



Rancang Bangun Sistem Penampil Suhu Bahan Bakar Reaktor Kartini

Zulfiandri¹

¹ BAPETEN, Jl. Gadjah Mada No. 8, Jakarta

e-mail: z.zulfiandri@bapeten.go.id

Makalah Penelitian

Menyerahkan

5 September 2022

Diterima

9 November 2022

Terbit

5 Desember 2022

ABSTRAK

Reaktor Kartini merupakan reaktor riset tipe TRIGA dengan daya operasi 100 kW. Reaktor Kartini dibangun pada tahun 1974 dan digunakan untuk keperluan penelitian, iradiasi, pendidikan dan pelatihan. Pada tahun 2004, reaktor ini gagal menampilkan suhu bahan bakar di ruang kendali. Sistem sederhana dibuat untuk sementara waktu menampilkan nilai suhu bahan bakar sembari tampilan suhu bahan bakar di ruang kendali diperbaiki. Sistem ini dirancang untuk mengukur suhu bahan bakar reaktor hingga 250 °C. Sistem ini terdiri dari rangkaian penguat operasi (*op-amp*), rangkaian *low pass filter* aktif, rangkaian konverter analog ke digital, dan mikrokontroler AT89S51 dengan rangkaian LCD. Metode yang digunakan adalah dengan mengubah input analog menjadi nilai digital menggunakan ADC-0809. Data digital dari ADC-0809 oleh mikrokontroler dibandingkan dengan nilai suhu termokopel tipe K. Nilai temperatur (dalam °C) yang paling mendekati nilai digital hasil konversi ADC ditampilkan oleh mikrokontroler melalui *liquid crystal display*. Hasil dari peralatan yang dibuat memuaskan dibuktikan dengan pengukuran reaktor kartini yang dioperasikan selama 4,5 jam pada daya 100 kW menunjukkan nilai suhu pada teras di ring B dengan nilai 117 °C dan nilai suhu ini telah divalidasi dengan tabel tegangan vs suhu pada termokopel tipe K.

Kata kunci: suhu bahan bakar reaktor, mikrokontroler, konverter analog ke digital.

ABSTRACT

The Kartini reactor is a TRIGA-type research reactor with an operating power of 100 kW. The Kartini reactor was built in 1974 and is used for research, irradiation, education, and training purposes. In 2004, this reactor failed to display the fuel temperature in the control room. Therefore, a simple system is made to temporarily show the fuel temperature value while the fuel temperature display in the control room is improved. This system is designed to measure reactor fuel temperatures up to 250 °C. This system consists of an operational amplifier circuit (*op-amp*), an active low-pass filter circuit, an analog-to-digital converter circuit, and an AT89S51 microcontroller with an LCD circuit. First, the method converts the analog input into a digital value using ADC-0809. Next, the microcontroller's digital data from ADC-0809 is compared with the temperature value of the type K thermocouple. Finally, the temperature value (in °C) closest to the digital value resulting from the ADC conversion is displayed by the microcontroller via a liquid crystal display. The results of the equipment being made satisfactory are proven by measurements of the Kartini reactor, which was operated for 4.5 hours at a power of 100 kW showing the temperature value on the core in ring B with a value of 117 °C. The voltage vs. temperature table on the K-type thermocouple has validated this temperature value.

Keywords: reactor fuel temperature, microcontroller, analog to digital converter.

1. PENDAHULUAN.

Beberapa penampil suhu bahan bakar yang ada di ruang kendali pada reaktor Kartini pernah mengalami kerusakan dan tidak bisa menampilkan suhu bahan bakar, sehingga operator menggunakan voltmeter

portabel yang dihubungkan langsung dengan keluaran termokopel untuk mengetahui besaran voltase pada saat reaktor beroperasi yang kemudian di konversikan secara manual dengan menggunakan tabel termokopel jenis kromel-alumel. Dikarenakan kesulitan bagi

operator untuk mencatat besaran tegangan yang dihasilkan oleh termokopel dan kemudian membandingkannya dengan tabel termokopel untuk memperoleh nilai suhu bahan bakar yang sedang dioperasikan maka dapat dinilai penting untuk memiliki sistem yang bisa langsung menampilkan suhu bahan bakar dalam °C. Dalam makalah ini akan dibahas perancangan dan pembuatan sistem penampil suhu bahan bakar nuklir. Sistem ini merupakan inovasi terhadap konsep yang sudah dibuat oleh Wahyudi D [1] yang membuat multi chanel analyzer dengan menggunakan mikrokontroler AT89C51.

Tujuan dari pembuatan sistem ini adalah untuk membuat tampilan/monitoring bahan bakar nuklir setiap saat tersedia untuk operator di ruang kendali.

Hal ini terkait dengan Peraturan Kepala BAPETEN 9 Tahun 2013 tentang Batasan dan Kondisi Operasi Reaktor Nondaya yang menyebutkan bahwa batas keselamatan suatu reaktor dinyatakan dengan suatu nilai yang jelas. Dalam hal ini untuk reaktor Kartini, suhu bahan bakar nuklir merupakan parameter yang harus diukur dan menjadi batasan dan kondisi operasi reaktor yang akan diawasi oleh BAPETEN [2].

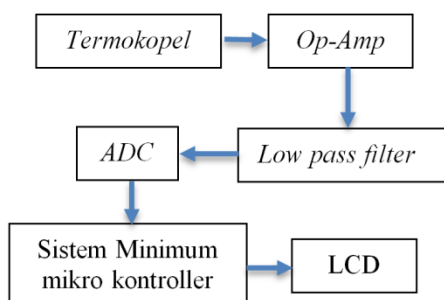
2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada pembuatan sistem ini adalah sebagai berikut:

- Studi literatur, yakni mencari informasi mengenai alat yang akan dibuat. Informasi diperoleh dari jurnal, karya tulis ilmiah, buku, dan media online.
- Tahap perancangan, tahapan ini merupakan metode awal dalam pembuatan sistem penampil suhu tiga kanal bahan bakar reaktor kartini.
- Tahap pengujian dan pembahasan, tahapan ini merupakan tahapan lanjutan dari perancangan, yaitu untuk merealisasikan sistem sesuai dengan tujuan dan alat yang telah dirangkai kemudian diuji. Pengambilan data dilakukan ketika alat telah beroperasi seperti yang direncanakan.

2.1 Studi Literatur

Studi ini dilakukan dengan mencari referensi baik di bagian sistem instrumentasi dan kendali di reaktor maupun studi literatur. Dari referensi di lapangan ditemukan bahwa diagram blok untuk sistem penampil suhu di reaktor Kartini digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem penampil suhu bahan bakar reaktor Kartini

2.2 Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk pembuatan sistem ini adalah sebagai berikut:

- Multimeter digital
- Personal computer
- Tegangan DC yang dibangkitkan dari Adaptor sebagai simulasi tegangan masukan sebagai masukan pengganti termokopel
- Termokopel
- Solder, Desoldering, Obeng, Tang, dll.
- Modul LCD
- Pulse generator
- IC mikrokontroler AT89S52
- Modul LCD 16 x 2 karakter
- PCB
- IC 7400 (1 buah)
- IC 741 (3 buah)
- IC LF 355 (3 buah)
- ADC 0809 (1 buah)
- Helipot 10K (3 buah)
- Helipot 2K (3 buah)
- Kondensator keramik 150 pF(3), 30 pF(3), elco 10 uF (2), 4700 uF (3), 1000 uF (3), Tantalum 0,1 (3), milar 104K(20)
- Resistor-resistor dengan berbagai nilai
- Trafo
- Switch
- Trimpot
- IC Regulator 7805, 7809, 7909
- Soket-soket IC
- Kristal 12 MHz
- Diode IN4002 dan zener 4,7V
- konektor serial
- kabel stereo, kabel tunggal dan kabel data
- jepit buaya
- baut-baut dengan 3 buah ring tiap baut
- acrilik untuk casing (penutup).

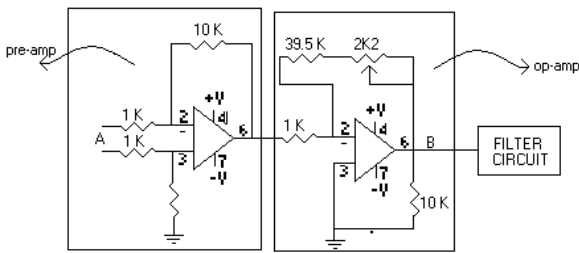
2.3 Tahapan Perencanaan

Dari diagram Blok yang diperoleh dari studi lapangan di reaktor Kartini, maka dibuatkan sistem yang terdiri dari rangkaian *op-amp*, *low pass filter*, *ADC*, minimum *micro controller* dan sistem LCD.

Rangkaian Penguat (Op-Amp)

Rangkaian penguat yang digunakan adalah penguat diferensial, dan selanjutnya digunakan penguat pengali tegangan. Untuk keperluan ini digunakan IC dengan tipe 741 dan LF 355 yang digunakan sebagai *pre-amp* dan *op-amp*.

Penguatan *pre-amp* sebesar 10 kali dan penguatan *op-amp* sebesar 40 kali. Selain sebagai penguat, *pre-amp* berfungsi sebagai *impedance matching* yang berfungsi memblokir sinyal balik yang mengganggu yang berasal dari beban [3]. Penerapan perhitungan teoritis pada rangkaian adalah seperti Gambar 2.



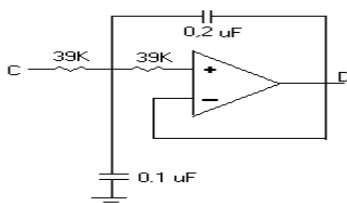
Gambar 2. Rangkaian Penguat

Dengan rangkaian di atas, diperoleh besarnya penguatan pada *pre-amp* dan *op-amp* diharapkan 400 kali (40 x 10). Penguatan hingga 400 kali ini dibutuhkan oleh rangkaian ADC untuk membedakan sinyal beda potensial yang berasal dari termokopel dikarenakan ADC hanya bisa bekerja dalam orde Volt, sedangkan beda potensial yang dihasilkan oleh termokopel berorde milli volt.

Rangkaian Tapis Lolos Rendah

Rangkaian tapis lolos rendah dimaksudkan untuk mengkompensasi derau pada frekuensi tinggi. Pada frekuensi tinggi, penguatan loop terbuka akan mengecil karena pengaruh kapasitansi internal yang juga menghasilkan tambahan pergeseran fasa antara terminal masukan membalik dan keluaran, sehingga suatu penguat yang menggunakan *op-amp* sebagai komponen aktif dapat menjadi tidak stabil dan mungkin beresilasi pada frekuensi tinggi [3].

Tapis lolos rendah aktif yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis penapis orde kedua dengan frekuensi *cutoff* sekitar 30 Hz.



$$\text{Frekuensi } \textit{cutoff} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1R2C1C2}} = 28,48\text{Hz}$$

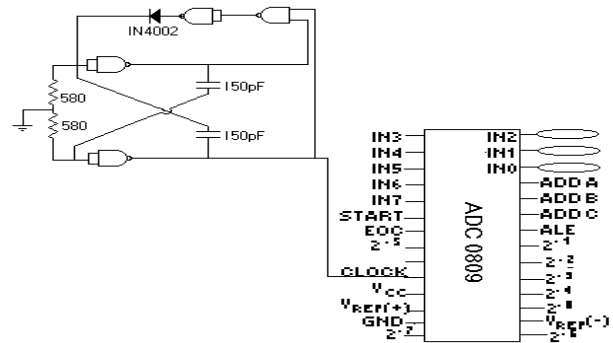
Gambar 3. Rangkaian tapis lolos rendah [4]

Pengujian rangkaian *op-amp* sekaligus tapis lolos rendah dilakukan dengan memberikan masukan tegangan DC pada titik A, dengan nilai bervariasi dari 0 sampai dengan 4 Volt. Kemudian tegangan keluaran pada titik D diukur dengan multi meter.

Rangkaian ADC

Luaran rangkaian tapis lolos rendah merupakan masukan bagi rangkaian ADC 0809. Rangkaian ADC membutuhkan sinyal detak untuk pengoperasiannya. Pada rangkaian ini digunakan IC 74LS00 sebagai pembangkit pulsa detak [5]. ADC yang digunakan untuk

sistem ini adalah 8 bit, sehingga banyaknya suhu yang ditampilkan oleh sistem ini maksimal dibatasi dengan 256 tingkatan.



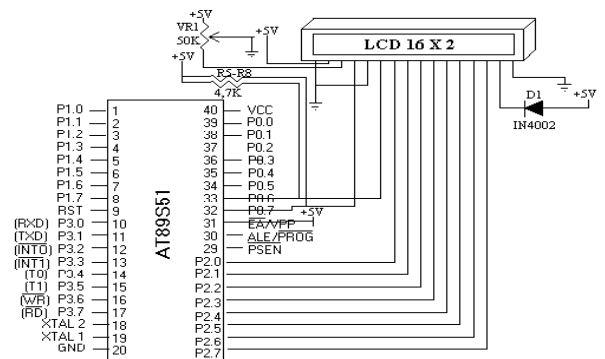
Gambar 4. Rangkaian ADC

Frekuensi detak untuk kerja ADC dibuat pada:

$$F = \frac{1}{\sqrt{RC}} = 11494252,87 \text{ Hz}$$

Rangkaian Modul LCD

Pada perancangan ini, modul LCD berfungsi sebagai media penampil informasi yaitu nilai suhu yang terdapat pada bahan bakar reaktor. Nilai suhu yang ditampilkan disesuaikan dengan jumlah kanal masukan sebanyak tiga buah sehingga perlu ditampilkan ketiga nilai suhu tersebut. Rangkaian minimum untuk sistem LCD adalah sebagai berikut [6]:



Gambar 5. Rangkaian Mikrokontroler dan LCD

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prinsip kerja dari sistem ini adalah sebagai berikut. Sinyal analog yang berasal dari termokopel dimasukkan ke dalam rangkaian melewati rangkaian penguat (*op-amp*). Hal ini dimaksudkan supaya nilai keluaran termokopel yang semestinya dalam orde mili-Volt menjadi besaran tegangan searah dalam orde Volt sehingga bisa terbaca oleh rangkaian ADC yang mensyaratkan inputan dalam orde Volt. Sinyal analog yang telah diperkuat *op-amp* kemudian ditapis dengan rangkaian tapis lolos rendah aktif. Hal ini dimaksudkan supaya besarnya penguatan pada *op-amp* diharapkan lebih stabil dan menghambat sinyal dengan frekuensi masukan diatas 30 Hz (dalam penelitian ini digunakan frekuensi *Cutoff* 30 Hz). Kemudian sinyal analog ini

diubah menjadi sinyal digital dengan menggunakan rangkaian ADC-0809. Pulsa ini kemudian digunakan sebagai input bagi mikrokontroler yang selanjutnya akan dihitung dan diolah. Hasil dari pengolahan ini kemudian di tampilkan dalam display LCD yang menyatakan besarnya nilai suhu dalam °C pada titik tertentu di dalam bahan bakar reaktor. Selain itu kegunaan mikrokontroler pada sistem ini adalah untuk menyeleksi/mengaktifkan kanal sinyal masukan dari termokopel.

Pengujian untuk Penguat Diferensial (*Op-Amp*) dan tapis lolos rendah disajikan pada Tabel 1 yang disajikan diakhir makalah ini. Secara teoritis berdasarkan perancangan rangkaian penguat, nilai tegangan masukan harus menghasilkan tegangan luaran yang stabil 400 kali tegangan masukan. Kemudian hasil dari penguatan pada tegangan luaran kanal 1, 2, dan 3 dibandingkan dengan nilai luaran yang seharusnya secara teoritis yakni senilai 400 kali nilai input. Dari Tabel 1 telah diperoleh bahwa nilai luaran rata-rata adalah 400 kali nilai masukan, selisih nilai tertinggi terukur pada tegangan masukan 7,1 mV dengan deviasi luaran 4mV yang seharusnya tertampil 2840 mV, akan tetapi karena penguatan senilai 400 kali maka selisih 4mV ini menjadi tidak signifikan pada sistem penampilan suhu akhir di LCD.

Sebelum dilakukan pengujian sesungguhnya pada reaktor yang dioperasikan, dilakukan pengujian sistem yang telah terhubung dengan LCD dengan menginputkan data pada ketiga kanal masukan dengan berbagai nilai tegangan. Tabel 2 menunjukkan hasil pengamatan pengujian system dengan tegangan buatan. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa tegangan buatan yang dimasukkan ke dalam sistem telah menunjukkan nilai suhu seperti yang diinginkan seperti yang tercantum pada tabel termokopel tipe K (Khrome-Alumel). Begitu pula dengan sistem ADC telah berfungsi dengan baik dengan menyediakan bit yang sesuai untuk tingkatan suhu. Sistem dapat dikatakan bekerja dengan baik dengan simulasi masukan tegangan buatan.

Kemudian pengujian dilakukan dengan metode Chi-square untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat bisa menampilkan data yang bisa diterima. Data yang dimasukkan pada sistem sebanyak 27 data yang dianggap telah mewakili dari unjuk kinerja sistem. Kemudian data dianalisis menggunakan metode Chi-square [7]. Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 3.

Dari hasil-hasil pengujian dan analisa menggunakan statistik berdasarkan rumusan Knoll [10]:

$$X^2 = \frac{i \sum_{i=1}^k (O_i - n_i)^2}{n_i}$$

- X^2 : Chi-kuadrat
 O_i : Frekuensi pengamatan
 n_i : Frekuensi yang diharapkan
 k : banyaknya interval

Dari pengujian diperoleh bahwa X^2 hitung untuk kanal 1 (3,09), kanal 2 (3,8) dan kanal 3 (2,8) < X^2 tabel (38,9). Hal ini berarti bahwa data-data hasil pengujian berada pada rentang nilai X^2 yang telah ditentukan, artinya data-data tersebut dapat dianggap telah memenuhi kriteria. Sehingga dapat diasumsikan sistem yang dibuat menunjukkan kinerja yang baik. Pada tabel terdapat deviasi yang cukup tinggi untuk suhu di 90 °C, dengan penunjukan suhu di tiga titik termokopel 80, 81 dan 88. Hal ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kesalahan pengamatan, karena jika kita bandingkan dengan hasil pengamatan pada Tabel 6. Pengujian sistem pada daya reaktor 75 kW maka diperoleh nilai suhu 85 °C untuk input tegangan 3.47mV dimana semestinya dengan tegangan 3.7mV pada sistem juga menunjukkan nilai yang lebih besar daripada 85 °C.

Pengujian pada beberapa tingkat daya operasi reaktor diperoleh data pengujian sebagaimana Tabel 4. Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa suhu bahan bakar pada ring B adalah 34 °C, sedangkan untuk bahan bakar pada ring F adalah 16 °C. Penunjukan suhu di daya reaktor 25 kW ini stabil dan masih masuk dalam suhu yang tertera pada tabel yang ada di termokopel.

Pengujian suhu bahan bakar pada tingkatan daya selanjutnya dilakukan pengukuran seperti pada Tabel 5. Dari Tabel 5 dapat diketahui suhu bahan bakar pada ring B adalah sekitar 58 °C, sedangkan untuk bahan bakar pada ring F adalah sekitar 26 °C. Penunjukan suhu bahan bakar pada daya reaktor 50 kW ini stabil dan masih masuk dalam suhu yang tertera pada tabel yang ada di termokopel.

Pengukuran suhu bahan bakar pada tingkatan daya selanjutnya dilakukan pengukuran seperti pada Tabel 6. Dari Tabel 6 dapat diketahui suhu bahan bakar pada ring B adalah 85°C, sedangkan suhu bahan bakar pada ring F adalah 36 °C. Penunjukan suhu di daya reaktor 75kW ini stabil dan masih masuk dalam nilai suhu yang tercantum pada tabel termokopel.

Pengukuran suhu bahan bakar pada tingkatan daya selanjutnya dilakukan pengukuran seperti pada Tabel 7. Dari Tabel 7 dapat diketahui suhu bahan bakar pada ring B adalah 115°C, sedangkan untuk bahan bakar pada ring F adalah 49 °C. Penunjukan suhu di daya reaktor 100 kW ini stabil dan masih masuk dalam nilai suhu yang tercantum dalam tabel yang ada di termokopel.

Pengujian kestabilan sistem yang dibuat, dilakukan pengujian sistem pada hari yang lain selama 4.5 jam dengan daya reaktor 100 KWatt. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8. Dari Tabel 8, pengujian sistem pada reaktor yang dioperasikan terlihat bahwa sistem bekerja dengan baik dengan penunjukan suhu yang stabil pada 100 kW dimana reaktor Kartini biasanya dioperasikan untuk satu hari selama 5 jam. Suhu reaktor pada daya 100 kW pada ring terpanas (B) di reaktor dengan suhu rata-rata 117 °C masih jauh dari batas suhu maksimum bahan bakar pada ring B (900 °C pada dokumen laporan analisis

keselamatan reaktor Kartini). Jika merujuk pada tabel termokopel, maka penunjukan suhu pada sistem telah sesuai dengan voltase yang terbaca di tabel termokopel tipe khrom-alumel. Berikut ini adalah gambar dari sistem penampil suhu bahan bakar reaktor kartini yang dibuat.



Gambar 6. Sistem penampil suhu bahan bakar reaktor kartini

KESIMPULAN

Dari pembuatan sistem penampil suhu bahan bakar reaktor kartini (dengan termokopel jenis K (Khromel-Alumel) dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem penampil suhu bahan bakar reaktor penelitian dapat dibuat dengan menggunakan ADC untuk mengonversi masukan tegangan analog dari luaran termokopel menjadi digital sehingga bisa diolah mikrokontroler, kemudian hasilnya disajikan dengan tampilan modul LCD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Haendra Subekti, ST, MT selaku pimpinan di DP2IBN dan Nur Syamsi Syam selaku koordinator kelompok pengaturan reaktor nondaya atas waktu dan bimbingan yang telah diberikan sehingga dimungkinkannya penulisan makalah ini. Dan juga terimakasih kepada Prof. Sardjono dan alm. Balzah Achmad yang telah menjadi dosen pembimbing sehingga terwujudnya sistem penampil suhu ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Wahyudi, D. 2003. *Pembuatan Multi Channel Analyzer Terkendali menggunakan mikrokontroler*

AT89C51. Yogyakarta: Skripsi Jurusan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada.

- [2]. Perka BAPETEN. 2013. *Batasan dan Kondisi Operasi Reaktor Nondaya*. Jakarta.
- [3]. DC Green. 1982. *Pedoman Elektronika 1*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia.
- [4]. Putra, E.A. 2002. *Penapis Aktif Elektronika Teori dan Praktek*. Yogyakarta: C.V. Gava Media.
- [5]. Putra, E.A. 2002. *Teknik Antarmuka Komputer, Konsep dan Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6]. Achmad, B., Arif, A. 2003. *Workshop Dasar Aplikasi Mikrokontroler*, Laboratorium Instrumentasi Jurusan Teknik Fisika: Yogyakarta.
- [7]. Sudjana. 1996. *Metoda Statistika*, Tarsito, Bandung.
- [8]. DC Green. 1982. *Pedoman Elektronika 2*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia.
- [9]. Herlim L, IE Tim. *Temperature Display with Graphic LCD*, www. Innovative-Electronic.com.
- [10]. Harrer J.M., Beckerley J.G. 1973. *Nuclear Power Reactor Instrumentation System Handbook*, Technical Information Center U.S. Atomic Energy Commission.
- [11]. Knoll,G.F. 1989. *Radiation Detection and Instrument*, John Wiley and Sons, Toronto.
- [12]. Warsito S. 1992. *Data Sheet Book 1 Data IC Linier, TTL dan CMOS*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia.

LAMPIRAN

Tabel 1. Pengujian Penguat Diferensial (*Op-Amp*) dan tapis lolos rendah

Tegangan Masukan (mV)	tegangan keluaran kanal 1 (mV)	tegangan keluaran kanal 2 (mV)	tegangan keluaran kanal 3 (mV)	nilai luaran seharusnya (mV)
0,15	60	60	61	60
0,3	118	118	120	120
1,5	598	600	602	600
2,7	1078	1080	1082	1080
3,8	1516	1518	1520	1520
4,9	1956	1960	1960	1960
6,2	2480	2480	2480	2480
7,1	2836	2836	2836	2840
8,1	3240	3240	3240	3240
9,6	3838	3836	3836	3840
10,16	4064	4064	4064	4064

Tabel 2. Pengujian sistem dengan tegangan buatan

Suhu	input voltase mV	Bit	Suhu	input voltase mV	Bit	Suhu	input voltase mV	Bit
LCD		ADC	LCD		ADC	LCD		ADC
0	0	0	80	3,26	82	165	6,73	169
		1			83			170
		2			84			171
		3			85			172
		4			86			173
5	0,2	5	85	3,47	87	170	6,93	174
		6			88			175
		7			89			176
		8			90			177
		9			91			178
10	0,4	10			92	175	7,13	179
		11	90	3,68	93			180
		12			94			181
		13			95			182
		14			96			183
15	0,6	15			97	180	7,33	184
		16	95	3,89	98			185
		17			99			186
		18			100			187
		19			101			188
20	0,8	20			102	185	7,53	189
		21	100	4,1	103			190
		22			104			191
		23			105			192
		24			106			193
25	1	25			107	190	7,73	194
		26	105	4,31	108			195
		27			109			196
		28			110			197
		29			111			198

Suhu	input voltase mV	Bit	Suhu	input voltase mV	Bit	Suhu	input voltase mV	Bit
30	1,2	30	110	4,51	112	195	7,93	199
		31			113			200
		32			114			201
		33			115			202
		34			116			203
35	1,4	35	115	4,72	117	200	8,13	204
		36			118			205
		37			119			206
		38			120			207
		39			121			208
40	1,61	40	120	4,92	122	205	8,33	209
		41			123			210
		42			124			211
		43			125			212
		44			126			213
45	1,81	45	125	5,13	127	210	8,54	214
		46			128			215
		47			129			216
		48			130			217
		49			131			218
50	2,02	50	130	5,33	132	215	8,74	219
		51			133			220
		52			134			221
		53			135			222
		54			136			223
55	2,23	55	135	5,53	137	220	8,94	224
		56			138			225
		57			139			226
		58			140			227
		59			141			228
60	2,43	60	140	5,73	142	225	9,14	229
		61			143			230
		62			144			231
		63			145			232
		64			146			233
65	2,64	65	145	5,93	147	230	9,34	234
		66			148			235
		67			149			236
		68			150			237
		69			151			238
70	2,85	70	150	6,13	152	235	9,54	239
		71			153			240
		72			154			241
		73			155			242
		74			156			243
75	3,05	75	155	6,33	157	240	9,75	244
		76			158			245
		77			159			246
		78			160			247
		79			161			248
		80	160	6,53	162	245	9,95	249
		81			163			250
					164			251
					165			252

Suhu	input voltase mV	Bit	Suhu	input voltase mV	Bit	Suhu	input voltase mV	Bit
					166			253
					167			254
					168	250	10,16	255

Tabel 3. Hasil analisa pengukuran dengan metode Chi-square

Tabel Termokopel (mV)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Tabel termokopel (°C)	X1 ²	X2 ²	X3 ²
0	0	0	0	0	0	0	0
0,52	14	12	15	13	0,076923077	0,07692308	0,307692
0,58	16	14	14	14	0,285714286	0	0
0,61	17	15	17	15	0,266666667	0	0,266667
0,64	17	16	19	16	0,0625	0	0,5625
0,65	18	17	22	21	0,428571429	0,76190476	0,047619
0,85	24	21	25	22	0,181818182	0,04545455	0,409091
1,33	34	36	38	34	0	0,11764706	0,470588
1,55	38	41	41	39	0,025641026	0,1025641	0,102564
1,7	43	44	43	43	0	0,02325581	0
1,77	46	45	45	44	0,090909091	0,02272727	0,022727
1,89	46	45	48	47	0,021276596	0,08510638	0,021277
2,1	50	51	53	52	0,076923077	0,01923077	0,019231
2,4	57	59	58	59	0,06779661	0	0,016949
2,6	65	61	62	64	0,015625	0,140625	0,0625
2,8	67	67	68	68	0,014705882	0,01470588	0
3	71	70	69	73	0,054794521	0,12328767	0,219178
3,2	75	74	78	78	0,115384615	0,20512821	0
3,4	80	79	83	83	0,108433735	0,19277108	0
3,7	81	80	88	90	0,9	1,11111111	0,044444
3,8	90	88	89	92	0,043478261	0,17391304	0,097826
4	94	93	98	98	0,163265306	0,25510204	0
4,05	97	94	100	99	0,04040404	0,25252525	0,010101
4,1	99	99	102	100	0,01	0,01	0,04
4,2	100	100	104	102	0,039215686	0,03921569	0,039216
4,4	107	105	108	107	0	0,03738318	0,009346
4,5	110	108	112	110	0	0,03636364	0,036364
Σ X ² hitung					3,090047086	3,84694558	2,80588
Σ X ² tabel (27-1)					38,9	38,9	38,9

Tabel 4. Pengujian sistem pada daya reaktor 25 kW

Jam pengukuran	Suhu bahan bakar pada ring B (°C)		Suhu bahan bakar pada ring F (°C)					
	mV	°C	mV	Bawah	mV	Atas	mV	Tengah
09.55	1,2	30	0,6	15	0,58	14	0,6	15
10.05	1,3	33	0,67	16	0,6	15	0,66	16
10.07	1,35	34	0,68	16	0,6	15	0,67	16
10.08	1,35	34	0,7	17	0,66	16	0,7	17
10.10	1,34	34	0,6	15	0,58	14	0,68	16
10.11	1,35	34	0,65	16	0,61	15	0,66	16
10.12	1,35	34	0,6	15	0,62	15	0,7	17
10.13	1,34	34	0,66	16	0,61	15	0,68	16
10.15	1,33	34	0,65	16	0,62	16	0,7	17
10.20	1,35	34	0,64	16	0,6	15	0,67	16
10.24	1,34	34	0,67	16	0,61	16	0,7	17
10.25	1,4	35	0,7	17	0,7	17	0,7	17
10.27	1,37	34	0,6	15	0,6	15	0,67	16

Tabel 5. Pengujian sistem pada daya reaktor 50 kW

Jam pengukuran	Suhu bahan bakar pada ring B		Suhu bahan bakar pada ring F (°C)					
	mV	°C	mV	Bawah	mV	Atas	mV	Tengah
10.29	2,3	57	1	25	0,97	24	1,1	24
10.30	2,31	57	0,97	24	0,92	23	1,18	26
10.31	2,36	58	1,1	25	1,1	25	1,17	26
10.32	2,37	58	1,18	26	1,17	26	1,1	25
10.33	2,32	57	1,11	25	0,97	24	1,16	26
10.35	2,36	58	1,17	26	1,12	25	0,93	24
10.40	2,23	55	0,92	23	0,92	23	0,94	24
10.45	2,24	55	0,98	24	0,98	24	0,95	24
10.48	2,39	59	1,17	26	1	25	1,17	26
10.50	2,4	60	1,18	26	1,1	25	1,16	26
10.51	2,38	59	1,17	26	1,17	26	1,14	27
10.53	2,41	60	1,17	26	1,16	26	1,11	26
10.55	2,39	59	1,18	26	1,1	25	1,1	26

Tabel 6. Pengujian sistem pada daya reaktor 75 kW

Jam pengukuran	Suhu bahan bakar pada ring B		Suhu bahan bakar pada ring F (°C)					
	mV	°C	mV	Bawah	mV	Atas	mV	Tengah
10.58	3,13	77	1,36	34	1,36	34	1,36	34
10.59	3,26	80	1,44	36	1,4	35	1,44	36
11.00	3,37	83	1,45	36	1,39	35	1,39	36
11.01	3,41	84	1,4	35	1,37	34	1,44	36
11.02	3,47	85	1,48	37	1,48	37	1,4	35
11.06	3,48	85	1,46	36	1,46	36	1,46	36
11.11	3,41	84	1,4	35	1,38	34	1,4	35
11.16	3,48	85	1,48	37	1,48	37	1,51	38
11.20	3,42	84	1,46	36	1,47	37	1,47	37
11.25	3,47	85	1,45	36	1,45	36	1,47	37

Tabel 7. Pengujian sistem pada daya reaktor 100 kW

Jam pengukuran	Suhu bahan bakar pada ring B		Suhu bahan bakar pada ring F (°C)					
	mV	°C	mV	Bawah	mV	Atas	mV	Tengah
11.29	4,51	113	1,93	48	1,93	48	1,93	48
11.30	4,55	114	1,97	49	1,97	49	1,97	49
11.31	4,60	115	1,94	48	1,94	48	1,97	49
11.32	4,61	115	1,95	48	1,95	48	2,00	49
11.33	4,60	115	1,97	49	1,96	48	0,02	50

Tabel 8. Pengujian kestabilan sistem pada daya reaktor 100 kW

Jam	Suhu bahan bakar pada ring B		Suhu bahan bakar pada ring F	
	mV	(°C)	mV	(°C)
09.30	4,8	117	2,1	52
10.00	4,8	117	2,02	50
10.30	4,81	117	2,06	51
11.00	4,82	117	2,07	51
11.30	4,82	117	2,07	51
12.00	4,81	117	2,06	51
12.30	4,8	117	2,08	51
13.00	4,8	117	2,1	52
13.30	4,81	117	2,11	52
14.00	4,82	117	2,1	52