

Evaluasi dan Kalibrasi Data Akuisisi Temperatur Berbasis Arduino dan MAX31855

Reski Septiana^{1*}, Deosa P. Caniango², Harun Kurniawan³

e-mail: dr.reski@untirta.ac.id, deosa@iteba.ac.id, harunkurniawan369@gmail.com

¹Teknik Mesin, Universitas Sultas Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia

²Teknik Komputer, Institut Teknologi Batam, Jalan Gajah Mada, Batam, Indonesia

³Teknik Industri, Institut Teknologi Batam, Jalan Gajah Mada, Batam, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 18 Juli 2024

Direvisi 29 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

Arduino
Data akuisisi temperatur
Kalibrasi
MAX31855

Keywords:

Arduino
Calibration
Temperature Data Acquisition
MAX31855

ABSTRAK

Temperatur sebagai salah satu besaran pokok memainkan peranan penting dalam indikasi berbagai aspek, dari indikator kesehatan makhluk hidup sampai benda tak hidup. Pentingnya peran temperatur membuat keberadaan data akuisisi (DAQ) temperature menjadi cukup krusial. Hingga tak jarang harga temperatur DAQ di pasaran cukup mahal. DAQ temperatur dapat dibuat secara mandiri memanfaatkan sensor termokopel dan platform open source seperti Arduino. Integrasi sensor termokopel dan Arduino membutuhkan perangkat lain sebagai kompensasi sambungan dingin dan juga analog to digital converter, yang perannya dapat dilakukan oleh modul MAX31855. Kombinasi antar ketiganya perlu dievaluasi untuk mengetahui keakuratan DAQ yang terbentuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoreksi keakuratan self-made temperatur DAQ berbasis termokopel tipe K-MAX31855-dan juga Arduino UNO. Self-made temperature DAQ dapat mengukur dinamika temperatur sistem namun dengan akurasi yang cukup rendah, yaitu 0.60°C. Kalibrasi dilakukan untuk meningkatkan keakuratan DAQ menjadi 0.14°C..

ABSTRACT

Temperature as a basic quantity plays an important role in indicating various aspects, from indicators of the health of living things to non-living things. The important role of temperature makes the existence of temperature data acquisition (DAQ) quite crucial. So it is not uncommon for DAQ temperature prices on the market to be quite expensive. Temperature DAQ can be made independently using thermocouple sensors and open source platforms such as Arduino. Integration of the thermocouple sensor and Arduino requires another device as cold connection compensation and also an analog to digital converter, whose role can be performed by the MAX31855 module. The combination of the three needs to be evaluated to determine the accuracy of the DAQ formed. This research aims to evaluate and correct the accuracy of a self-made temperature DAQ based on a K-MAX31855 type thermocouple and also an Arduino UNO. Self-made temperature DAQ can measure system temperature dynamics but with quite low accuracy, namely 0.60°C. Calibration was carried out to increase the accuracy of the DAQ to 0.14°C.

Penulis Korespondensi:

Reski Septiana,
Teknik Mesin,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
Jln. Jenderal Sudirman, Cilegon, Banten 42435.
Email: dr.reski@untirta.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +62 813-1067-2459



1. PENDAHULUAN

Temperatur sebagai salah satu dari tujuh besaran pokok merupakan indikator yang penting dalam berbagai hal, mulai dari kesehatan makhluk hidup sampai "kesehatan" benda mati seperti perangkat elektronik [1,2]. Temperatur yang notabenehnya adalah representatif energi tiap zat pada keadaan tertentu menjadi acuan utama untuk karakterisasi berbagai hal, salah satunya adalah sifat material, baik material murni maupun campuran [3–7]. Karena implikasinya yang sangat penting, maka hasil pengukuran temperatur harus akurat dan presisi. Akan menjadi nilai lebih apabila pengukuran temperatur mempunyai jangkauan yang luas, operasionalitasnya multi fase, dan otomatis.

Semua fitur yang dijelaskan pada paragraph sebelumnya biasanya dapat ditemukan pada alat pengukuran atau data akuisisi (DAQ) yang relatif mahal, namun seiring dengan perkembangan teknologi muncul Arduino, perangkat mikrokontroler open source yang dapat menjadi alternatif untuk membuat DAQ yang diinginkan [8]. Arduino dapat digunakan sebagai sistem data akuisisi yang valid apabila sensor terkalibrasi dengan baik [9]. Kompatibilitas Arduino dengan berbagai sensor sudah tak asing ditemukan pada berbagai literatur [10–15], begitu juga kompatibilitasnya dengan sensor termokopel yang sifatnya fleksibel dan multifasa [16].

Dari sekian banyak tipe sensor termokopel, termokopel tipe K masih menjadi primadona karena jangkauannya yang luas, sifatnya yang relatif linier dalam rentang pengukuran yang dilakukan dan harganya yang relative murah [17]. Termokopel secara keseluruhan menghasilkan pembacaan analog yang tidak dapat langsung dihubungkan ke Arduino yang basis kerjanya digital, sehingga diperlukan modul perantara untuk mengkonversi hasil pembacaan analog ke digital. Terlebih prinsip kerja termokopel yang membaca perbedaan temperatur antara hot junction dan cold junction juga membutuhkan referensi cold junction atau yang biasa dikenal dengan cold junction compensation. Salah satu modul yang kompatibel dengan Arduino dan dapat digunakan untuk mengkonversi nilai analog termokopel menjadi digital serta sekaligus menjadi cold junction compensation untuk termokopel tipe K adalah modul MAX6675 [18,19]. Namun noise yang dihasilkan oleh modul tersebut cukup besar, terlebih produksinya yang sudah dihentikan oleh Maxim Inc. [20] membuat ketersediaannya terbatas di pasaran sehingga mendisrupsi harga jual produk.

Sebagai langkah preventif, Maxim Inc. sudah mengeluarkan modul MAX31855 yang dapat menggantikan modul pendahulunya MAX6675. Namun terbatasnya literatur yang ada terkait penggunaan MAX31855 membuat utilitas modul baru belum maksimal termanfaatkan. Sejauh ini penulis hanya menemukan sedikit artikel yang mengutilisasikan MAX31855 dengan termokopel tipe K [21]. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoreksi akurasi dari hasil pengukuran temperatur yang dilakukan oleh self-made temperature data akuisisi berbasis sensor termokopel tipe K, modul MAX31855, dan Arduino Uno. Peningkatan akurasi sensor dilakukan dengan cara kalibrasi langsung dalam codingan Arduino agar tidak diperlukan tambahan hardware sehingga self-made temperature DAQ bersifat ringkas.

2. METODE PENELITIAN

Ilustrasi set-up eksperimen dalam penelitian ini secara sederhana ditunjukkan oleh Gambar 1, dimana data akuisisi yang dibangun dan sensor kalibrator secara bersamaan mengukur fluida yang sama selama 24 jam. Data pengukuran didapatkan dari eksperimen pada kondisi steady state (SS) medium berdifusifitas termal rendah yang dicatat secara otomatis oleh Arduino dan dipantau realtime melalui parallax Hasil pengukuran DAQ kemudian dibandingkan dengan sensor termistor DS18B20 sebagai kalibrator karena sudah terkalibrasi sebelumnya. Analisa data dilakukan menggunakan statistika deskriptif untuk mengetahui akurasi sensor dan persamaan kalibrasi sensor.

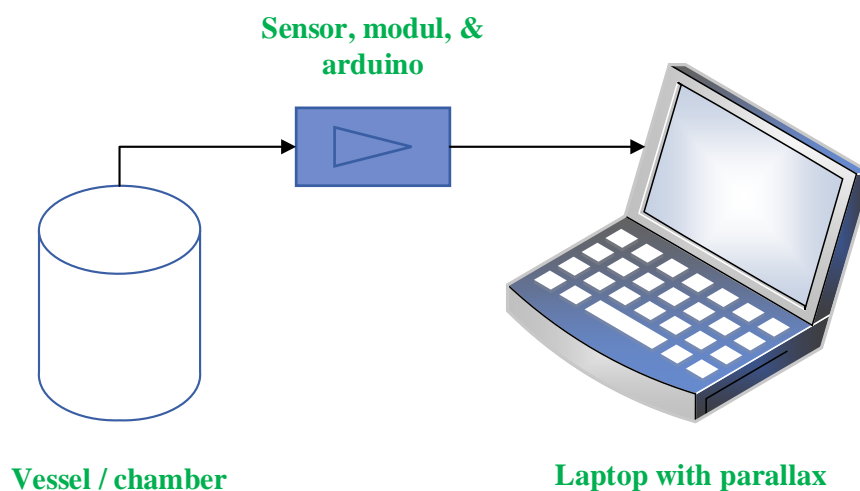
Keakurasian data akuisisi yang dibangun diketahui dengan mengacu pada (1). Notasi TC adalah pengukuran yang dihasilkan oleh data akuisisi MAX31855 dan Arduino Uno, DS adalah hasil pengukuran sensor kalibrator, dan i adalah banyaknya pengukuran yang dihasilkan selama 24 jam. Secara implisit persamaan (1) merupakan rata-rata perbedaan pengukuran yang dihasilkan oleh data akuisisi yang dibangun dan sensor kalibrator.

Persamaan kalibrasi sensor didapatkan dengan memanfaatkan fitur trendline pada aplikasi pengolah data berbasis persamaan linear. Persamaan didapatkan dengan memplot hasil pengukuran sensor kalibrator pada sumbu y dan hasil pengukuran data akuisisi yang ingin dikalibrasi pada sumbu x . Validitas persamaan dilihat dari



koefisien determinasi R^2 yang diperoleh, dimana nilai koefisien determinasi harus diatas 0.9 agar didapatkan persamaan kalibrasi yang valid untuk rentang operasional pengukuran.

$$Akurasi = \frac{\sum_i |TC - DS|}{i} \quad (1)$$



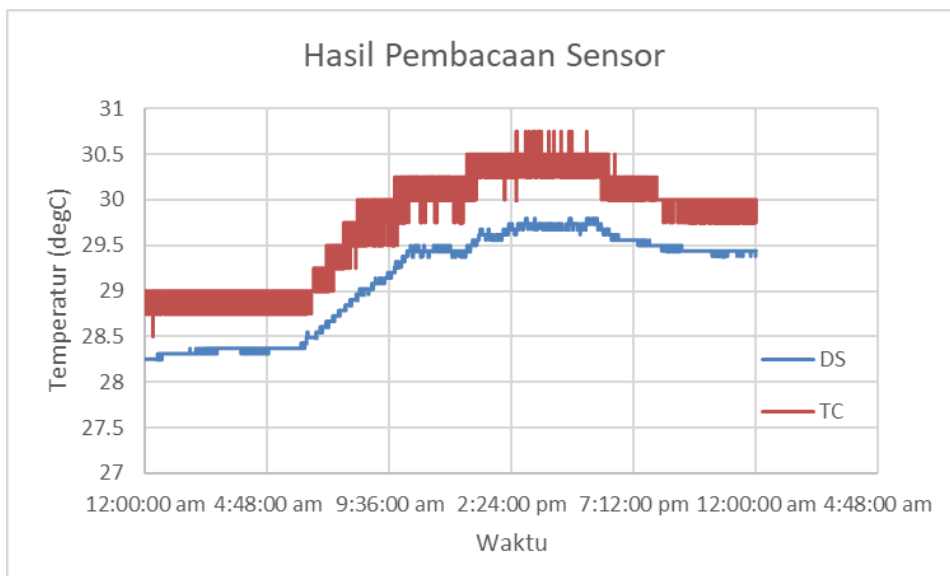
Gambar 1: Ilustrasi *set-up* eksperimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pembacaan Data Akuisisi dan Perbandingannya dengan Sensor Kalibrasi

Gambar 2 menunjukkan hasil pembacaan temperatur selama 24 jam oleh data akuisisi MAX31855 dan Arduino Uno yang ingin dikalibrasi (TC; ditunjukkan oleh kurva merah) dan sensor kalibrasinya yaitu DS18B20 (DS; ditunjukkan oleh kurva biru). Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa keduanya mempunyai pembacaan yang seirama dan relative stabil. Kesamaan dinamika pembacaan temperature kedua sensor menunjukkan bahwa data akuisisi yang dibangun mampu mengukur suhu dalam berbagai kondisi, meskipun keakurasiannya masih kurang karena hasil pembacaan data akuisisi yang berwarna merah tidak menunjukkan nilai yang sama dengan sensor kalibrasinya yang ditunjukkan oleh kurva biru. Perbedaan nilai pembacaan ini perlu disamakan melalui proses kalibrasi agar data akuisisi MAX31855 dan Arduino yang dibangun lebih valid dan akurat sehingga dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan.



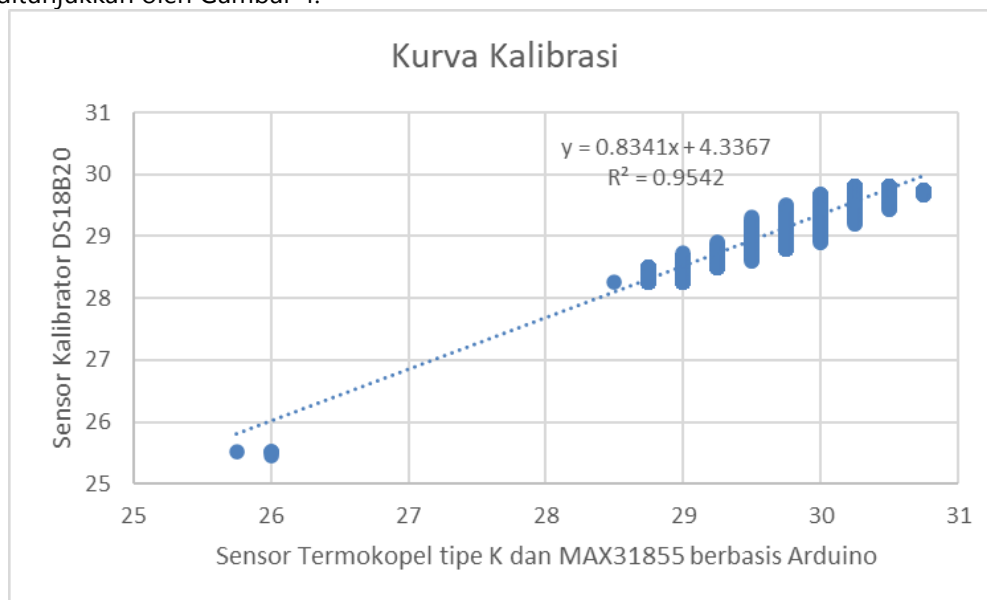


Gambar 2: Hasil Pengukuran

3.2 Kalibrasi Data Akuisisi MAX31855 Berbasis Arduino

Proses kalibrasi data akuisisi MAX31855 berbasis Arduino dilakukan dengan mengambil data kedua sensor pada keadaan steady state lalu dibandingkan perbedaan antar keduanya. Keadaan steady state diperoleh pada saat dini hari pukul 12.00 sampai 04.00 pagi, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Hasil pembacaan antar keduanya dibandingkan dalam grafik agar memperoleh persamaan kalibrasi dimana sumbu y adalah hasil pembacaan temperatur yang dihasilkan oleh kalibrator dan sumbu x adalah hasil pembacaan temperatur dari sensor yang ingin dikalibrasi. Grafik dan persamaan kalibrasi ditunjukkan oleh Gambar 3.

Setelah diperoleh persamaan kalibrasi, persamaan tersebut diinput kedalam coding Arduino agar pembacaan sensor MAX31855 dan Arduino menyamai sensor kalibratornya. Persamaan kalibrasi yang sudah dimasukkan ke dalam coding Arduino ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 3: Grafik Kalibrasi

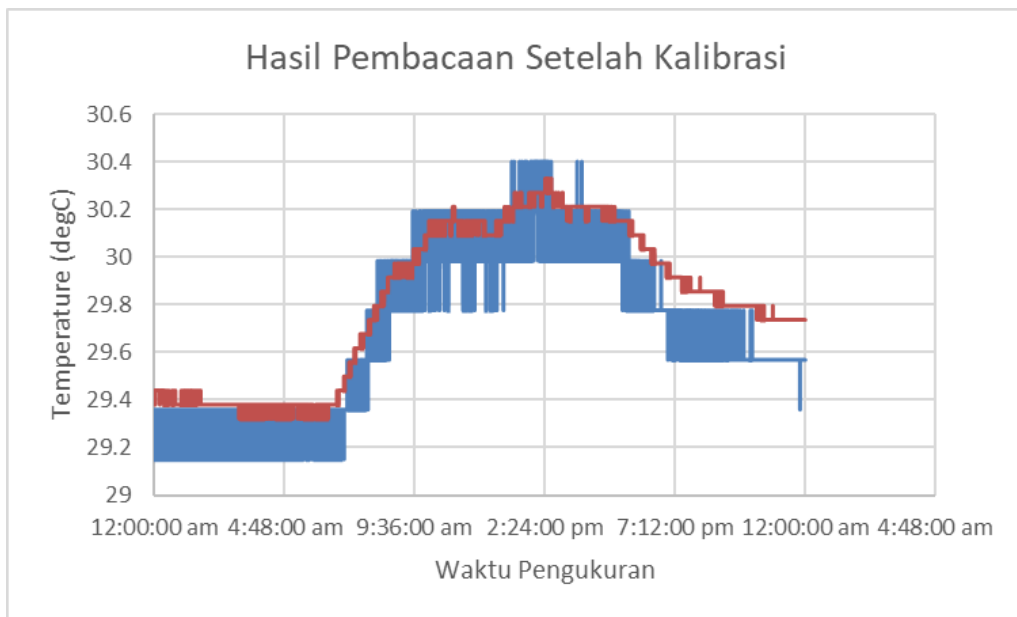


```
TrialMAX31855_DS_KFino
85
86
87 rawData = myMAX31855.readRawData();
88 TCKal = rawData*(0.8341) + 4.3367;
89
90 //Serial.print(F("Chip ID: "));
91 //Serial.print(myMAX31855.getChipID(rawData)); //if ChipID != 31855, then you have read fail=2 or unknown error=2000
92
93
94 //Serial.print(F(", Cold Junction: "));
95 Serial.print(myMAX31855.getColdJunctionTemperature(rawData));
96
97 Serial.print(", ");
98 //Serial.print(F(", Thermocouple: "));
99 Serial.print(myMAX31855.getTemperature(rawData));
100 Serial.print(TCKal);
101
102 for (int i = 0; i < 1; i++)
```

Gambar 4: Persamaan Kalibrasi dalam Codingan Arduino

3.3 Karakteristik Pembacaan Data Akuisisi MAX31855 Berbasis Arduino Setelah Kalibrasi

Hasil pembacaan temperatur oleh sensor MAX31855 dan Arduino setelah kalibrasi ditunjukkan oleh Gambar 5 dengan kurva warna biru, sedangkan kurva warna merah menunjukkan hasil pembacaan kalibrator DS18B20. Pengukuran selama 24 jam menunjukkan bahwa sensor yang dibangun (kurva biru) sudah menunjukkan respon yang menyerupai sensor kalibrator dengan kesalahan pembacaan yang lebih kecil yaitu 0.14°C dibanding kesalahan sebelum kalibrasi sekitar 0.60°C. Kesalahan yang relatif kecil ini membuktikan bahwa sensor yang dibangun berbasis platform open source Arduino sangat mudah untuk dimodifikasi kearah yang positif untuk meningkatkan keakuratannya. Walaupun keakuratan sensor sudah mendekati dengan keakuratan kalibratornya namun perlu dilakukan proses filter lebih lanjut agar data akuisisi temperatur yang dibangun menghasilkan pembacaan yang minim noise dan lebih presisi.



Gambar 5: Hasil Pengukuran Data Akuisisi Setelah Kalibrasi

4. KESIMPULAN

Data akuisisi temperatur berbasis Arduino dengan sensor termokopel tipe K dan MAX31855 mampu mengukur dinamika temperatur lingkungan yang seirama dengan kalibratornya yaitu sensor DS18B20 yang



sebelumnya sudah terkalibrasi dengan termometer ASTM, walaupun rata-rata hasil yang diukur berbeda 0.60°C diatas kalibrator. Perbedaan tersebut dapat diminimalisir melalui proses kalibrasi untuk meningkatkan keakuratan sensor dengan cara membandingkan hasil pengukuran keduanya saat keadaan steady kedalam sebuah grafik sehingga diperoleh persamaan kalibrasi $y = 0.8341x + 4.3367$, dimana x adalah hasil pengukuran data akuisisi yang dibangun dan y adalah hasil pengukuran kalibrator.

Keakuratan sensor meningkat menjadi $\pm 0.14^{\circ}\text{C}$ setelah persamaan kalibrasi dimasukkan kedalam coding data akuisisi berbasis Arduino.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada reviewer atas saran perbaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Wu, Y. Wang, W. K. C. Yung, and M. Pecht, "Ultrasonic health monitoring of lithium-ion batteries," *Electronics (Switzerland)*, vol. 8, no. 7, Jul. 2019, doi: 10.3390/electronics8070751.
- [2] Y. Gao, L. Yu, J. C. Yeo, and C. T. Lim, "Flexible Hybrid Sensors for Health Monitoring: Materials and Mechanisms to Render Wearability," *Advanced Materials*, vol. 32, no. 15. Wiley-VCH Verlag, Apr. 01, 2020. doi: 10.1002/adma.201902133.
- [3] A. Babapoor, G. Karimi, and S. Sabbaghi, "Thermal characteristic of nanocomposite phase change materials during solidification process," *J Energy Storage*, vol. 7, pp. 74–81, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.EST.2016.05.006.
- [4] A. Karaipekli, A. Biçer, A. Sari, and V. V. Tyagi, "Thermal characteristics of expanded perlite/paraffin composite phase change material with enhanced thermal conductivity using carbon nanotubes," *Energy Convers Manag*, vol. 134, pp. 373–381, Feb. 2017, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.12.053.
- [5] A. Hassan, M. S. Laghari, and Y. Rashid, "Micro-encapsulated phase change materials: A review of encapsulation, safety and thermal characteristics," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 8, no. 10. MDPI, Oct. 19, 2016. doi: 10.3390/su8101046.
- [6] T. Ding, Z. Meng, K. Chen, G. Fan, and C. Yan, "Experimental study on thermal stratification in water tank and heat transfer characteristics of condenser in water-cooled passive residual heat removal system of molten salt reactor," *Energy*, vol. 205, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118052.
- [7] C. Liu, C. Luo, T. Xu, P. Lv, and Z. Rao, "Experimental study on the thermal performance of capric acid-myristyl alcohol/expanded perlite composite phase change materials for thermal energy storage," *Solar Energy*, vol. 191, pp. 585–595, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.SOLENER.2019.09.049.
- [8] M. Ulin et al, "Rancang Bangun Alat Hypo-Hyperthermia Berbasis Arduino," 2020.
- [9] A. D'Ausilio, "Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment," *Behav Res Methods*, vol. 44, no. 2, pp. 305–313, Jun. 2012, doi: 10.3758/s13428-011-0163-z.
- [10] I. Roihan and R. A. Koestoer, "Data logger multichannel based on Arduino-Uno applied in thermal measurement of solar still Carocell L3000," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Dec. 2020. doi: 10.1063/5.0034930.
- [11] R. Septiana, I. Roihan, and R. A. Koestoer, "Development of portable grashof incubator type a up to h using digital thermostat w1209 to improve heat performance according to SNI IEC 60601-2-19: 2014 Criteria," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jul. 2020. doi: 10.1063/5.0013198.
- [12] W. J. Iskandar, I. Roihan, and R. A. Koestoer, "Prototype low-cost portable electrocardiogram (ECG) based on Arduino-Uno with Bluetooth feature," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Dec. 2019. doi: 10.1063/1.5139392.
- [13] R. A. Koestoer, N. Pancasaputra, I. Roihan, and Harinaldi, "A simple calibration methods of relative humidity sensor DHT22 for tropical climates based on Arduino data acquisition system," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jan. 2019. doi: 10.1063/1.5086556.
- [14] A. V. Zaelani, R. A. Koestoer, I. Roihan, and Harinaldi, "Analysis of temperature stabilization in grashof incubator with environment variations based on Indonesian national standard (SNI)," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jan. 2019. doi: 10.1063/1.5086550.
- [15] R. A. Koestoer, Y. A. Saleh, I. Roihan, and Harinaldi, "A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jan. 2019. doi: 10.1063/1.5086553.
- [16] R. Septiana, I. Roihan, and R. A. Koestoer, "Testing a calibration method for temperature sensors in different working fluids," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 68, no. 2, pp. 84–93, 2020, doi: 10.37934/ARFMTS.68.2.8493.



- [17] X. Gao, G. Chen, and H. Li, "Design of Signal Acquisition and Processing System for Temperature Sensor Experiment Instrument," *Int J Sci*, vol. 9, no. 08, pp. 9–13, 2020, doi: 10.18483/ijsci.2361.
- [18] R. Septiana, I. Roihan, and R. A. Koestoer, "Denoising MAX6675 reading using Kalman filter and factorial design," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 3818–3827, Oct. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i5.pp3818-3827.
- [19] R. Septiana, I. Roihan, and J. A. Karnadi dan Raldi Koestoer, "Calibration of K-Type Thermocouple and MAX6675 Module With Reference DS18B20 Thermistor Based on Arduino DAQ," 2019.
- [20] Adafruit Inc, "MAX31855 as alternative for MAX6675," <https://www.adafruit.com/product/269>.
- [21] Y. Wishnu Pandu Prayudha and S. Muhammad Fadhil dan Sentot Novianto, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Alat Thermobath sebagai Alat Kalibrasi Temperatur dengan Sistem Arduino Uno Informasi artikel," vol. 4, pp. 25–34, 2022.

