

# TEMPERATURE MEASUREMENT AND CALIBRATION PADA ARMFIELD TH 1: PROPERTI TERMOMETRIK DAN RESPON SENSOR TEMPERATUR

Kevin Juniar<sup>1)</sup> dan Steven Darmawan<sup>2)</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara  
e-mail: <sup>1)</sup>kevin.515180009@stu.untar.ac.id, <sup>2)</sup>stevend@ft.untar.ac.id

**Abstract:** Calibration is needed to ensure that the measuring instrument works according to existing standards. The ability to calibrate measuring instruments is very necessary in the engineering world, especially calibration of temperature measuring instruments due to the importance of measuring temperature in the field of mechanical engineering. The purpose of this practical work report is to operate the Armfield TH1-Temperature Measurement and Calibration tool properly, investigate the thermometric properties of various temperature measuring instruments, also determine the response received by the device to changes in temperature. In testing the thermometric properties, using PT100 REF as a reference for other temperature measuring instruments. Thermistor Reading is the most accurate because it has the smallest difference with the PT100 REF compared to other measuring instruments. Thermistor Reading produces an average temperature difference of 0.036°C compared to PT100 REF. In testing the response of temperature sensors, the response given by the thermocouple temperature gauge is quite good both in the water bath and in the flask. When the thermocouple was transferred to the flask quickly, the temperature only ranged from 2.38°C to 4.05°C with a temperature change of 1.67°C, which means that the temperature measurement is quite stable when in the flask.

**Keywords:** Measurement, Calibration, temperature measuring instrument

## PENDAHULUAN

Konsep ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini telah berkembang dengan pesat sehingga memunculkan inovasi di berbagai bidang seperti dalam bidang pengukuran. *Engineer* dituntut untuk memiliki ilmu yang mendalam, dan mampu mengaplikasikan ilmu tersebut ke industri ataupun kegiatan sehari-hari. Salah satu bidang pengukuran yang terus berkembang adalah pengukuran temperatur karena sifatnya yang dapat merepresentasikan kondisi kerja sistem. Pada aplikasinya, pengukuran temperatur dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis sensor serta sistem pengukuran, dari yang paling tradisional seperti *liquid in glass thermometer*, penggunaan data akuisisi pada penggunaan termokopel, aplikasi IoT pada pengukuran dan pemantauan temperatur secara *remote* dan banyak metode dan jenis alat ukur lain. Banyaknya jenis dan metode pengukuran ini menyebabkan pengetahuan akan pemilihan jenis dan metode pengukuran temperatur serta analisisnya diperlukan untuk menghasilkan pengukuran temperatur yang valid dan bisa diterima secara saintifik. Bidang Teknik mesin tidak dapat dipisahkan dengan pengukuran dan penggunaan alat ukur. Lebih jauh, hasil pengukuran juga sangat dipengaruhi oleh akurasi alat ukur dan kalibrasi yang tidak terpisahkan satu sama lain. Akurasi pembacaan alat ukur tersebut sangat vital di dalam dunia keteknikan karena akibat dari *error* yang terjadi dari ketidak-akuratan alat ukur dapat berakibat fatal, misalnya kesalahan pengukuran temperatur pada sistem boiler dapat menyebabkan kecelakaan fatal. Sehingga kemampuan untuk melakukan kalibrasi terhadap alat ukur sangat diperlukan dalam dunia keteknikan, terutama kalibrasi alat ukur temperature [1]. Penggunaan alat ukur temperatur yang telah dikalibrasi sangat penting pada bidang teknik mesin karena temperatur merupakan salah satu variabel yang banyak digunakan dalam bidang keteknikan. Oleh karena itu makalah ini bertujuan untuk melakukan analisis lebih detail terhadap *property* termometrik dan respon sensor temperatur dari beberapa sensor menggunakan *Temperature Measurement and Calibration* Armfield TH1.

## METODE PENELITIAN

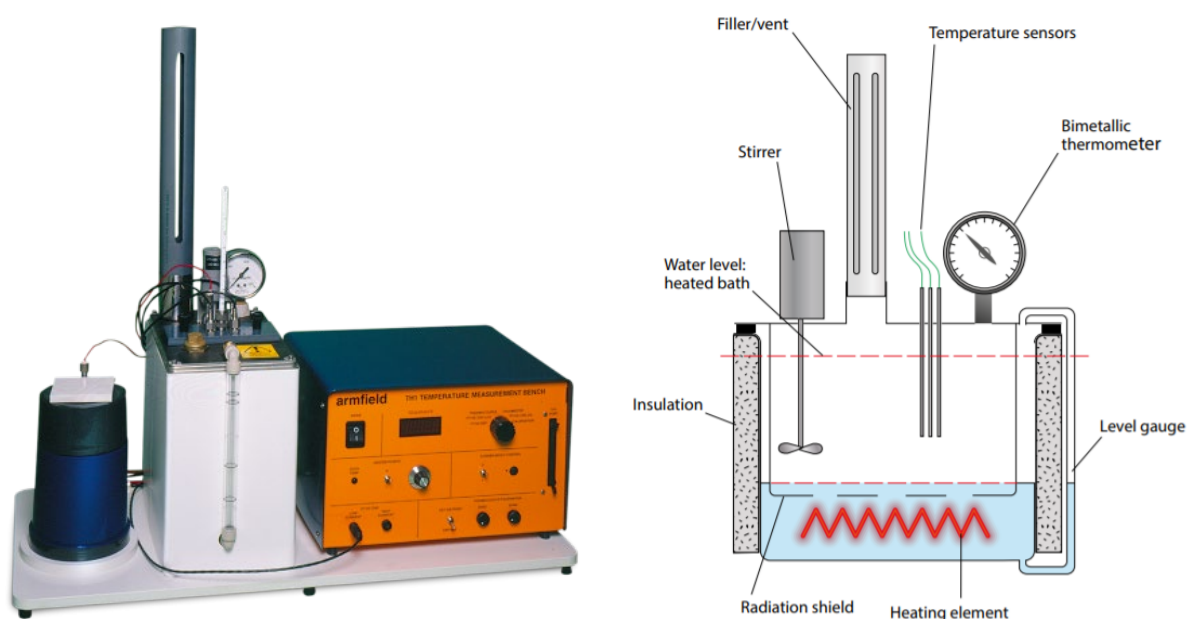
Pengukuran alat ukur temperatur untuk keperluan kalibrasi alat tersebut dilakukan dengan metode eksperimen pada sistem *armfield* TH-1 [2]. Dengan dilakukannya eksperimen ini, maka dapat ditentukan alat ukur temperatur yang terbaik dengan alat ukur PT100REF sebagai acuannya. Untuk dapat mengetahui alat ukur yang terbaik maka dilakukan uji *thermometric properties*, dengan pembacaan awal untuk masing-masing sensor. Untuk dapat mengetahui properti termometrik, air yang

dipanaskan hingga 60 Watt dan diaduk dengan kecepatan 110 rpm, diukur dengan menggunakan 5 jenis alat ukur yang berbeda, yaitu sebagai berikut:

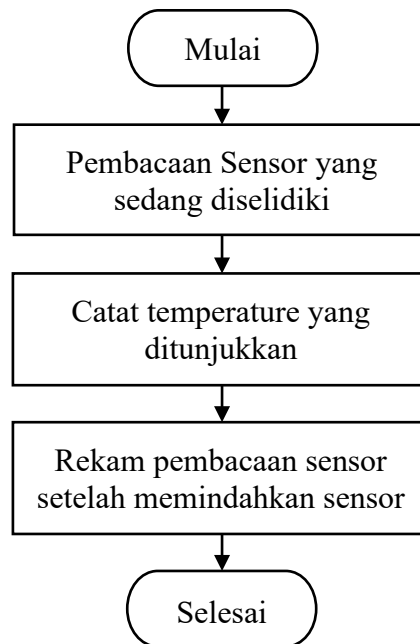
1. PT100 IND: Terdiri dari elemen resistensi platinum (DIN, 3 kawat, PT 100) yang dipasang di selubung baja tahan karat berdiameter 6mm untuk memberikan respons yang lebih lambat dan mengurangi akurasi jika dibandingkan dengan sensor referensi.
2. *Thermocouple*: Termokopel (naked bead) terdiri dari *welded bead* di ujung kawat termokopel tipe K, menonjol dari selubung baja tahan karat berdiameter 3mm dan diisolasi untuk memberikan respons termal yang cepat.
3. *Thermistor*: Terdiri dari termistor semikonduktor yang dipasang di dalam selubung pelindung *stainless steel* berdiameter 3mm.
4. *Liquid-in-Glass*: Termometer kaca berisi spiritus standar yang bergantung pada perubahan volume untuk menunjukkan suhu pada skala pembacaan langsung.
5. *Bi-metal*: termometer bi-logam standar yang bergantung pada ekspansi diferensial dari dua logam yang berbeda untuk mengoperasikan pengukur tekanan Bourdon yang dikalibrasi dalam satuan suhu.
6. PT100 REF (acuan alat ukur temperatur): Termometer referensi terdiri dari probe resistansi platinum (1/10 DIN, 4 kawat, PT 100) yang dilengkapi dengan sertifikat kalibrasi 5 titik, yang dapat dilacak ke standar NAMAS. Sensor referensi dipasang di dalam selubung baja tahan karat berdiameter 2 mm untuk memberikan respons yang cukup cepat terhadap perubahan suhu.

Selain menentukan alat ukur temperatur terbaik menggunakan pembacaan output dari beberapa alat ukur. Membaca respon dari sensor alat ukur temperatur juga dapat menentukan alat ukur yang terbaik. Untuk dapat mengetahui respon dari sensor alat ukur temperatur maka dilakukan uji *response of temperature sensors*, yaitu dengan prosedur sebagai berikut:

1. Pembacaan untuk sensor yang sedang diselidiki (gunakan saklar pada konsol untuk mengalihkan tampilan ke sensor yang relevan, atau baca langsung dari termometer kaca cair).
2. Catat temperatur yang ditunjukkan oleh termometer referensi PT100.
3. Pindahkan sensor *carrier* dari *water-bath* ke labu terinsulasi dengan cepat tetapi hati-hati.
4. Rekam pembacaan sensor pada interval lima detik.



Gambar 1. Sistem *Armfield* TH-1 [3]



Gambar 2. Flowchart prosedur eksperimental

Tabel 1. Konversi termokopel tipe K (*Microvolt*) ke °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357
10	397	437	477	517	557	597	637	677	718	758
20	798	838	879	919	960	1000	1041	1081	1122	1163
30	1203	1244	1285	1326	1366	1407	1448	1489	1530	1571
40	1612	1653	1694	1735	1776	1817	1858	1899	1941	1982
50	2023	2064	2106	2147	2188	2230	2271	2312	2354	2395
60	2436	2478	2519	2561	2602	2644	2685	2727	2768	2810
70	2851	2893	2934	2976	3017	3059	3100	3142	3184	3225
80	3267	3308	3350	3391	3433	3474	3516	3557	3599	3640
90	3682	3723	3765	3806	3848	3889	3931	3972	4013	4055
100	4096	4138	4179	4220	4262	4303	4344	4385	4427	4468

Persamaan Konversi Termokopel tipe K (*Microvolt*) ke °C:

$$E = \sum_{i=0}^n C_i (t_{90})^i$$

Dimana:

E : Termokopel (*Microvolt*)

$t_{90}$  : Temperatur (Celsius)

Orde polinomial termokopel tipe k :  $10^{\text{th}}$ ,  $9^{\text{th}}$  + a  $e^{b(t-c)^2}$  [4]

Persamaan konversi *Electrical Resistance* ke °C:

$$R_t = R_0 (1 + A t + B t^2 + C (t - 100) t^3)$$

Dimana:

$R_t$  : resistance at temperature  $t$  (ohm)

$R_0$  : resistance at temperature 0°C (ohm)

$$A : 3.9083 \cdot 10^{-3}$$

$$B : -5.775 \cdot 10^{-7}$$

$$C : -4.183 \cdot 10^{-12} \text{ (for temperatures below } 0^{\circ}\text{C)}$$

$$C : 0 \text{ (for temperatures above } 0^{\circ}\text{C)} [5]$$

Tabel 2. Konversi *electrical resistance* ke  $^{\circ}\text{C}$

Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Electrical Resistance ( $\Omega$ )
0	100,00
10	103,90
20	107,79
30	111,67
40	115,54
50	119,40
60	123,24

Tabel 3. Konversi *thermistor* ke  $^{\circ}\text{C}$  [6]

Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Thermistor ( $\Omega$ )
40	1598
45	1310
50	1081
55	895
60	746
65	625

Persamaan konversi *Thermistor* ke  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)$$

Dimana:

B = koefisien *thermistor*

$T_0$  = temperatur ruangan

$R_0$  = resistansi dari temperatur ruangan [7]

## HASIL PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian *Thermometric Properties*

Tabel 4. Hasil pengujian *thermometric properties*

No	PT100 REF Reading ( $^{\circ}\text{C}$ )	PT100 IND Reading ( $\Omega$ )	Thermocouple Reading ( $\mu\text{V}$ )	Thermistor Reading ( $\Omega$ )	Liquid-in-Glass ( $^{\circ}\text{C}$ )	Bi-metal ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	41,53	116,53	1,654	1506	39	40
2	51,87	120,58	2,100	989	50	53
3	57,44	122,64	2,312	820	54	58
4	58,85	123,15	2,368	780	55	59
5	60,30	123,69	2,428	741	57	61
<b>Rata-rata</b>	53,99	121,32	2,172	967,2	51	54,2

Berdasarkan data hasil pengujian *thermometric properties* yang sudah diambil, maka didapatkan sifat termometrik dari setiap alat ukur temperatur yang digunakan. Dari hasil yang tertera maka dapat dijelaskan bahwa setiap alat ukur mendapatkan hasil temperatur yang beragam. PT100 REF merupakan acuan untuk pengkalibrasian alat ukur temperatur yang lain. PT100 IND Reading mempunyai rata-rata perbedaan temperatur mencapai  $0,994^{\circ}\text{C}$ . *Thermocouple Reading* mempunyai

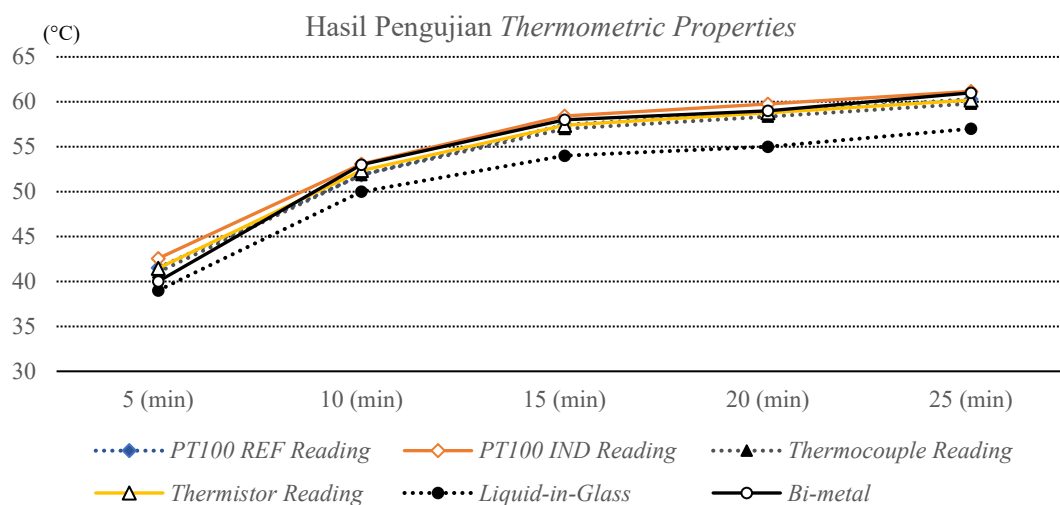
rata-rata perbedaan temperatur mencapai  $0,392^{\circ}\text{C}$ . *Thermistor Reading* mempunyai rata-rata perbedaan temperatur mencapai  $0,036^{\circ}\text{C}$ . *Liquid-in-Glass* mempunyai rata-rata perbedaan temperatur mencapai  $2,998^{\circ}\text{C}$ . *Bi-metal* mempunyai rata-rata perbedaan temperatur mencapai  $0,202^{\circ}\text{C}$ .

Tabel 5. Hasil *thermometric properties* dalam Celsius

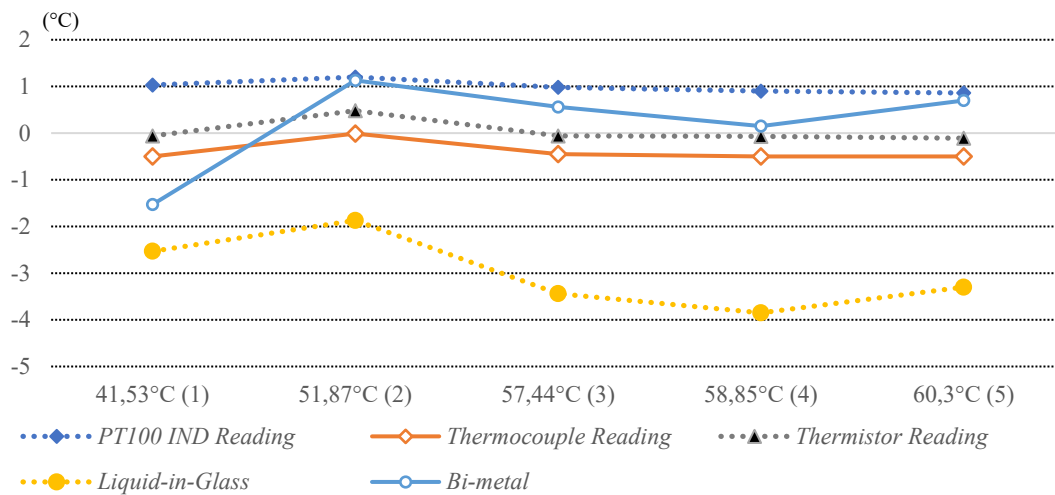
No	PT100 REF Reading ( $^{\circ}\text{C}$ )	PT100 IND Reading ( $^{\circ}\text{C}$ ) [8]	Thermocouple Reading ( $^{\circ}\text{C}$ ) [9]	Thermistor Reading ( $^{\circ}\text{C}$ ) [10]	Liquid-in-Glass ( $^{\circ}\text{C}$ )	Bi-metal ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	41,53	42,56	41,03	41,47	39	40
2	51,87	53,07	51,86	52,35	50	53
3	57,44	58,42	56,99	57,38	54	58
4	58,85	59,75	58,35	58,78	55	59
5	60,30	61,16	59,80	60,19	57	61
<b>Rata-rata</b>	53,99	54,99	53,61	54,03	51	54,2

Tabel 6. Perbedaan temperatur PT100 REF dengan perangkat lain

No	$\Delta T$ PT100 IND Reading ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ Thermocouple Reading ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ Thermistor Reading ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ Liquid-in-Glass ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ Bi-metal ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	1,03	-0,5	-0,06	-2,53	-1,53
2	1,2	-0,01	0,48	-1,87	1,13
3	0,98	-0,45	-0,06	-3,44	0,56
4	0,9	-0,5	-0,07	-3,85	0,15
5	0,86	-0,5	-0,11	-3,3	0,7
<b>Rata-rata</b>	0,994	-0,392	0,036	-2,998	0,202



Gambar 3. Hasil Pengujian *thermometric properties*



Gambar 4. Hasil perbedaan temperatur PT100 REF dengan perangkat lain

Dapat disimpulkan bahwa *Thermistor Reading* merupakan alat ukur temperatur yang paling akurat karena memiliki perbedaan paling kecil dengan PT100 REF dibandingkan dengan alat ukur yang lain. Sedangkan *Liquid-in-Glass* merupakan alat ukur temperatur yang paling tidak akurat karena memiliki perbedaan paling besar dengan PT100 REF dibandingkan dengan alat ukur yang lain. Berdasarkan perhitungan statistik yang sudah dilakukan, maka didapatkan *error* dari masing-masing perhitungan alat ukur temperatur, dengan *error* terbesar oleh *bi-metal* dengan *error* 6,987%, dan *error* terkecil oleh PT100 IND dengan *error* 6,176%.

Tabel 7. Tabel perhitungan statistik *thermometric properties*

Keterangan	PT100 REF Reading	PT100 IND Reading	Thermocouple Reading	Thermistor Reading	Liquid-in- Glass	Bi-metal
$ X_i - m(x) $	235,0842	230,6827	233,527	232,3066	206	286,8
$\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2$	72894,6	75603	71840,08	72991,83	65025	73441
$\sum_{i=1}^n x_i^2$	14814	15351,28	14601,54	14830,67	13211	14975
Deviasi Standar	72,6748	72,09213	73,69925	73,44255	66,88797	93,3148
Mean Absolute Deviation	47,01684	46,13654	46,7054	46,46132	41,2	57,36
Deviasi Standar Sampel	3,428441	3,396194	3,417067	3,408127	3,209361	3,786819
Error	6,350137%	6,176021%	6,373936%	6,307841%	6,292865%	6,986751%

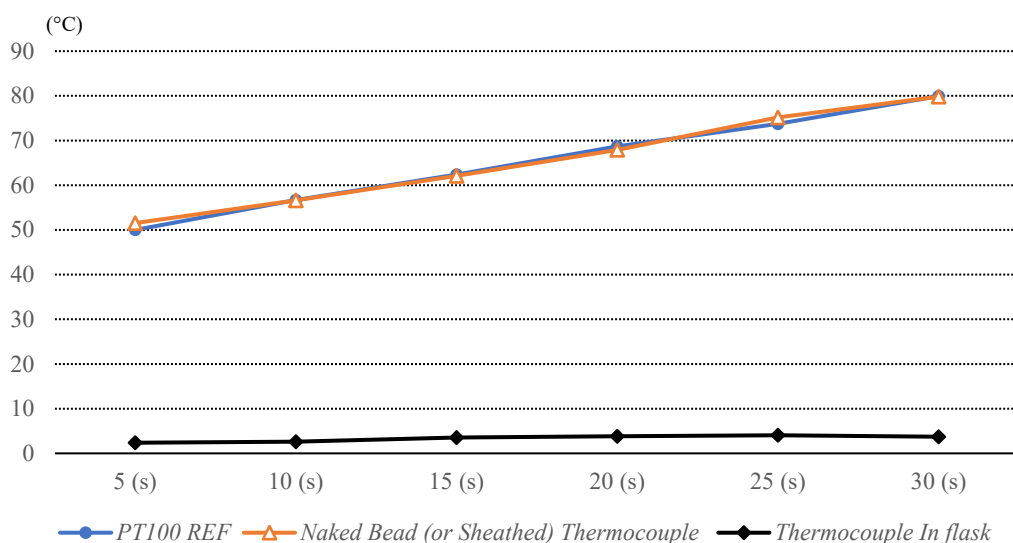
### Hasil Pengujian *Response of Temperature Sensors*

Tabel 8. Tabel hasil pengujian *response of temperature sensors*

No	Time (s)	PT100 REF (°C)	PT100 IND (Ω)	Naked Bead (or Sheathed) Thermocouple (μV)	Thermocouple In flask (μV)	Liquid-in-Glass (°C)
1	5	50	-	2,086	0,094	-
2	10	56,69	-	2,296	0,103	-
3	15	62,39	-	2,523	0,140	-
4	20	68,70	-	2,765	0,151	-
5	25	73,74	-	3,066	0,160	-
6	30	79,94	-	3,259	0,147	-
<b>Rata-rata</b>		65,24	-	2,666	0,133	-

Tabel 9. Tabel hasil *response of temperature sensors* dalam Celsius

No	Time (s)	PT100 REF (°C)	P100 IND (°C)	Naked Bead (or Sheathed) Thermocouple (°C)	Thermocouple In flask (°C)	Liquid-in-Glass (°C)	$\Delta T$ Thermocouple (°C)
1	5	50	-	51,53	2,38	-	1,53
2	10	56,69	-	56,61	2,61	-	-0,08
3	15	62,39	-	62,09	3,54	-	-0,30
4	20	68,70	-	67,92	3,82	-	-0,78
5	25	73,74	-	75,17	4,05	-	1,43
6	30	79,94	-	79,82	3,72	-	-0,12
<b>Rata-rata</b>	-	65,24	-	65,52	3,35	-	0,28

Gambar 5. Hasil pengujian *response of temperature sensors*

Berdasarkan data hasil pengujian *response of temperature sensors* yang sudah diambil, maka didapatkan hasil respon yang diterima perangkat terhadap perubahan temperatur yang terjadi secara tiba-tiba. Percobaan ini dilakukan selama 30 detik, dan data diambil setiap 5 detik untuk mengetahui respon dari setiap perangkat. Pada percobaan ini hanya menggunakan 2 alat ukur temperature saja, yaitu PT100 REF dan termokopel.

Dari awal hingga akhir percobaan, temperatur yang didapat ketika termokopel berada di *water-bath* berkisar antara 51,53°C sampai 79,82°C, terjadi perubahan temperatur 28,29°C dikarenakan ada nya pemanasan. Sedangkan pada saat termokopel berada di *flask*, temperatur berkisar antara 2,38°C sampai 4,05°C dengan perubahan temperatur 1,67°C, yang artinya pengukuran temperatur cukup stabil ketika berada di *flask*. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa respon yang diberikan dari alat ukur temperatur termokopel cukup baik, dikarenakan semakin meningkatnya temperatur yang terjadi ketika perangkat berada di *water-bath*, tidak menyebabkan perubahan temperatur yang berarti ketika perangkat dipindahkan ke *flask* secara tiba-tiba. Berdasarkan perhitungan statistik yang sudah dilakukan, maka didapatkan *error* dari masing-masing perhitungan alat ukur temperatur. PT100 REF mendapatkan *error* sebesar 7,799%, lalu *Thermocouple* dengan *error* 7,747%, dan *Thermocouple In flask* dengan *error* sebesar 0,615%.

Tabel 10. Tabel perhitungan statistik *response of temperature sensors*

Keterangan	PT100 REF	<i>Naked Bead (or Sheathed) Thermocouple</i>	<i>Thermocouple In flask</i>
$ X_i - m(x) $	397,7042	385,7556	2,2355
$\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2$	97044,71	98169,42	268,96
$\sum_{i=1}^n x_i^2$	19763,55	19978,86	56,003
Deviasi Standar	113,769	103,3946	0,543205
<i>Mean Absolute Deviation</i>	79,54084	77,15112	0,4471
Deviasi Standar Sampel	4,210723	4,153143	0,332491
<i>Error</i>	7,799079%	7,746956%	0,615381%

## SIMPULAN

*Thermistor Reading* merupakan alat ukur temperatur yang paling akurat karena menghasilkan perbedaan temperatur rata-rata paling kecil yaitu 0,036°C. *Liquid-in-Glass* merupakan alat ukur temperatur yang paling tidak akurat karena menghasilkan perbedaan temperatur rata-rata paling besar yaitu 2,998°C. Presentase perbedaan berbagai alat ukur dengan PT100 REF dimulai dari yang paling kecil hingga paling besar adalah *Thermistor Reading* dengan perbedaan 0,067%, *Bi-metal* dengan perbedaan 0,374%, *Thermocouple* dengan perbedaan 0,726%, PT100 IND dengan perbedaan 1,841%, dan *Liquid-in-Glass* dengan perbedaan 5,553%. Respon yang diberikan dari alat ukur temperatur termokopel cukup baik, dikarenakan semakin meningkatnya temperatur yang terjadi ketika perangkat berada di *water-bath*, tidak menyebabkan perubahan temperatur yang berarti ketika perangkat dipindahkan ke *flask* secara tiba-tiba. Pada saat termokopel dipindahkan ke *flask* secara cepat, temperature hanya berkisar antara 2,38°C sampai 4,05°C dengan perubahan temperatur 1,67°C, yang artinya pengukuran temperatur cukup stabil ketika berada di *flask*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Koestoer, "Pengukuran Teknik," *Dep. Tek. Mesin Fak. Tek. UI*, pp. 147–149, 2004.
- [2] "Temperature Measurement and Calibration.pdf - Temperature Measurement and Calibration Instruction Manual TH1 ISSUE 15 August 2016." <https://www.coursehero.com/file/40394307/Lab-3a-Temperature-Measurement-and-Calibrationpdf/> (accessed Dec. 14, 2021).
- [3] "Armfield Temperature Measurement and Calibration-TH1 - TH series," 2020.
- [4] J. Wu, "A Basic Guide to Thermocouple Measurements," *Texas Instruments Inc.*, no. September, pp. 1–37, 2018, [Online]. Available: [www.ti.com](http://www.ti.com).
- [5] "Pt100 - Platinum Resistance Thermometers." [https://www.engineeringtoolbox.com/pt100-electrical-resistance-d\\_1651.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pt100-electrical-resistance-d_1651.html) (accessed Nov. 08, 2021).
- [6] "3K Thermistor Output Table 3K Thermistor Output Table - BAPI." <https://www.yumpu.com/en/document/read/43560155/3k-thermistor-output-table-3k-thermistor-output-table-bapi> (accessed Nov. 09, 2021).
- [7] W. Electronics Inc, "Thermistor Basics WHAT IS A THERMISTOR?," 2013, Accessed: Nov. 10, 2021. [Online]. Available: [www.teamWavelength.com](http://www.teamWavelength.com).
- [8] "madur - Gas Analysers." [http://www.madur.com/index.php?page=/resistance\\_sensors](http://www.madur.com/index.php?page=/resistance_sensors) (accessed Oct. 28, 2021).
- [9] "Thermocouple Voltage to Temperature Calculator | by Fluke." <https://us.flukecal.com/Thermocouple-Temperature-Calculator> (accessed Oct. 28, 2021).
- [10] "SRS Thermistor Calculator." <https://www.thinksrs.com/downloads/programs/thermcalc/ntccalibrator/ntccalculator.html> (accessed Oct. 28, 2021).