

Kalibrasi Sensor Temperatur Termokopel Tipe K dan DS18B20 Pada Temperatur Es Mencair dan Air Mendidih Sistem Dengan Akuisisi Data (DAQ) Berbasis Arduino

Arbi Riantono¹, Bambang Teguh¹ dan Raldi Artono Koestoer^{2*}

¹Prodi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik, Institut Sains Dan Teknologi Nasional

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

*Corresponding author: koestoer@eng.ui.ac.id

Abstract. Data Acquisition System (DAQ) is an important things in research and measurements to obtain a valid data. However, DAQ's price is expensive. With Arduino a cheap microprocessor and open source, it can be made an affordable DAQ for temperature measurement in real time. This research purpose is reduce an error with regression linear calibration method. This method using Type K Thermocouples, MAX6675 and Sensor DS18B20 with Thermometer ASTM for reference in melting ice and boiling water temperature. Error value for Type K Thermocouple is 14.48% after calibration to be 2.95% in ice melting temperature and 3.82% to be 0.29% in boiling water temperature after calibration. Error value for DS18B20 sensor is 1.43% after calibration to be 1.35% in ice melting temperature and 0.2% to be 1.27% in boiling water temperature after calibration.

Abstrak. Sistem akuisisi data (DAQ) sangat penting dalam kegiatan penelitian dan pengukuran agar didapat data yang valid. Namun demikian, harga dari sebuah sistem DAQ relatif mahal. Dengan adanya Arduino sebagai mikroprosesor murah dan *open-source*, DAQ dapat dibuat dengan harga relatif murah dan salah satunya untuk pengukuran temperatur secara *real time*. Tingkat kesalahan dari pengukuran suhu menggunakan Termokopel Tipe K; MAX6675 dan DS18B20 *Waterproof* dengan sistem akuisisi data berbasis Arduino tanpa modifikasi kalibrasi masih tinggi. Penelitian ini bertujuan memperkecil nilai kesalahan pengukuran tersebut dengan menggunakan teknik kalibrasi regresi linier. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mengkalibrasi sistem Termokopel Tipe K; MAX6675 dan sensor suhu DS18B20 *Waterproof* pada temperatur es mencair dan air mendidih dengan membandingkannya terhadap harga termometer ASTM. Nilai kesalahan pengukuran dengan Termokopel Tipe K; MAX6675 dari 14,48% berkurang menjadi 2,95% setelah kalibrasi pada temperatur es mencair dan dari 3,82% berkurang menjadi 0,29% setelah kalibrasi. Nilai kesalahan pengukuran *sensor* suhu DS18B20 *Waterproof* dari 1,43% berkurang menjadi 1,35% setelah kalibrasi pada temperatur es mencair dan dari 0,2% bertambah menjadi 1,27% setelah kalibrasi pada temperatur air mendidih.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Akuisisi *Data* (DAQ) adalah proses pengukuran fenomena listrik atau fisik seperti tegangan arus, temperatur, tekanan dan suara menggunakan *sensor* dan di proses oleh komputer[1]. Sistem *data acquisition* (DAQ) di dalam penelitian, khususnya dalam bidang *engineering* sangat dibutuhkan. Peneliti umumnya menggunakan sistem DAQ untuk meneliti karakteristik data yang belum diketahui melalui pengukuran dan analisis[2]. Sistem DAQ terdiri dari *sensor*, perangkat pengukuran dan komputer (mikroprosesor) dengan perangkat lunak (*software*) yang dapat diprogram[1].

Harga dari sebuah perangkat DAQ masih relatif mahal dan sifat perangkat (*software* dan *hardware*) yang aksesnya terbatas menjadi suatu kendala[3]. Seiring perkembangan teknologi, telah banyak platform purwarupa *open source* elektronik yang memungkinkan penggunaannya lebih leluasa membuat objek elektronik interaktif dengan lebih mudah, salah satunya adalah Arduino. Arduino

memiliki keandalan (*reliability*) dan ketahanan (*robustness*) yang baik, koneksi yang stabil, harga yang murah (*low-cost*) serta dapat digunakan sebagai kontrol sistem dari berbagai tingkat kompleksitas sistem[4-6]. Akuisisi *data* (DAQ) temperatur dengan Termokopel Tipe K; MAX6675 dan *Sensor* DS18B20 berbasis Arduino sudah umum digunakan[7, 8].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkalibrasi Termokopel Tipe K; MAX6675 dan *sensor* suhu DS18B20 *Waterproof* untuk memperkecil nilai kesalahan pengukuran.

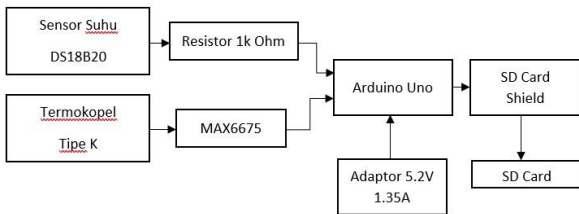
Metode Penelitian

Proses kalibrasi pada penelitian ini menggunakan temperatur es mencair[9] dan air mendidih[10], menggunakan 1 *sensor* Termokopel Tipe K; MAX6675 dan 1 *sensor* DS18B20 *Waterproof* yang akan di kalibrasi terhadap termometer air raksa ASTM. Metode yang digunakan adalah kalibrasi menggunakan teknik regresi linier[5].

Termokopel bekerja berdasarkan hukum *Seebeck* dimana jika ada 2 buah material logam berbeda jenis lalu disatukan dan diberi beda temperatur pada sambungannya (*hot junction*), maka akan menghasilkan *electromotive (emf)*. Nilai *emf* tersebut dikenal juga sebagai koefisien *Seebeck* yang berbeda nilainya pada tiap jenis termokopel. Koefisien *Seebeck* pada termokopel tipe K adalah $40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ [11, 12].

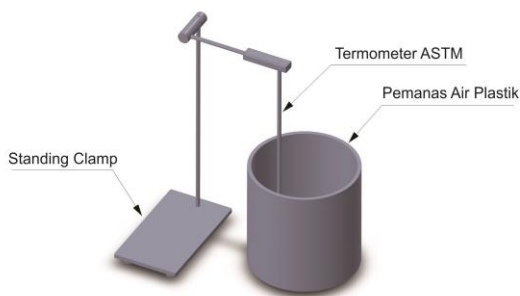
MAX6675 berfungsi sebagai pengganti *cold junction compensation, amplifier, timer* dan *analog to digital converter*. Nilai koefisien *Seebeck* dari termokopel tipe K dibaca oleh modul MAX6675 sebagai *amplifier*[13]. Ketelitian MAX6675 adalah $0,25^\circ\text{C}$ [14].

DS18B20 adalah *sensor* jenis termistor yang bekerja berdasarkan fungsi resistan terhadap temperatur[5, 15]. Ketelitian *sensor* DS18B20 dapat mencapai $0,0625^\circ\text{C}$ [16].



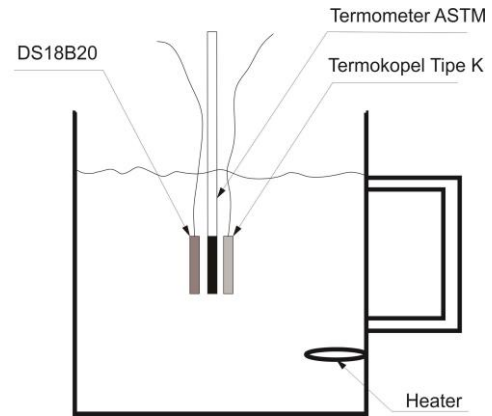
Gambar 1. Skematik Rangkaian DAQ

Gambar 1. adalah skematik rangkaian yang digunakan pada penelitian ini, terdiri dari Termokopel Tipe K; MAX6675, *Sensor* DS18B20 *Waterproof*, Resistor 1k Ohm, Arduino Uno, Adaptor 5.2V-1.35A, SD Card Shield dan SD Card.



Gambar 2. Eksperimental Set Up

Gambar 2. adalah eksperimental *set up* untuk mendapatkan temperatur es mencair dan air mendidih yang terdiri dari pemanas air plastik sebagai wadah fluida dan *Standing Clamp* sebagai penjepit termometer air raksa ASTM. Termometer air raksa ASTM yang digunakan sebagai kalibrator memiliki ketelitian $0,1^\circ\text{C}$ [17].



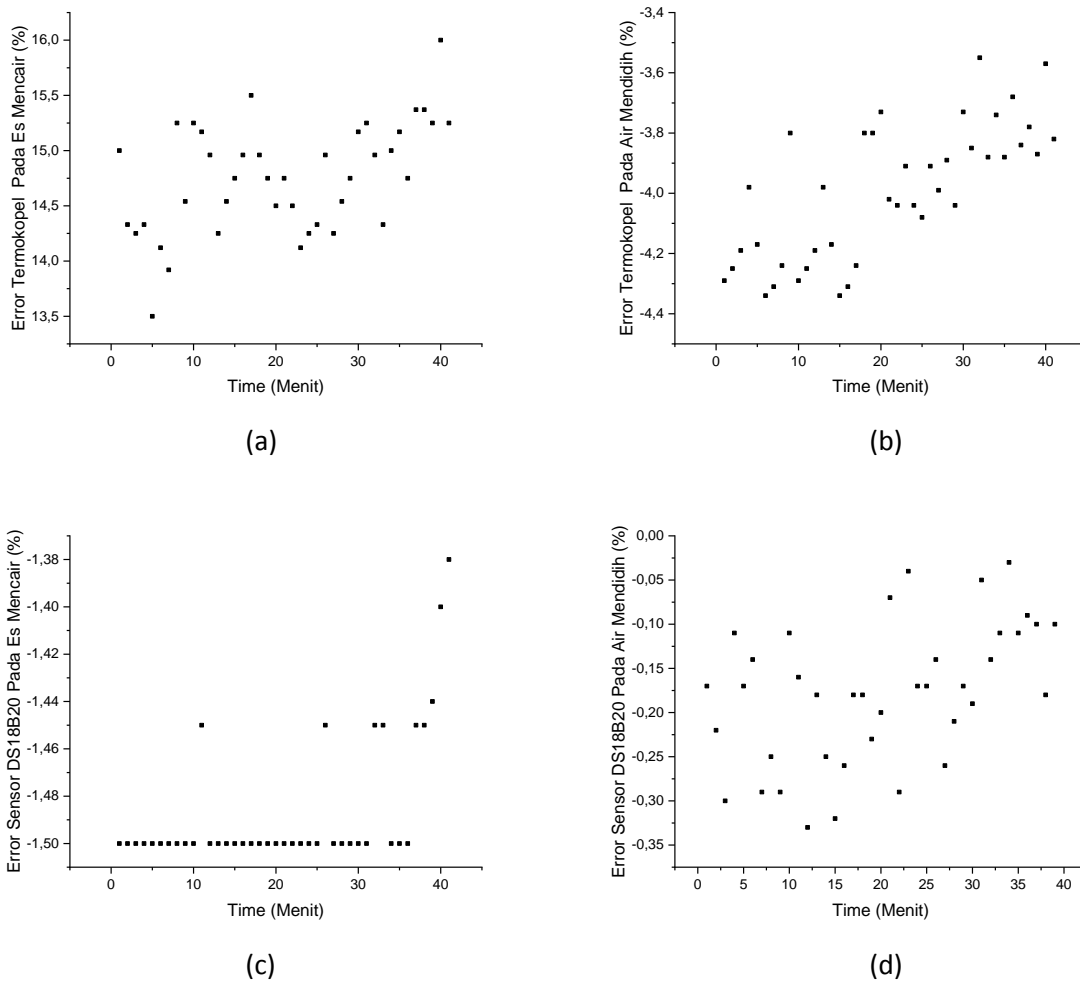
Gambar 3. Pengukuran 1 Titik

Gambar 3. memperlihatkan posisi *sensor* Termokopel Tipe K dan DS18B20 *Waterproof* didekatkan dengan termometer ASTM sebagai kalibrator agar dapat menggambarkan 1 nilai titik pengukuran[18]. Setelah alat kalibrasi diuji dan dapat digunakan sebagai *Data Acquisition* maka proses kalibrasi dapat dimulai. Proses kalibrasi memanfaatkan perubahan temperatur disekitar lingkungan *sensor*, data perubahan temperatur lingkungan tersebut yang akan dimanfaatkan untuk mendapatkan nilai persamaan regresi. Persamaan regresi tersebut lalu di *invers* agar dapat menjadi fungsi koreksi bagi *sensor* yang akan dikalibrasi. Lebih mudahnya, dengan persamaan regresi yang di *invers* menjadikan nilai $Y = X$, dimana Y adalah *sensor* yang akan dikalibrasi dan X adalah kalibrator.

Nilai temperatur yang terbaca dari *sensor* dengan nilai temperatur yang terbaca oleh termometer ASTM memiliki perbedaan sehingga memiliki selisih atau *error*. Pada penelitian ini akan dibandingkan dan dinalisa nilai *error* sebelum kalibrasi dan sesudah kalibrasi. *Error* yang ditampilkan adalah persen *error*. Analisis lainnya yaitu perbandingan deviasi antar *sensor*, dari analisis ini didapatkan kesimpulan dan penilaian terhadap keberhasilan kalibrasi.

Hasil dan Pembahasan

Data penelitian yang diambil sebelum kalibrasi adalah data tanggal, waktu, temperatur *sensor* DS18B20, temperatur termokopel tipe K dan temperatur termometer ASTM. Semua data tersebut secara otomatis tersimpan di dalam SD Card, sedangkan data termometer diambil secara *manual* setiap 1 menit sekali dalam waktu 1 jam. Data sebelum kalibrasi diambil pada tanggal 21 Juli 2019 di gedung *Manufacturing Research Center* Depok.



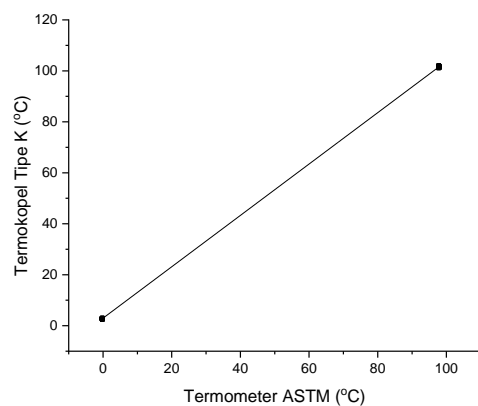
Gambar 4. Nilai Persen *Error* Termokopel Tipe K dan *Sensor* DS18B20 Pada Temperatur Air Mendidih dan Es Mencair Sebelum Kalibrasi

Pengambilan data sebelum dikalibrasi bertujuan untuk mengetahui nilai persen *error* Termokopel Tipe K pada temperatur es mencair dan air mendidih. Dari pengambilan data tersebut, didapat rata-rata nilai persen *error* Termokopel Tipe K pada temperatur es mencair sebesar 14,48% yang berada diantara 13,92% sampai 16% (Gambar 4a). Sedangkan pada temperatur air mendidih didapat nilai rata-rata persen *error* sebesar 3,82% yang berada diantara 3,55% sampai 4,34% (Gambar 4b).

Dilakukan juga pengambilan data pada *sensor* DS18B20 pada temperatur es mencair dan air mendidih sebelum kalibrasi dan didapat nilai persen *error* rata-rata pada temperatur es mencair sebesar 1,43% yang berada diantara 1,38% sampai 15% (Gambar 4c). Sedangkan pada temperatur air mendidih didapat nilai rata-rata persen *error* sebesar 0,2% yang berada diantara 0,03% sampai 0,33% (Gambar 4d).

Data Termokopel Tipe K dan *Sensor* DS18B20 sebelum kalibrasi digunakan sebagai dasar untuk mendapatkan persamaan regresi linier, metode yang digunakan adalah menjadikan nilai

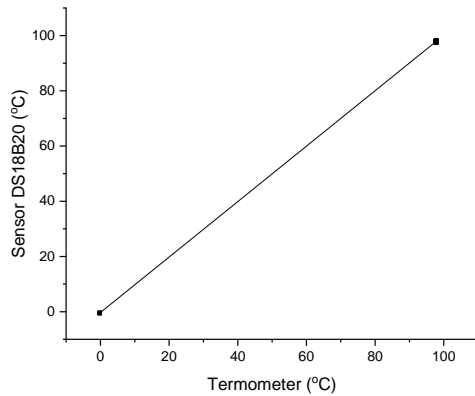
sumbu Y menjadi nilai X dimana Y adalah Termokopel Tipe K atau *Sensor* DS18B20 dan YX adalah Termometer ASTM.



Gambar 5. Grafik Regresi Linier Termokopel Tipe K

Dari pengambilan data Termokopel Tipe K sebelum kalibrasi didapat data pada es mencair dan air mendidih, setelah dibuat garis regresi linier dari

data tersebut didapat persamaan $Y = 1,00(X) - 2,96$ (Gambar5), digunakan metode *Invers* menjadi $Y^1 = (X - 2,96) / 1,00$ untuk kemudian dimasukkan pada *sketch* Arduino sebagai nilai koreksi untuk memperkecil nilai persen *error* pada Termokopel Tipe K.



Gambar 6. Grafik Persamaan Garis Regresi *Sensor DS18B20*

Dilakukan metode yang sama pada *Sensor DS18B20* sehingga didapat persamaan $Y = 1,00(X) - 0,28$ (Gambar 6), digunakan metode *Invers* menjadi $Y^1 = (X - 0,28) / 1,00$ untuk kemudian dijadikan nilai koreksi pada *sketch* Arduino untuk memperkecil nilai persen *error* pada *Sensor DS18B20*.

```
float hitungMAXCorrection() {
float T1, Tfinal1 ;
T1 = thermocouple.readCelsius();
Tfinal1 = ((T1 - 2.96) / 1.00);
return Tfinal1;
```

Gambar 7. *Invers* Persamaan Regresi Termokopel Tipe K Pada *Sketch* Program Arduino

Persamaan regresi linier yang didapat dari pengambilan data Termokopel Tipe K sebelum kalibrasi dimasukkan kedalam *Sketch* Arduino (Gambar 7). Hal inilah yang dimaksud Arduino sebagai perangkat *open source*.

```
Serial.print(now.second(), DEC);
formatTXT.print(now.second(), DEC);
float temperatureDS = getTemp();
float temperatureDSCorrection = ((temperatureDS - 0.28) / 1.00);
```

Gambar 8. *Invers* Persamaan Garis Regresi *Sensor DS18B20* Pada *Sketch* Program Arduino

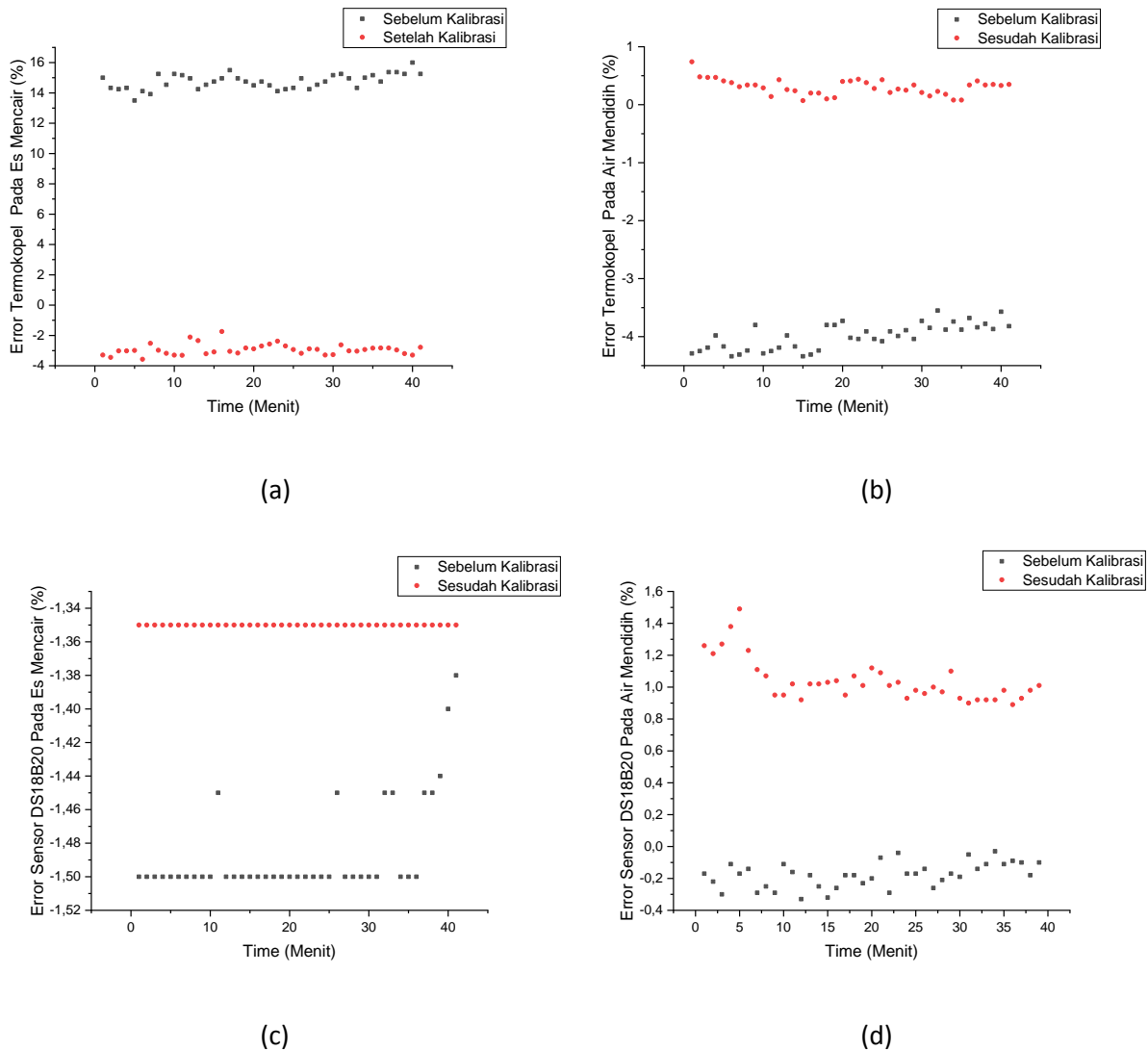
Pada *Sensor DS18B20* didapat juga sebuah persamaan regresi linier dari pengambilan data sebelum kalibrasi yang kemudian dimasukkan kedalam *Sketch* Arduino (Gambar 8). Persamaan ini akan merubah nilai *output* dari pembacaan Termokopel Tipe K dan *Sensor DS18B20*.

Setelah dilakukan kalibrasi dengan memasukkan nilai persamaan regresi linier kedalam *Sketch* Arduino, dilakukan pengambilan data dengan eksperimental *set up* yang sama pada Termokopel Tipe K dan *Sensor DS18B20* dengan temperatur es mencair dan air mendidih. Nilai rata-rata persen *error* setelah kalibrasi pada Termokopel Tipe K ditemperatur es mencair adalah 2,95% (Gambar 9a) yang berada diantara 1,74% sampai 3,45% dan ditemperatur air mendidih adalah 0,29% (Gambar 9b) yang berada diantara 0,07% sampai 0,74%.

Nilai rata-rata persen *error* *Sensor DS18B20* setelah dikalibrasi adalah 1,35% (Gambar9c) yang nilainya stabil di angka 1,35% pada temperatur es mencair dan 1,27% (Gambar 9d) yang nilainya berada diantara 0,89% sampai 1,49% pada temperatur air mendidih.

Kesimpulan

- Nilai persen *error* pada Termokopel Tipe K mengalami penurunan setelah kalibrasi yaitu dari 14,84% menjadi 2,95% pada temperatur es mencair dan 3,82% menjadi 0,29% pada temperatur air mendidih.
- Nilai persen *error* pada *Sensor DS18B20* mengalami kenaikan setelah kalibrasi yaitu 1,43% menjadi 1,35% pada temperatur es dan 0,2% menjadi 1,27% pada temperatur air mendidih.
- Didapatkan sistem akuisisi data yang murah dan dapat dipertanggung jawabkan. Sistem akuisisi data tersusun dari *Sensor*, Arduino, *SD Card Shield* dan adaptor (*power input*).



Gambar 9. Nilai Persen Error Termokopel Tipe K dan Sensor DS18B20 Pada Temperatur Air Mendidih dan Es Mencair Sebelum Kalibrasi.

Referensi

1. Instruments, N. *What Is Data Acquisition*. 2019, September 12; Available from: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>.
2. Instruments, N. *Research and Analysis*. 2019, September 12; Available from: <https://www.ni.com/data-acquisition/research-and-analysis/>.
3. D’Ausilio, A., *Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment*. Behavior research methods, 2012. **44**(2): p. 305-313.
4. Matijevic, M. and V. Cvjetkovic. *Overview of architectures with Arduino boards as building blocks for data acquisition and control systems*. in *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. 2016. IEEE.
5. Koestoeer, R., et al. *A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system*. in *AIP Conference Proceedings*. 2019. AIP Publishing.
6. Koestoeer, R.A., et al., *A simple calibration methods of relative humidity sensor DHT22 for tropical climates based on Arduino data acquisition system*. AIP Conference Proceedings, 2019. **2062**(1): p. 020009.
7. Bin, L. and L. Jinhui. *Design of industrial temperature monitoring system based on single chip microcontroller*. in *2011 International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)*. 2011.
8. López-Vargas, A., et al., *Low-Cost Datalogger Intended for Remote Monitoring of Solar Photovoltaic Standalone Systems Based on Arduino™*. IEEE Sensors Journal, 2019. **19**(11): p. 4308-4320.
9. Chen, J., X. Hu, and L. Xu. *A New Thermocouple Auto-Calibration System*. in *2008 International Conference on Computer*

- Science and Software Engineering*. 2008. IEEE.
10. Roeser, W.F. and S. Lonberger, *Methods of testing thermocouples and thermocouple materials*. 1958: US Department of Commerce, National Bureau of Standards.
 11. Koestoer, R.A., *Pengukuran Teknik*. Jakarta: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2004.
 12. Drebuschak, V.A., *Thermocouples, their characteristic temperatures, and simple approximation of the emf vs. T*. *Thermochimica Acta*, 2015. **603**: p. 218-226.
 13. Kumar, R. and N. Sahoo, *Dynamic calibration of a coaxial thermocouples for short duration transient measurements*. *Journal of Heat Transfer*, 2013. **135**(12): p. 124502.
 14. Integrated, M. *Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*. April 2014; Available from: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>.
 15. Egwaile, J., et al., *Development of a real time blood pressure, temperature measurement and reporting system for inpatients*. *International Journal of Physical Sciences*, 2016. **11**(17): p. 225-232.
 16. INTEGRATED, M., *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Rev, 2008. **4**: p. 22.
 17. Schneider, L. *Precision Thermometer for Material Testing*. February 2015; Available from: https://www.ludwig-schneider.de/fileadmin//media/downloads/en/06_ASTM_thermometers.pdf.
 18. Zhang, M., et al. *Measurement System of Reducing Temperature Fluctuation of Thermostat Bath for Calibrating Thermocouple*. in *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*. 2014. Springer.