalam menghubungkan termokopel pada masing-masing kanal modul SC. Pembacaan temperatur termokopel secara berturut-turut akan sesuai dengan konfigurasi yang telah dibuat.
3. Pengkondisian kalibrasi termokopel dilakukan menggunakan air yang dipanaskan dengan *heater*. Kondisi temperatur oleh *heater* di buat menjadi 100 °C. Pengukuran hasil dilakukan pada temperatur dari 40 °C- 80 °C dengan selisih 5 °C untuk setiap termokopel dan termometer standar pengukuran tegangan terdiri dari 16 kanal.

4. Kalibrasi termokopel tipe K pada pada HeaTiNG-03 dilakukan dengan menggunakan *National Instruments* tipe cDAQ-9188, modul NI-9213 dan program virtual LabVIEW yang telah tersedia. cDAQ-9188 terdiri dari beberapa modul dan dalam satu modul untuk pengukuran tegangan terdiri dari 16 kanal. Dari masing-masing termokopel dihubungkan pada kanal yang berbeda. cDAQ-9188 dihubungkan ke komputer dan program LabVIEW yang telah tersedia, maka pembacaan temperatur termokopel dapat dilihat pada program LabVIEW
5. Pengolahan data dengan menghitung nilai *error* pada masing-masing termokopel dengan acuan nilai standar yang terukur pada temperatur standar. Dari beberapa kondisi akan didapatkan *error* rata-rata dari setiap termokopel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Inventarisasi sensor

Observasi yang telah dilakukan dapat mengetahui jumlah sebanyak 25 termokopel pada bundel uji HeaTiNG-03. Semua termokopel bertipe K, dan di tambah dengan 1 sensor temperatur ruangan serta 1 termometer standar. Bentuk sinyal keluaran dari masing-masing termokopel, sensor temperatur ruangan serta termometer standar diinventarisasi agar dapat terhubung pada modul SC. 16 termokopel terhubung dengan modul NI-9213 yang pertama pada kanal 0-15. 9 termokopel, 1 sensor temperatur udara, yang terhubung dengan modul NI-9213 yang kedua pada kanal 0-11.

2 modul NI-9213 terpasang pada slot 2 dan 3 modul cDAQ-9188 serta 1 termometer standar sebagai pengukuran temperatur acuan.

Konfigurasi Termokopel

Konfigurasi termokopel, sensor udara, dan sensor standar pada modul SC dapat dilihat pada Tabel 2. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pembacaan pengukuran pada komputer. Sinyal-sinyal analog dari termokopel diubah oleh NI-9213 menjadi sinyal-sinyal digital yang di transfer pada komputer.

Tabel.2 Konfigurasi termokopel dan sensor

No	Termokopel/ Sensor	cDAQ-9188	NI-9213
1	TC-1A	SLOT-2	CH-1
2	TC-1B	SLOT-2	CH-2
3	TC-2B	SLOT-2	CH-3
4	TC-3B	SLOT-2	CH-4
5	TC-4B	SLOT-2	CH-5
6	TC-5B	SLOT-2	CH-6
7	TC-6B	SLOT-2	CH-7
8	TC-7B	SLOT-2	CH-8
9	TC-8B	SLOT-2	CH-9
10	TC-1C	SLOT-2	CH-10
11	TC-2C	SLOT-2	CH-11
12	TC-3C	SLOT-2	CH-12
13	TC-4C	SLOT-2	CH-13
14	TC-5C	SLOT-2	CH-14
15	TC-6C	SLOT-2	CH-15
16	TC-7C	SLOT-2	CH-16
17	TC-8C	SLOT-3	CH-1
18	TC-1D	SLOT-3	CH-2
19	TC-2D	SLOT-3	CH-3
20	TC-3D	SLOT-3	CH-4
21	TC-4D	SLOT-3	CH-5
22	TC-5D	SLOT-3	CH-6
23	TC-6D	SLOT-3	CH-7
24	TC-7D	SLOT-3	CH-8
25	TC-8D	SLOT-3	CH-9
26	T-Udara	SLOT-3	CH-10
27	T-Standar	SLOT-3	CH-11

Pengondisian Kalibrasi

Bagian bejana uji HeaTiNG-03 diisi dengan air kemudian dipanaskan menggunakan heater hingga mencapai temperatur $\pm 100^\circ\text{C}$. Pada kondisi awal termokopel membaca temperatur air dan temperatur ruangan. Pengambilan data pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe dilakukan setiap 5°C secara berurutan dimulai dari temperatur 40°C , 45°C , 50°C , 55°C , 60°C , 65°C , 70°C , 75°C , 80°C sesuai dengan pembacaan pada termeter standar.

Kalibrasi termokopel

Konfigurasi hubungan termokopel dengan kanal pada modul SC yang telah dibuat sebagai acuan penghubungan termokopel pada masing-masing kanal sesuai dengan susunan Gambar 3. Pengecekan sambungan NI ke komputer dilakukan untuk memastikan NI dapat terhubung ke komputer dan terbaca. Dengan program LabVIEW yang telah tersedia, nilai temperatur dapat terbaca dan terekam dalam setiap detik. Output yang terbaca dan terekam di komputer akan berupa nilai temperatur yang berada pada *Microsof Excel*. Nilai yang terbaca pada komputer telah di *setting* secara otomatis menjadi satuan dalam derajat Celcius.

Pehitungan nilai error

Ketika temperatur standar 40°C diambil rata-rata dari 5 data pengukuran. Dilakukan pula hal yang sama setiap kenaikan temperatur 5°C hingga temperatur 80°C . Dalam beberapa kondisi temperatur tersebut nilai *error* dari masing-masing termokopel dapat dihitung

menggunakan persamaan (1).

$$error = \left| \frac{T_r - T_m}{T_r} \right| \times 100\% \quad \dots\dots (1)$$

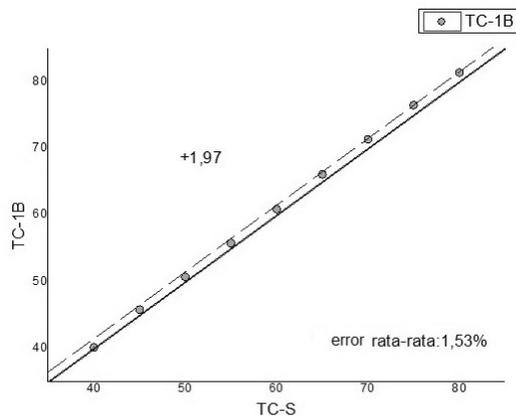
dengan T_r adalah temperatur referensi (yang terbaca oleh termometer standar dalam $^\circ\text{C}$) dan T_m adalah temperatur (dalam $^\circ\text{C}$) terukur oleh termokopel melalui DAS. Misalnya pada termokopel 1B (TC-1B) hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran temperatur TC-1B terhadap termometer standar

TC-S ($^\circ\text{C}$)	TC-1B		
	Nilai($^\circ\text{C}$)	Selisih($^\circ\text{C}$)	<i>error</i> (%)
40	40,16	0,16	0,40
45	45,81	0,81	1,81
50	50,71	0,71	1,42
55	55,79	0,79	1,44
60	60,88	0,88	1,47
65	66,10	1,10	1,69
70	71,33	1,33	1,90
75	76,47	1,47	1,97
80	81,35	1,35	1,69
<i>Error rata-rata (%)</i>			1,53

Linierisasi termokopel terhadap termometer standar dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan hasil pengukuran termokopel terhadap termometer standar memiliki *error* rata-rata 1,53 %, *error* terbesar dari penguran 1,97 % dan selisih terbesar pengukuran $1,47^\circ\text{C}$. Nilai *error* dari seluruh termokopel jika di rata-ratakan adalah 1,87 %. Ada beberapa termokopel yang memiliki nilai *error* di atas

rata-rata *error* seluruh termokopel. TC-A memiliki nilai *error* rata-rata 2,65 %, TC-2B 3,32 %, TC-3B 2,09 %, TC-4B 2,90 %, TC-8C 13,65 %, TC-4D 3,89 %. Selain dari itu memiliki nilai *error* di bawah rata-rata.

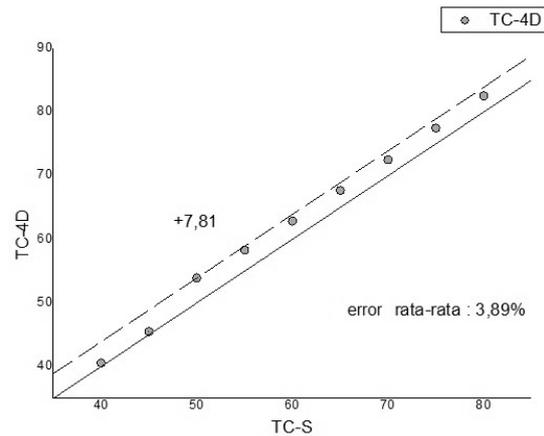


Gambar 5. Grafik hasil pembacaan termokopel TC-1B terhadap termometer standar

Nilai *error* diatas rata-rata *error* seluruh termokopel dapat dilihat pada Tabel 4 sementara linieritas dan selisih dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 4. Hasil pengukuran temperatur TC-4B terhadap termometer standar

TC-S (°C)	TC-4D		
	Nilai(°C)	Selisih(°C)	<i>error</i> (%)
40	40,52	0,52	1,32
45	45,48	0,48	1,07
50	53,90	3,90	7,81
55	58,29	3,29	5,99
60	62,86	2,86	4,76
65	67,66	2,66	4,09
70	72,48	2,48	3,55
75	77,46	2,46	3,28
80	82,51	2,51	3,14
Error rata-rata(%)			3,89

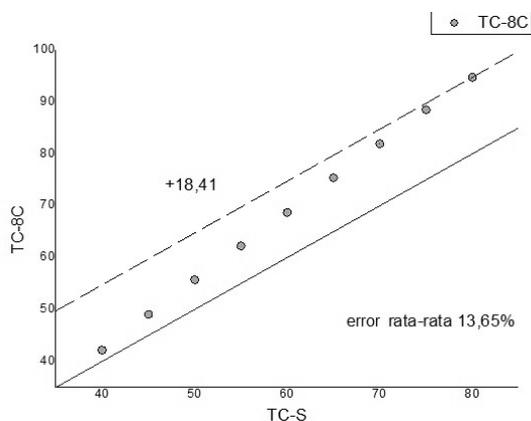


Gambar 6. Grafik hasil pembacaan termokopel

TC-4D terhadap termometer standar yang memiliki nilai *error* terbesar 7,81 % dengan rata-rata *error* 3,89 %. Sedangkan, TC-A, TC-2B, TC-3B, TC-4B dan TC-4D jika dilihat dari nilai *error*nya yang tidak begitu berjauhan. Diasumsikan memiliki permasalahan yang sama. Setiap kanal dalam modul NI-9213 tidak akan menunjukkan hasil pembacaan yang sama. Pada saat kalibrasi, panas yang dipancarkan oleh *heater* tidak merata sampai pada setiap termokopel, karena posisi termokopel yang berbeda. Selain itu juga posisi *heater* yang dekat dengan termokopel akan mempengaruhi pembacaan temperatur termokopel. Hal tersebut yang menyebabkan nilai *error* dari termokopel menjadi lebih besar dari rata-rata *error* seluruh termokopel. Terdapat satu termokopel yang memiliki nilai *error* yang sangat lebih besar dari nilai *error* rata-rata seluruh termokopel yaitu TC-8C 13,65 %. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 5 sementara linieritas dan selisihnya dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 5. Hasil pengukuran temperatur TC-8C terhadap termometer standar

TC-S (°C)	TC-8C		
	Nilai(°C)	Selisih(°C)	error(%)
40	42,17	2,17	5,44
45	49,05	4,05	9,01
50	55,70	5,70	11,40
55	62,23	7,23	13,14
60	68,70	8,70	14,50
65	75,36	10,36	15,94
70	81,93	11,93	17,05
75	88,45	13,45	17,93
80	94,73	14,73	18,41
Error rata-rata(%)			13,65



Gambar 7. Grafik hasil pembacaan termokopel TC-8C terhadap termometer standar

TC-8C memiliki nilai *error* terbesar 18,41 % dan rata-rata *error* 13,65 %. Dalam kasus nilai *error* yang sangat besar ini dapat diasumsikan beberapa faktor penyebab. Kasus yang terdapat dalam eksperimen khususnya pada saat kalibrasi berlangsung yaitu terjadi pada sambungan kabel termokopel. Ketika pengukuran masih ada termokopel yang belum terbaca maka dilakukan pengecekan sambungan kabel *chromel* dan *alumel*. Ternyata kabel *chromel* dan *alumel* menempel satu sama lain. Setelah terpisahkan antara sambungan *chromel* dan *alumel* hasil pengukuran dapat terbaca pada

komputer namun nilainya berbeda cukup besar dengan yang nilai pengukuran termokopel lainnya. Selain itu diasumsikan pada ujung sambungan termokopel yang konstruksinya kurang baik.

Selain dari faktor-faktor penyebab *error* pengukuran termokopel yang telah di sebutkan. Termokopel tipe K yang memiliki range -200 °C s.d 1200 °C akan relatif linier pada pengkondisian di atas 100°C. Karena kondisi yang digunakan pada kalibrasi termokopel tipe K di HeaTiNG-03 ini menggunakan temperatur di bawah 100°C kebolehjadian *error* dapat tinggi. Jika pengkondisian dilakukan dalam temperatur yang lebih tinggi nilai *error* akan menjadi lebih kecil.

KESIMPULAN

Hasil kalibrasi termokopel tipe K pada bejana uji HeaTiNG-03 didapatkan nilai *error* dari masing masing termokopel. TC-A memiliki nilai *error* rata-rata 2,65 %, TC-2B 3,32 %, TC-3B 2,09 %, TC-4B 2,90 %, TC-8C 13,65 %, TC-4D 3,89 % . TC-8C memiliki nilai *error* rata-rata yang paling tinggi yaitu 13,65 %. Sedangkan termokopel yang lainnya memiliki nilai *error* di bawah rata-rata *error* seluruh termokopel dengan rata-rata *error* seluruh termokopel 1,87 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. KISWANTA, "Uji Fungsi Untai Uji Reaktor Temperatur Tinggi", Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Pusat Teknologi Aksel-

- erator dan Proses Bahan ,Yogyakarta, 2011.
2. MUHAMMAD IRVAN SIREGAR, “Teknik Kalibrasi Termokopel Tipe K di PT Inalum Kuala Tanjung”, Program Diploma IV Teknologi Instrumentasi Pabrik, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, 2009.
 3. W. BOLTON, “Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol”, Erlangga, Jakarta,2006.
 4. ENDANG WIJAYA, “Teknik Elektronika Industri”, Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.
 5. NONAME, “Instruction Manual Operating and Installation Manual NI-DAQmx 9.4”, National Instruments.
 6. DIAN ARTANTO, “Interaksi Arduino dan LabVIEW”, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2012