

Calibration of K-Type Thermocouple and MAX6675 Module With Reference DS18B20 Thermistor Based on Arduino DAQ

Reski Septiana, Ibnu Roihan, Juan Karnadi dan Raldi A. Koestoer*

Laboratorium Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

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

Abstract. Temperature is one of the crucial parameters in every aspect of life, so an accurate temperature measurement is needed. Temperature data acquisition using K-type thermocouple and MAX6675 module as cold junction compensation can be used by researchers because of its low-cost and availability in the market. K-type thermocouple and MAX6675 can be used as a valid data acquisition if the sensor is calibrated properly. This research proposes a calibration method for K-type thermocouple and MAX6675 sensor-based on Arduino microprocessor with DS18B20 thermistor as the reference which has been previously calibrated with the ASTM-117C thermometer. Calibration was performed at ambient conditions utilizing the energy from the environment where four K-type thermocouple sensors will be calibrated with two DS18B20 sensors. The test illustrates the general characteristics of the sensors under the same conditions. Both sensors were placed in ambient water for 24 hours. To increase the precision and accuracy of K-type thermocouple and MAX6675, a simple mathematical method will be used in Arduino coding so the output automatically is an already-calibrated values. The result of this study is a simple method to improve the precision and accuracy of K-type thermocouple and MAX6675 sensor in reading temperature values.

Abstrak. Temperatur adalah salah satu parameter penting dalam setiap aspek kehidupan, sehingga pengukuran temperatur yang akurat sangat diperlukan. Data akuisisi temperatur menggunakan termokopel tipe-K dan modul MAX6675 sebagai kompensasi *cold junction* dapat digunakan oleh para peneliti karena harganya yang murah dan ketersediaannya yang banyak di pasaran. Termokopel tipe-K dan MAX6675 dapat digunakan sebagai data akuisisi yang valid jika sensor terkalibrasi dengan benar. Penelitian ini mengusulkan metode kalibrasi untuk sensor termokopel tipe K dan MAX6675 berbasis Arduino dengan pembandingan termistor DS18B20 yang sebelumnya telah dikalibrasi dengan termometer ASTM-117C. Kalibrasi dilakukan selama 24 jam pada kondisi ambien dalam media air memanfaatkan energi dari lingkungan dimana empat sensor termokopel tipe-K dan MAX6675 akan dikalibrasi bersamaan dengan dua sensor DS18B20. Pengujian ini menggambarkan karakteristik umum dari sensor pada kondisi yang sama. Untuk meningkatkan akurasi dari sensor termokopel tipe-K dan MAX6675, metode matematika sederhana akan digunakan dalam coding Arduino sehingga hasil secara otomatis merupakan nilai yang sudah terkalibrasi. Hasil dari studi ini adalah metode sederhana untuk meningkatkan presisi dan akurasi sensor termokopel tipe-K dan MAX6675 dalam membaca nilai temperatur menggunakan Arduino DAQ.

Kata kunci: Arduino, Kalibrasi, MAX6675, Termokopel Tipe K

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Temperature merupakan salah satu parameter penting yang selalu ada di setiap sistem. Karena perannya yang penting, pengukuran temperature sangat dibutuhkan baik dalam bidang penelitian, kontrol otomasi, industri, maupun keseharian. Seiring perkembangan teknologi, untuk memudahkan pengukuran secara *real time*, muncul teknik yang dinamakan data akuisisi. Arduino dapat digunakan sebagai sistem data akuisisi yang valid apabila sensor terkalibrasi dengan baik [1]. Arduino juga memiliki koneksi yang stabil, keandalan dan ketahanan baik, serta dapat digunakan sebagai

sistem kontrol untuk berbagai tingkat kompleksitas dengan harga yang relatif murah [2]. Apabila ingin menggunakan termokopel tipe K dan Arduino sebagai data akuisisi temperature, dibutuhkan sebuah modul yang berperan sebagai kompensasi *cold junction* termokopel. MAX6675 adalah salah satu dari sekian banyak modul yang kompatibel dengan Arduino dan dapat berperan sebagai kompensasi *cold junction* termokopel tipe K. MAX6675 dipilih dari sekian banyak modul karena *range* pengukurannya yang besar yaitu dapat mengukur suhu pada *hot junction* 0°C sampai 1024°C [3].

Sensor termokopel tipe K dan MAX6675 mulai digunakan para peneliti untuk mengukur nilai temperature, namun karena sensor termokopel tipe K dan MAX6675 belum dapat memberikan jawaban yang akurat untuk pengukuran suhu kondisi ambient sampai dengan suhu air mendidih, maka sebelum digunakan sensor perlu dikalibrasi terlebih dulu [4]. Kondisi ambient dijadikan sebagai referensi awal kalibrasi karena prinsip kerja termokopel. Termokopel bekerja berdasarkan hukum Seebeck, dimana apabila dua material konduktor yang berbeda disatukan pada kedua ujungnya dan terdapat perbedaan temperature antara kedua ujungnya, maka akan timbul *electromotive force* yang besarnya sebanding dengan perbedaan temperature pada kedua ujung dan koefisien Seebeck material penyusun termokopel tersebut. Apabila pada kondisi ambient dimana hampir tidak ada perbedaan suhu antara *hot junction* dan *cold junction*, MAX6675 mengukur nilai temperature secara akurat, maka sensor MAX6675 dapat diaplikasikan untuk mengukur perbedaan suhu yang lebih besar. Selain itu, kondisi ambient juga secara tidak langsung adalah patokan natural yang selalu ada dan tak perlu dibuat secara paksa namun sering tidak disadari keberadaannya.

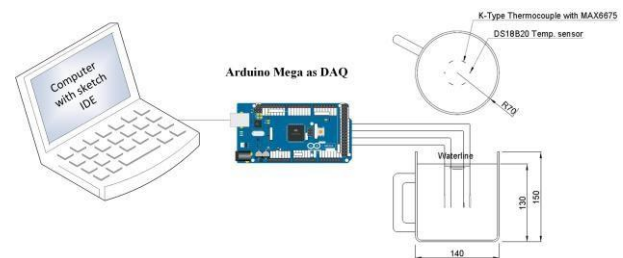
Penelitian ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor termokopel tipe K dan MAX6675 pada kondisi ambient untuk meningkatkan akurasi sensor dengan memanfaatkan Arduino sebagai template mikroprosesor dan data akuisisi.

Metode Penelitian

Alat yang digunakan. MAX6675 sebagai sensor yang akan dikalibrasi dapat mengkonversi pengukuran *hot junction* mulai dari 0°C sampai 1024°C sedangkan modulnya (*compensation cold junction*) dapat diletakkan pada suhu -20°C sampai 85°C [3]. MAX6675 selain berperan sebagai *cold junction compensation*, juga berperan sebagai *amplifier*, *timer*, dan *analog to digital converter*. Amplifier dibutuhkan dalam pembacaan temperature menggunakan termokopel karena beda potensial yang dihasilkan termokopel tipe K cukup kecil yaitu sekitar 41 μ V/°C [5].

Sensor DS18B20 mempunyai jangkauan pengukuran mulai -55°C hingga 125°C. DS18B20 dijadikan sebagai sensor kalibrator selain karena sebelumnya telah terkalibrasi dengan *thermometer ASTM 117C* [6], juga karena resolusi pembacaan suhunya yang teliti sampai 0.0625°C [7]. Ketelitiannya cukup tinggi jika dibandingkan dengan MAX6675 yang resolusinya 0.25°C [8]. Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia.

Proses pengukuran. Empat termokopel tipe K yang masing-masing sudah terhubung dengan MAX6675 akan diletakkan dalam bejana air selama 24 jam bersama kalibrasinya yaitu dua DS18B20 untuk melihat karakteristik awal sensor dalam mengukur ambient air. Peletakan dalam bejana air memanfaatkan keadaan ambient untuk mencegah *environmental error* [9]. Pengujian sensor dilakukan dalam jumlah banyak untuk melihat karakteristik umum sensor satu sama lain. Setup alat untuk pengujian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Simple schematic of experimental set-up.

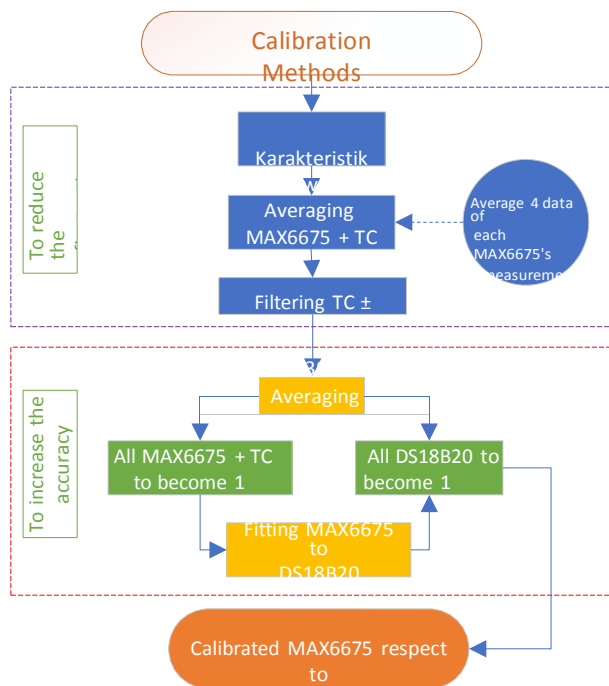
Seluruh sensor dihubungkan ke Arduino yang terhubung ke komputer dengan perangkat lunak *Sketch* untuk mengontrol proses pengambilan data. Arduino berperan sebagai *microprocessor* untuk mengambil keputusan dan melakukan iterasi algoritma. Perangkat lunak *Sketch* selain berfungsi sebagai media untuk menginput bahasa pemrograman ke Arduino untuk memerintahkan sensor agar melakukan pengukuran juga dapat menampilkan output data digital hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh sensor. Pengambilan data temperature dilakukan setiap detik dimana dalam satu detik akan terdapat enam nilai pembacaan temperature dari tiap sensor.

Proses kalibrasi. Berdasarkan data karakteristik awal akan dilakukan kalibrasi untuk meningkatkan akurasi sensor mengacu ke data kalibrasinya yaitu DS18B20. Metode matematika sederhana dipilih untuk meningkatkan akurasi sensor termokopel tipe K dan MAX6675 sehingga metode ini dapat digunakan oleh semua orang.

Fluktuasi sensor dapat diminimalisir dengan melakukan perata-rataan maupun filtering. Dengan melakukan perata-rataan maupun filtering fluktuasi data akan mengecil sehingga distribusi penyebaran data akan berada dalam range yang telah ditentukan. Tiap empat data yang dihasilkan masing-masing sensor akan dirata-rata sehingga frekuensi data hasil perata-rataan mempunyai jumlah ¼ data asli. Proses filtering data yang sudah dirata-rata berbasiskan resolusi sensor yang hanya dapat menampilkan data dengan besar perubahan 0.25°C [8].

Nilai akurasi dapat ditingkatkan dengan melakukan *fitting* atau tranlasi (penambahan atau

pengurangan) antara nilai yang ditunjukkan oleh sensor ke nilai yang ditunjukkan oleh kalibrator. Hal ini dapat dilakukan karena kedua jenis sensor menunjukkan irama yang sama selama pengukuran karakteristik awal 24 jam. Proses meningkatkan akurasi dimulai dengan merata-rata nilai keempat sensor termokopel tipe K dan MAX6675 yang tiap datanya sudah ditingkatkan presisinya melalui proses rata-rata dan filter. Setelah keempat sensor termokopel tipe K dan MAX6675 menunjukkan satu nilai yang sama karena telah dirata-rata kemudian dilakukan perhitungan delta antara data hasil rata-rata dengan data kalibrasinya. Setelah selisih tiap waktu telah didapatkan kemudian dilakukan rata-rata untuk mendapatkan satu nilai penambah atau pengurang yang berfungsi sebagai faktor koreksi sensor. Perhitungan rata-rata delta (selisih) dilakukan saat semua sensor dalam kondisi *steady* yaitu saat rentang waktu 00.00 - 02.00 pagi. **Gambar 2.** menunjukkan metode yang dilakukan dalam rangka meningkatkan akurasi dan presisi sensor termokopel tipe K dan MAX6675.



Gambar 2. Blok diagram stabilisasi termokopel tipe K dan MAX6675.

Semua proses kalibrasi yang telah dijelaskan diatas dilakukan dalam bentuk *coding* pada program *Sketch* sehingga keluaran data hasil pengukuran merupakan data yang terkalibrasi.

Analisa hasil kalibrasi. Proses kalibrasi dalam bentuk *coding* memanfaatkan prinsip kerja komputer sebagai alat hitung. Pemeriksaan apabila ada kesalahan dapat dilakukan karena hasil yang keluar dari *coding* bukan hanya hasil akhir namun seluruh data mulai dari data awal, data rata-rata,

data filter, beserta hasil kalibrasi semua variabel proses.

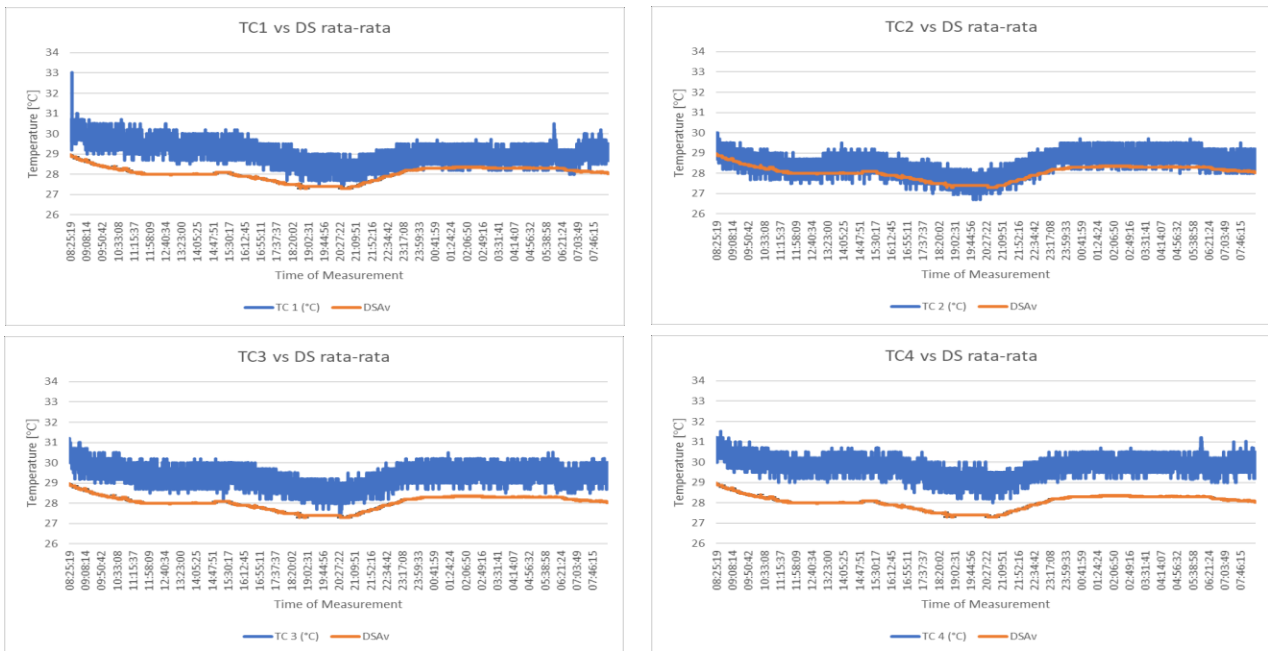
Analisa hasil kalibrasi dengan melihat perubahan grafik sebelum dan sesudah dari tiap proses yang dilakukan. Pembuktian keberhasilan metode kalibrasi yang diusulkan dengan melihat hasil pembacaan sensor termokopel tipe K dan MAX6675 mendekati pembacaan temperature DS18B20.

Hasil dan Pembahasan

Data sebelum kalibrasi. Karakteristik awal dari empat sensor termokopel tipe K dan MAX6675 (TC) dan rata-rata dari dua DS18B20 (DS) ditunjukkan oleh **Gambar 3.** dimana pengambilan data dilakukan selama 24 jam dalam ambient air.

Secara umum irama sensor termokopel tipe K dan MAX6675 menyerupai irama sensor DS18B20 namun sensor termokopel tipe K dan MAX6675 mempunyai fluktuasi yang cukup besar. Hasil pengukuran antar sensor termokopel tipe K dan MAX6675 juga tidak sama satu sama lain walaupun spesifikasi dan produsennya sama. Termokopel kedua memberikan hasil pengukuran dengan akurasi yang paling mendekati DS18B20 yang sudah terkalibrasi.

Data setelah perata-rataan. Perata-rataan empat sample dengan *delay* pengambilan antar sample 250ms yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.** dapat memperkecil fluktuasi data hasil pengukuran. Semakin banyak nilai sampel yang dirata-rata akan semakin memperkecil fluktuasi, namun akan memberikan gambaran hasil pengukuran yang kurang representatif terhadap keadaan sebenarnya. Dalam penelitian ini *delay* 250ms dianggap waktu ideal yang dibutuhkan sensor untuk dapat menghasilkan output hasil pengukuran walaupun input sensor berubah dengan cepat. Dengan perata-rataan empat sampel maka waktu yang dibutuhkan sensor untuk mendapatkan satu nilai temperature rata-rata adalah 1000 ms.



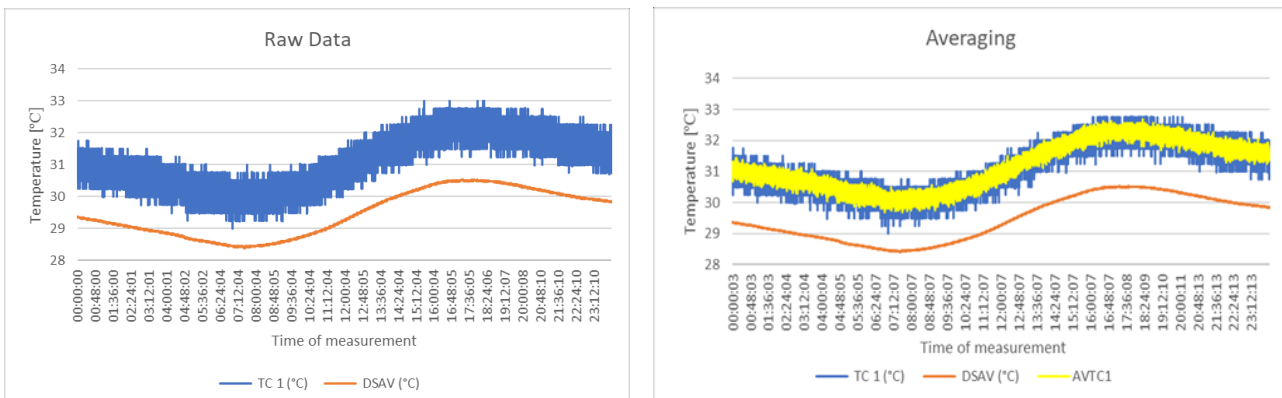
Gambar 3. Karakteristik awal pengukuran empat termokopel tipe K dan MAX6675 terhadap DS18B20.

Data setelah filtering. Selain bertujuan untuk memperkecil fluktuasi agar membatasi data berada di range $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ dari nilai idealnya, **Gambar 5.** menunjukkan secara visual proses *filtering* juga untuk mengurangi *noise*.

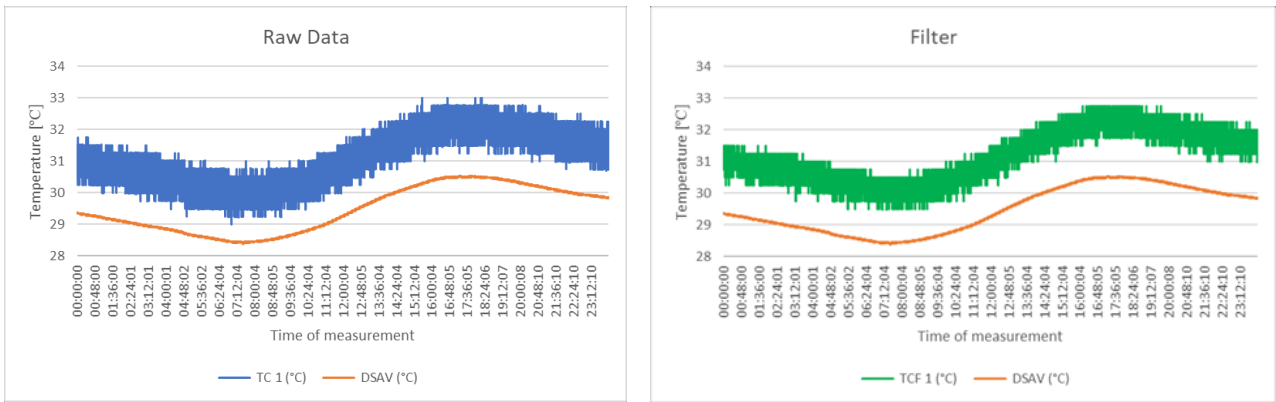
Peningkatan akurasi. Setelah peningkatan presisi melalui rata-rata dan *filtering*, dilakukan perata-rataan empat nilai temperature yang ditunjukkan oleh empat termokopel tipe K dan MAX6675 sehingga menjadi satu nilai temperature. Keempat sensor termokopel tipe K dan MAX6675 dan dua sensor DS18B20 diletakkan dalam media yang sama dengan jarak yang berdekatan tanpa ada kalor yang masuk secara paksa sehingga hasil pengukuran antara sensor termokopel tipe K dan MAX6675 serta DS18B20 seharusnya memberikan nilai yang sama satu sama lain. **Gambar 6.** menunjukkan proses perata-rataan untuk

mempermudah proses *fitting* atau translasi data termokopel tipe K dan MAX6675 ke DS18B20.

Fitting data termokopel tipe K dan MAX6675 ke nilai rata-rata yang ditunjukkan oleh dua sensor DS18B20 (DSAV) memerlukan 1 nilai yang berguna sebagai faktor translasi. Faktor translasi didapatkan dengan melakukan rata-rata nilai selisih antara nilai rata-rata termokopel tipe K dan MAX6675 dengan nilai rata-rata DS18B20 (DSAV) pada kondisi *ambient-steady* yaitu jam 00.00 – 02.00 pagi. Didapatkan nilai 1.31°C sebagai faktor translasi untuk menyamakan pembacaan sensor termokopel tipe K dan MAX6675 ke nilai sebenarnya yang ditunjukkan oleh DS18B20. **Gambar 7.** menunjukkan hasil akhir kalibrasi termokopel tipe K (TCN) dan MAX6675 pada ambient air menggunakan metode yang diusulkan dengan faktor translasi 1.31°C .



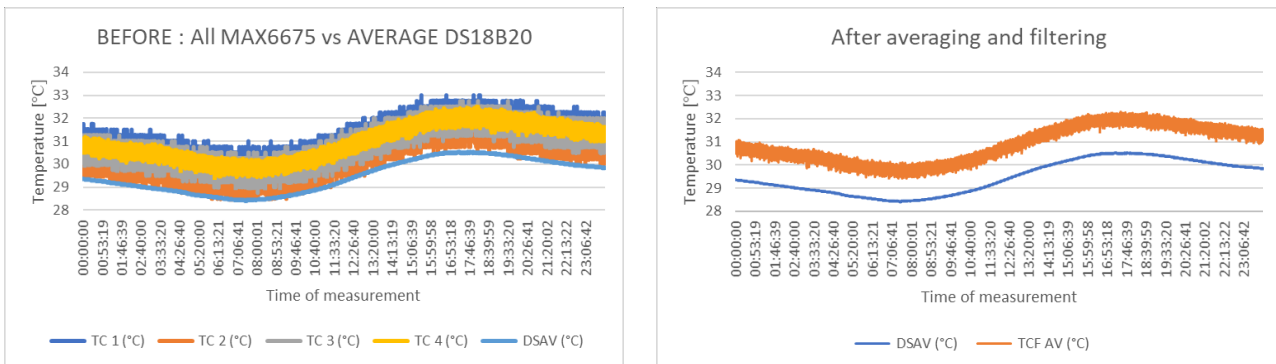
Gambar 4. Contoh perubahan besar fluktuasi sebelum dan sesudah dilakukan perata-rataan pada termokopel dan MAX6675 pertama.



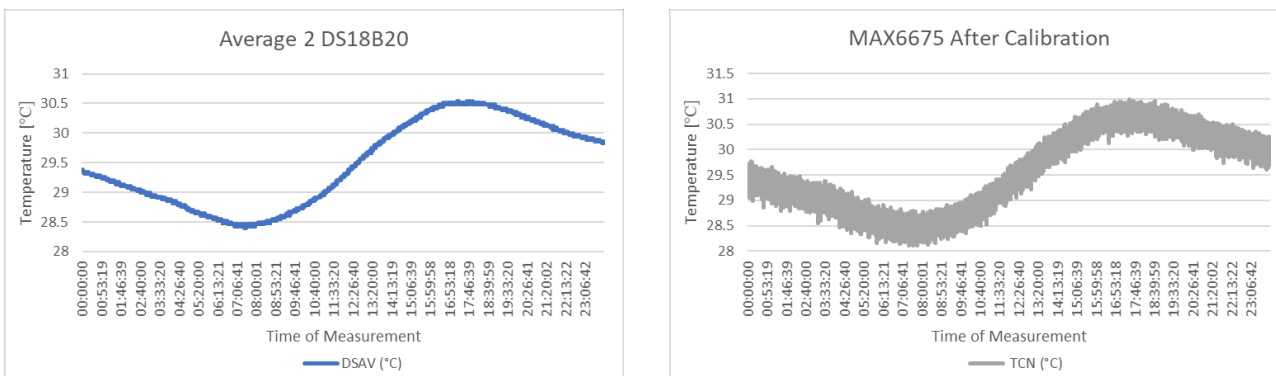
Gambar 5. Contoh penurunan *noise* sebelum dan sesudah dilakukan proses *filtering* pada termokopel dan MAX6675 pertama.

Kalibrasi Pada Media Udara. Metode kalibrasi yang sama diterapkan pada media udara untuk melihat apakah faktor translasi air dapat digunakan jika medianya berubah. **Gambar 8.** menampilkan hasil pengukuran ambient udara selama 24 jam tanpa merubah *coding* ataupun proses yang telah dilakukan di atas. Untuk ambient udara dimana *cold junction* dan *hot junction* termokopel sama-sama berada pada kondisi ambient terbukti bahwa faktor koreksi air sebesar 1.31°C dapat digunakan.

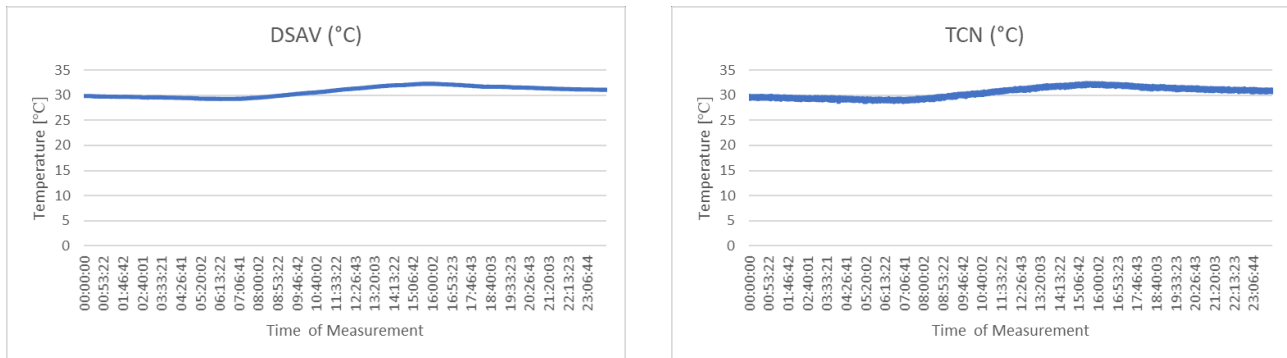
Analisa Error. Setiap alat ukur mempunyai error baik sistematis error maupun random error. Sistematis error berkaitan dengan akurasi alat ukur sedangkan random error berkaitan dengan presisi. Sebelum dikalibrasi termokopel tipe K dan MAX6675 mempunyai sistematis error dan random error yang berbeda-beda satu sama lain. Setelah kalibrasi, random error seragam menjadi $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ karena proses *filtering*. Sistematis error sudah dieliminasi karena nilai yang ditunjukkan termokopel tipe K dan MAX6675 sudah sama dengan nilai yang ditunjukkan oleh DS18B20.



Gambar 6. Hasil merata-ratakan data empat termokopel tipe K dan MAX6675 menjadi satu nilai temperature.



Gambar 7. Hasil pengukuran sensor termokopel tipe K dan MAX6675 serta DS18B20 yang telah dikalibrasi.



Gambar 8. Hasil pengukuran sensor termokopel tipe K dan MAX6675 serta DS18B20 yang telah dikalibrasi pada ambient udara.

Kesimpulan

Dengan metode yang telah diusulkan diatas terbukti bahwa matematika sederhana dapat meningkatkan akurasi dan presisi sensor baik untuk aplikasi dalam media air maupun udara. Kalibrasi juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi alam yaitu kondisi ambient yang stabil pada pukul 00.00 – 02.00pagi sebagai acuan untuk kalibrasinya.

Penghargaan

Makalah ini didukung oleh beasiswa PMDSU 2018 yang didanai oleh KEMENRISTEKDIKTI.

Referensi

1. D'Ausilio, A.J.B.R.M., *Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment*. 2012. **44**(2): p. 305-313.
2. 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.
3. Maxim Integrated Products, I. *Implementing Cold-Junction Compensation in Thermocouple Applications*. 2007. 8.
4. *Erratic readings from thermocouple amplifier (MAX6675)*. 2019.
5. Kumar, R. and N. Sahoo, *Dynamic Calibration of a Coaxial Thermocouples for Short Duration Transient Measurements*. *Journal of Heat Transfer*, 2013. **135**(12).
6. Koestoer, R.A., et al., *A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system*. 2019. **2062**(1): p. 020006.
7. Maxim Integrated Products, I. *DS18B20 : Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. maximintegrated.com July 2019 [09 September 2019]; Rev 6:[Datasheet]. Available from:

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

8. Maxim Integrated Products, I. *MAX6675 : Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*. April 2014 [cited 2019 09 September 2019]; Rev 2:[Datasheet]. Available from: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>.
9. Koestoer, R.A., et al., *A simple calibration methods of relative humidity sensor DHT22 for tropical climates based on Arduino data acquisition system*. 2019. **2062**(1): p. 020009.