

Pembuatan Alat Ukur Suhu Rendah Berbasis Mikrokontroler ATmega328 Menggunakan Sensor Suhu RTD PT-100

Manufacture of Low Temperature Measuring Instrument Based on ATmega328 Microcontroller Using PT-100 RTD Temperature Sensor

Bhakti Hardian Yusuf¹, I Made Satriya Wibawa^{2*}, I Ketut Putra³

^{1, 2, 3}Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

Email: bhaktihardian28@gmail.com, *satriya_wibawa@unud.ac.id, putra_jongrang@rocketmail.com

Abstrak – Telah berhasil dibuat alat ukur suhu rendah 77–300 K berbasis mikrokontroler ATmega328 dengan menggunakan sensor suhu RTD PT-100. Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 2x16. Dari hasil uji statistik t-test menunjukkan bahwa hasil pengukuran 4,36 K oleh alat ukur yang telah dibuat berbeda secara signifikan dengan alat ukur standard. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sesuai dengan alat ukur standard maka alat ukur yang telah dibuat distandarisasi dengan menggunakan persamaan kalibrasi $y = 0,9893x - 1,5990$ K dimana x adalah hasil pengukuran oleh alat ukur yang telah dibuat.

Kata kunci: Alat ukur suhu, Sensor RTD PT-100, Mikrokontroler Atmega328, LCD 2x16, t-test.

Abstract – A low-temperature measuring device 77–300 K based on the ATmega328 microcontroller has been successfully made using the PT-100 RTD temperature sensor. The measurements data are displayed on the 2x16 LCD. The t-test statistical showed that the value of 4.36 K by the made instrument significantly different from the standard instrument. To get accurate data with the standard instruments, the made instrument should be standardized using the calibration equation $y = 0.9893x - 1.5990$ K where x is the measurement data obtained by the made instrument.

Keywords: Temperature measuring devices, RTD PT-100 Sensor, Atmega328 Microcontroller, LCD 2x16, t-test.

1. Pendahuluan

Penelitian dalam bidang bahan superkonduktor sangat intensif dilakukan dewasa ini, baik dalam rangka menemukan bahan superkonduktor baru maupun meningkatkan unjuk kerja dari superkonduktor yang telah ditemukan. Salah satu parameter penting dalam penelitian bahan superkonduktor adalah suhu kritis (T_c), yaitu suhu maksimum dimana bahan mulai berubah sifat dari bersifat superkonduktif (memiliki resistivitas sama dengan nol) menjadi normal (memiliki resistivitas tertentu) [1]. Secara kasar metode untuk mengetahui T_c suatu superkonduktor adalah mengamati suhu maksimum dimana superkonduktor masih memperlihatkan penolakan terhadap medan magnet (efek Meissner).

Sampai saat ini suhu kritis dari superkonduktor keramik non-toksik adalah 110 K, yaitu dari superkonduktor sistem Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O (BPSCCO) pada fase $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ yang sering disingkat dengan (Bi,Pb)-2223 [2]. Suhu kritis tersebut berada di atas suhu didih nitrogen cair 77 K. Oleh karena itu untuk dapat mengamati efek Meissner, suhu dimana bahan bersifat superkonduktif (*superconducting*) diperlukan alat ukur suhu minimum dapat mendeteksi suhu 77 K. Pada penelitian sebelumnya menggunakan ADC 10-bit sehingga diperoleh hasil yang kurang presisi [2].

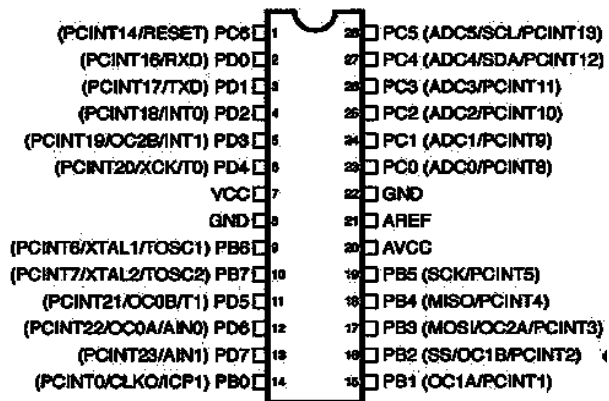
Dengan alasan tersebut pada penelitian ini dirancang alat ukur suhu rendah yang dapat menampilkan perubahan suhu dari 77 K sampai 300 K. Pada perancangan alat ukur suhu rendah antara 77-300 K dibuat perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Sebagai sensor suhu digunakan Resistance Temperature Detector (RTD) PT-100 dan menggunakan penguat ADC eksternal ADS1115

16-bit. Untuk proses digitalisasi digunakan mikrokontroler ATmega328. Sedangkan untuk tampilan visualnya digunakan LCD 2x16.

2. Metode Eksperimen

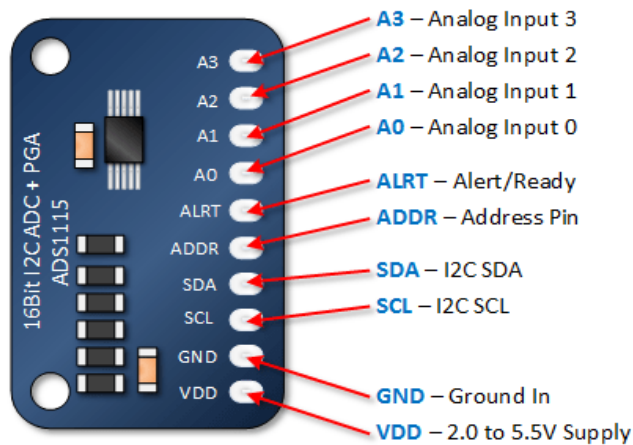
2.1 Komponen Utama Perangkat Keras

Dalam penelitian ini sebagai sensor suhu digunakan PT-100 yang terbuat dari logam platinum. Sensor suhu PT-100 bekerja atas dasar adanya perubahan resistansi seiring dengan perubahan suhu dan mampu mendeteksi perubahan suhu dari 77 K sampai pada suhu ruang secara linier [3, 4]. Untuk digitalisasi digunakan ATmega328 yang mana adalah salah satu jenis mikrokontroler dari keluarga mikrokontroler AVR [5]. ATmega328 memiliki beberapa fasilitas antara lain CPU 8-bit, 12 KB flash ROM, 256-byte RAM, 2 KB EEPROM, 4 Programmable Port I/O yang terdiri dari 8 jalur I/O, range frekuensi 0-24 MHz, 3 buah timer/counter 16-bit serta *interface* komunikasi serial. ATmega328 memiliki 28 pin seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega328 [6].

Modul ADS115 mendukung hingga 4 *single ended* atau 2 *input diferensial*. *Input* tunggal mengukur voltage (*voltase*) antara saluran input analog (A0-A3) dan analog ground (GND). Sedangkan input diferensial mengukur voltase antara dua saluran input analog (A0 dan A1) atau (A2 dan A3) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Modul ADS115 4 channel [8].

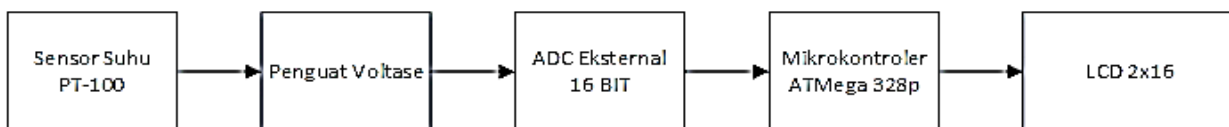
Modul ADS115 mempunyai penguatan sinyal dengan menuliskan penambahan pada program Arduino IDE dikuatkan dari 2/3-16 kali. Rumus untuk merubah nilai ADC 16-bit ke tegangan.

$$\text{Voltase} = (\text{adc} - 3) \times 0.1875 / 1000 \tag{1}$$

Modul ADS1115 untuk pengaturan program di arduino IDE menggunakan standar penguatan 2/3 kali (+/- 6,144 volt) dengan faktor skala 0,1875 mV [8]. Untuk menampilkan data hasil suhu terukur digunakan LCD karakter dot matrix dengan 2x16 karakter yang mana telah digunakan secara luas pada alat-alat yang menggunakan baterai seperti kalkulator dan jam tangan digital [9, 10].

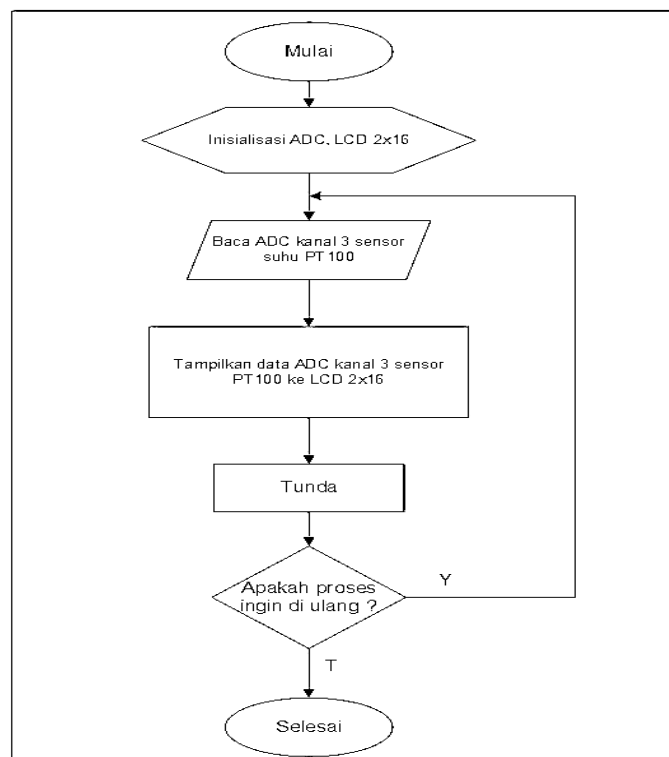
2.2 Rancangan Perangkat Keras dan Lunak

Secara skematik, rancangan perangkat keras terdiri atas sensor suhu, penguat voltase, mikrokontroler dan rangkaian *output*. Untuk memperoleh hasil konversi data, input data dari sensor PT-100. Data keluaran dari sensor PT-100 dikuatkan oleh penguat voltase untuk dibaca oleh ADC eksternal 16 bit. ADC kemudian mengkonversi signal analaog dari sensor PT-100 menjadi signal digital sehingga data dapat diolah oleh mikrokontroler. Data yang telah diolah mikrokontroler kemudian ditampilkan pada LCD 2x16 seperti tampak pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema rancangan perangkat keras.

Dalam pembuatan program untuk mengukur suhu rendah antara 77-300 K, *software* yang digunakan yaitu Arduino IDE. Diagram alir (*flowchart*) program pada Arduino IDE seperti tampak pada Gambar 4. *Flowchart* program mikrokontroler Atmega328 pada Gambar 4 diawali dengan membaca input dari sensor PT-100, hasil pembacaan dikuatkan di ADC 16-bit eksternal dan outputnya di tampilan pada LCD 2x16.

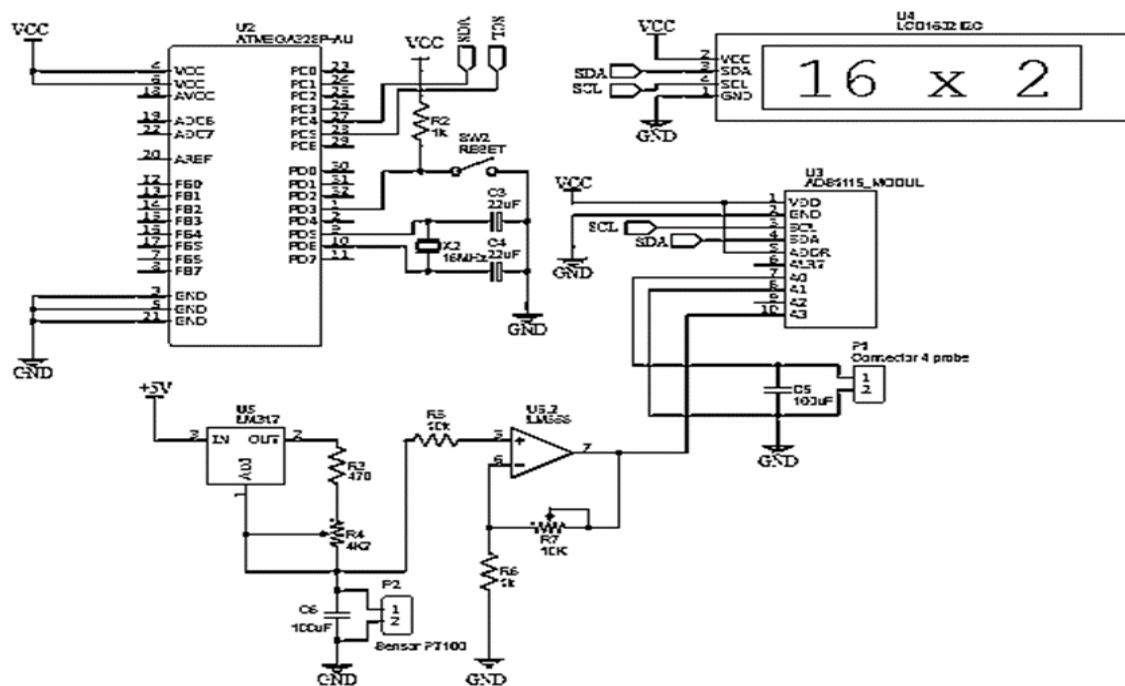


Gambar 4. Diagram alir program.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Rangkain alat ukur suhu menggunakan sensor PT-100 berbasis mikrokontroler ATmega328 seperti tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian alat ukur sensor PT-100.

Algoritma program alat ukur sebagai berikut:

Input

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <Wire.h>
Adafruit_ADS1115 ads1115(0x49); // alamat ADC 0x49
int16_t rawADCvalue;
float scalefactor = 0.1875;
float volts = 0.0;
float Voltage = 0.0;
```

Main Program

```
void setup() {
  lcd.begin();
  ads1115.begin(); // Initialize ads1115
  Serial.begin(9600);
```

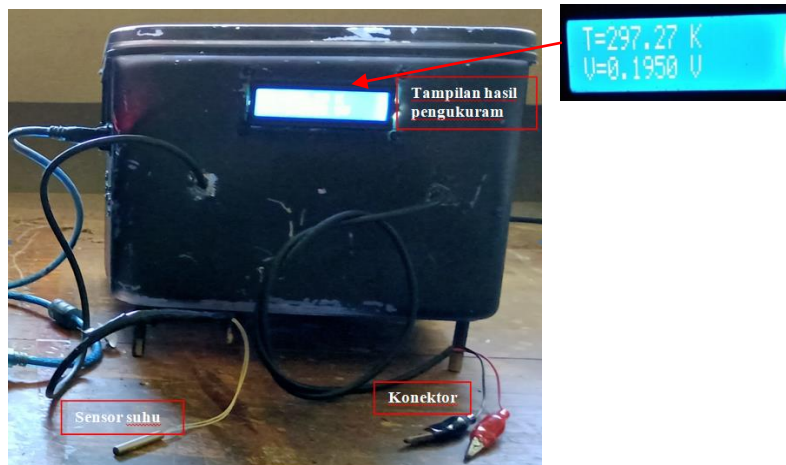
Sub Program

```
int16_t adc0, adc1, adc2, adc3; // voltage
adc3 = ads1115.readADC_SingleEnded(3);
float suhu = ((0.0554 * adc3) - 295.5) + 273;
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T= ");
lcd.print(suhu, 2);
lcd.print(" K");
delay (200);
```

End

Purwa-rupa (*prototype*) hasil rancangan alat ukur suhu seperti tampak pada Gambar 6. Gambar 6, *probe* sensor PT-100 dapat ditempatkan pada posisi di dekat sampel. Hasil eksekusi program yang mana

merupakan hasil pengukuran ditampilkan pada baris pertama pada LCD 2x16 dalam satuan Kelvin (K). Sedangkan pada baris kedua adalah hasil pengukuran voltase yang terukur dalam satuan volt (V).



Gambar 6. Prototype hasil rancangan alat ukur suhu berbasis mikrokontroler ATmega328 menggunakan sensor suhu RTD PT-100.

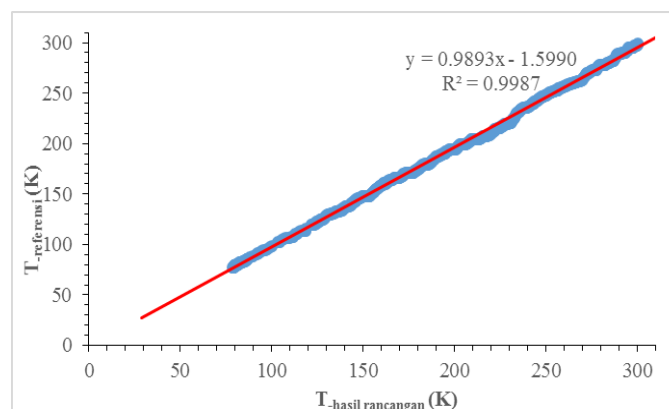
3.2 Hasil Pengukuran

Telah dilakukan pengukuran suhu dengan alat ukur suhu referensi dan alat ukur suhu hasil rancangan pada suhu dari 77-300 K. Dari hasil pengukuran suhu oleh kedua alat ukur diperoleh deviasi (penyimpangan) rata-rata sebesar 4,36 K. Dari hasil pengukuran suhu oleh kedua alat ukur dapat dibuat grafik suhu hasil pengukuran oleh alat ukur referensi $T_{\text{-referensi}}$ (K) terhadap suhu hasil pengukuran oleh alat ukur hasil rancangan $T_{\text{-hasil rancangan}}$ (K) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Garis lurus pada gambar adalah garis regresi linier dengan persamaan regresi

$$y = 0,9893x - 1,5990 \quad (2)$$

dimana $y = T_{\text{-referensi}}$ (K) adalah suhu dari alat ukur referensi dan $x = T_{\text{-hasil rancangan}}$ (K) adalah suhu dari alat ukur hasil rancangan.

Dari persamaan (2) dapat diperoleh bahwa perbandingan suhu terukur antara alat ukur referensi dan alat ukur hasil rancangan (gradien dari persamaan (2)) adalah 0,9893 dengan bias (titik potong pada sumbu y) adalah 1,599 K. Sementara itu, koefisien determinasi $R^2 = 0,9987$ menunjukkan bahwa terdapat 99,87 % dari titik-titik data pada gambar adalah dilalui oleh garis regresi. Koefisien determinasi R^2 berhubungan dengan variansi, menunjukkan secara statistik seberapa banyak titik-titik data berada pada garis (kurva) regresinya, dapat digunakan sebagai indikator kepresesian hasil pengukuran [11]. Dalam hal ini terindikasi bahwa alat ukur hasil rancangan memiliki kepresesian yang tinggi. Akan tetapi dari nilai gradien, bias dan perbedaan rata-rata hasil pengukurannya sebesar 4,36 K, terindikasi bahwa alat ukur hasil rancangan memiliki tingkat akurasi yang kurang tinggi.



Gambar 8. Grafik suhu hasil pengukuran referensi terhadap alat ukur yang dibuat. Garis lurus adalah garis hasil regresi linier dan garis biru titik potong sumbu x dan y.

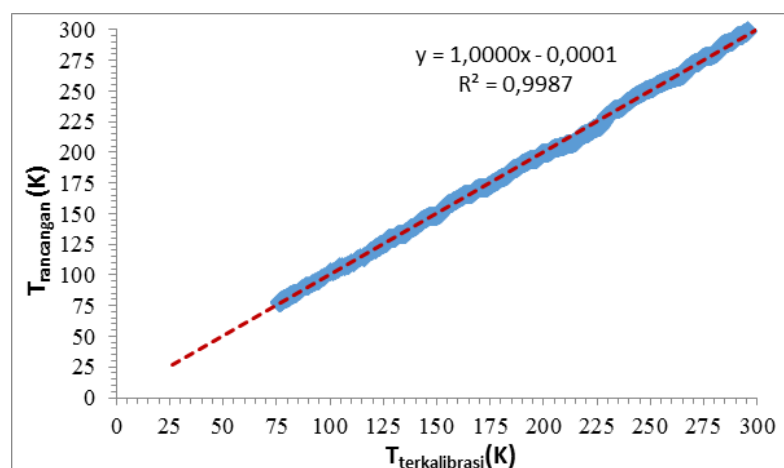
Dengan memperhatikan perbedaan hasil pengukuran 4,36 K perlu diuji secara statistik apakah perbedaan tersebut tidak signifikan. Untuk itu diambil hipotesis statistik bahwa nilai perbedaan tersebut tidak bermakna secara signifikan, yaitu H_0 : rata-rata perbedaan kedua hasil pengukuran adalah sama dengan nol. Dengan menggunakan program aplikasi Excel dilakukan *t-test* berpasangan pada tingkat kepercayaan 95%, diperoleh data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. *t-Test: Paired Two Sample for Means.*

Deskripsi	Variable 1 (standard)	Variable 2 (alat yang dibuat)
Mean	195,5674	191,8685
Variance	4008,303	3927,604
Observations	683	683
Pearson Correlation	0,999374	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	682	
t Stat	41,68128	
$P(T \leq t)$ two-tail	$1,1 \times 10^{-189}$	
t Critical two-tail	1,963448	

Dari Tabel 1, tampak bahwa nilai korelasi Pearson adalah 0,9994, artinya kedua variabel, yaitu hasil pengukuran alat ukur referensi dan hasil rancangan berkorelasi secara kuat. Akan tetapi dari nilai *t-stat* (t_{hitung})=41,68 dan *t-kritis* (t_{tabel})=1,9635 maka hipotesis H_0 adalah ditolak dengan probabilitas kesalahan menolak yang sangat kecil (*p-value*: $P(T \leq t)$ two-tail= $1,1 \times 10^{-189}$). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan hasil pengukuran 4,36 K adalah bermakna secara signifikan.

Dari penjelasan grafik Gambar 8 diperoleh hasil uji statistik alat ukur hasil rancangan tidak dapat digunakan secara langsung sebagai hasil yang sesungguhnya, Untuk itu diperlukan standarisasi, dalam hal ini dengan menggunakan persamaan kalibrasi persamaan (2), Artinya hasil pengukuran yang sesungguhnya dapat diperoleh dengan memasukkan nilai (suhu) hasil pengukuran oleh alat ukur hasil rancangan ke dalam persamaan (2). Dalam hal ini diperoleh grafik seperti pada Gambar 9. Tampak dari persamaan regresinya, gradiennya sama dengan satu dan nilai biasanya masih ada tetapi sangat kecil. Koefisien determinasi $R^2=0,9987$ menunjukkan bahwa terdapat 99,87 % dari titik-titik data pada gambar adalah berada pada garis regresi. Hal ini menunjukkan bahwa hasil kalibrasi hasil pengukuran oleh alat ukur hasil rancangan sangat mendekati hasil pengukuran referensi dan hasil pengukurannya memiliki tingkat kepresisian yang tinggi.



Gambar 9. Grafik suhu hasil pengukuran referensi terhadap suhu dari alat ukur hasil rancangan yang telah terkalibrasi. Garis lurus putus-putus adalah garis hasil regresi linier.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dirancang alat ukur suhu rendah 77–300 K berbasis mikrokontroler ATmega328 dengan menggunakan sensor RTD PT-100. Hasil uji statistiknya menunjukkan bahwa hasil pengukuran oleh alat ukur hasil rancangan berbeda secara signifikan dengan referensi. Untuk mendapatkan nilai (suhu) pengukuran yang sesungguhnya (sesuai referensi) hasil pengukuran oleh alat ukur hasil rancangan harus dikalibrasi dengan persamaan $y=0,9893x-1,5990$ K (x = suhu yang terukur oleh alat ukur hasil rancangan dalam satuan Kelvin (K)).

Ucapan Terimakasih

Penulis ucapkan terima kasih, terutama kepada Kepala Laboratorium Fisika Material dan Optoelektronik PS Fisika FMIPA Unud atas fasilitas yang telah diberikan untuk dapat terlaksananya penelitian.

Pustaka

- [1] Evan. M, Nadya. L, Thoriq. R, Lusi. S, H. Taniguchi, Risdiaa, Pembuatan dan Karakterisasi Bahan Organik Berbasis TTF dengan Akseptor TCNQ dan $RbZn(SCN)_4$, *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, vol. 1, no.2 , 2017, pp. 70 – 78.
- [2] Kusuma. A. P. B, Pembuatan Alat Ukur Resistivitas Sebagai Fungsi Suhu Secara Digital Dengan Metode Empat Titik Elektroda (Four Point Probe), *Skripsi*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana, 2013.
- [3] D. Mulyana, Implementasi Pengendalian Suhu Pada Sistem Fermentasi Susu Dengan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega, *Skripsi*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2014.
- [4] B. Beny, Nugraha.B, D. A. Ramadhany dan I.F. Abidulloh, “Smart Dispenser” Dispenser Pintar dengan Pengontrol Suhu dan Penghemat Energi, *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 14, no. 2, 2015, pp. 99 – 198.
- [5] M. Eka dan R. Khasrisman, Perancangan Alat Peringatan Dini Bahaya Banjir dengan Mikrokontroler Arduino Uno R3, *Citec Journal*, vol. 1, no. 3, 2014, pp. 171 – 182.
- [6] P. Andre, Ramdhani. Y, Mubarak. A, Topiq. A, Pengukur Tingkat Kekeuhan Keasaman dan Suhu Air Menggunakan Mikrokontroler ATmega328p Berbasis Android, *Jurnal Informatika*, vol. 5, no. 2, 2018, pp. 248 – 254.
- [7] Sulistyanto. T. .M, Danang. A. N, Sari. N, Karima N dan Asrori N, Implementai IoT Internet of Things) dalam pembelajaran di Universitas Kanjuruhan Malang, *SMARTICS Journal*, vol. 1, no. 1, 20 – 23.
- [8] Limor, F, 2016, ADS1115 4 channel, www.adafruit.com, diakses 2 November 2019.
- [9] G. Dwi. Mahardhian. Guyup, Setiawati. A. D, Sumarjan, 2018, Rancang Bangun Sistem Sortasi Kematangan Buah Semi Otomatis Berbasis Arduino, *Jurnal Teknotan*, vol. 12, no. 1, 2015, pp. 57 – 64.
- [10] W. A. Romi, L. W. Sri, Mardiono, Rancang Bangun Alat Monitoring Suhu dan Kelembaban Pada Alat Baby Incubator Berbasis Internet Of Things, *Jurnal Teknologi*, vol. 6, no. 1, 2018, pp. 52 – 70.
- [11] Wikipedia.org [homepage on the internet]. Coefficient of determination available from: <http://www.wikipedia.org/> [Cited 2020 February 19].