

Perangkat Dan Metoda Kalibrasi Sensor Universal

Universal Sensor Calibration Devices And Methods

1st Otin Khotimah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
otinkhotimah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dudi Darmawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
dudidw@telkomuniversity.ac.id

3rd Endang Rosdiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
endangr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kalibrasi sensor sangat perlu untuk dilakukan dalam kegiatan pengukuran suatu besaran fisis agar nilai yang dikeluarkan oleh alat ukur atau sensor tersebut akurat dan sesuai dengan standar. Penelitian ini berkaitan dengan alat dan metoda yang dilakukan untuk melakukan kalibrasi pada suatu sensor dalam alat ukur. Proses kalibrasi umumnya hanya melakukan penyesuaian nilai awal dan linierisasi saja. Dimana proses linierisasi ini terbatas dan terikat pada daerah kerja sensor tertentu dan dapat dipengaruhi oleh kondisi elemen perasa sensor yang bisa berubah. Pada penelitian ini, memberikan solusi proses kalibrasi yang dapat digunakan beberapa sensor berbasis keluaran elektrik, mengakomodir hubungan non linier antara besaran terukur dan besaran keluaran sensor yang sebenarnya, dan memberikan kemudahan untuk melakukan kalibrasi melalui komunikasi dengan PC/Laptop sebagai perangkat pengolah data dengan tujuan untuk menghasilkan pencocokan kurva serta membentuk model persamaan yang sesuai dengan pola data sensor. Dengan adanya model persamaan non linier ini maka daerah kerja sensor dapat diperlebar. Pada penelitian ini dilakukan perancangan alat kalibrasi menggunakan dua sampel sensor yaitu sensor suhu LM35 dan sensor cahaya LDR, hasil penelitian menunjukkan pada sensor suhu LM35 dan sensor cahaya LDR didapatkan kurva yang paling baik yaitu kurva eksponensial dengan nilai error terkecil **0,9-2%** untuk sensor suhu LM35.

Kata Kunci – Kalibrasi, alat ukur, pengukuran, sensor, model persamaan

Abstract

Sensor calibration is very necessary to be carried out in measuring a physical quantity so that the value issued by the measuring instrument or sensor is accurate and in accordance with the standard. This research relates to the tools and methods used

*to calibrate a sensor in a measuring instrument. The calibration process generally only adjusts the initial value and linearizes it. Where the linearization process is limited and tied to a particular sensor work area and can be influenced by the condition of the sensor sensing element that can change. In this study, it provides a calibration process solution that can be used by several sensors based on electrical output, accommodates a non-linear relationship between the measured quantities and the actual sensor output quantities, and provides convenience for calibration through communication with a PC/Laptop as a data processing device with the aim of generate curve matching and form an equation model that fits the sensor data pattern. With this non-linear equation model, the working area of the sensor can be widened. In this study, a calibration tool was designed using two sensor samples, namely the LM35 temperature sensor and the LDR light sensor, the results showed the LM35 temperature sensor and LDR light sensor obtained the best curve, namely the exponential curve with the smallest error value of **0.9-2%** for LM35 temperature sensor.*

Keywords: Calibration, measuring instrument, measurement, sensor, equation model

I. PENDAHULUAN

Sensor merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran fisik/kimia menjadi besaran listrik berupa tegangan, arus listrik, resistansi dan sebagainya [1]. Sensor umumnya digunakan untuk pendeteksian pada saat melakukan pengukuran atau pengendalian. Dalam pemilihan komponen pada sensor pun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu karakteristik statis alat ukur seperti akurasi/ketepatan, presisi/ketelitian, linearitas, sensitivitas, jangkauan dan lain sebagainya [2]. Dari segi kelebihan atau pun kemampuan pada sensor, sensor tersebut harus memiliki ketepatan dan ketelitian. Namun salah satu permasalahan utama pada sensor umumnya terletak

pada kemampuan sensor untuk menghasilkan data yaitu akurasi/ketepatan dan presisi/ketelitian. Kedua indikator itu sangat penting karena dalam setiap pengukuran sensor dapat dikatakan layak apabila telah dibuktikan dengan suatu pengujian alat, yang mana dikatakan dengan kalibrasi alat ukur. Kemudian kedua indikator tersebut akan ditentukan oleh sensitivitas yang menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor tersebut terhadap objek yang diukur. Selain itu penurunan respon sensor juga bisa mempengaruhi perubahan kualitas sensor. Oleh karena itu setiap instrument alat ukur sebelum digunakan atau setelah digunakan ada baiknya dilakukan pengujian dan kalibrasi terlebih dahulu dimana harus sesuai dengan standar nasional ataupun internasional [3].

Kalibrasi merupakan serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur tersebut, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu [4]. Pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, umumnya hanya membandingkan data hasil pengukuran dari sensor dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi dari pabrik saja [5], dari kondisi tersebut maka kalibrasi hanya dilakukan dengan tujuan untuk melakukan pengaturan ulang nilai awal saja. Sedangkan penurunan respon sensor akibat berubahnya kondisi, waktu dan sejalan dengan frekuensi pemakaiannya akan menyebabkan nilai keluaran yang terbaca mengalami perubahan dan memungkinkan tidak lagi menunjukkan nilai sebenarnya. Pada kondisi seperti itu maka alat ukur tersebut harus dikalibrasi ulang. Oleh karena itu dengan di lakukannya penelitian ini, upaya kalibrasi yang dilakukan adalah dengan tujuan untuk mengetahui kelayakan suatu alat ukur, menjamin bahwa alat ukur tersebut sudah layak dipakai. Penelitian ini menyediakan sebuah perangkat/alat kalibrasi sensor dan metode kalibrasi untuk melakukan kalibrasi sensor pada alat ukur. Kalibrasi sensor ini merupakan suatu pengujian kelayakan terhadap sensor untuk mencapai hasil sesuai dengan indikator yang telah di inginkan yaitu akurat dan presisi dengan penambahan suatu model persamaan, supaya tujuan tersebut tercapai. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya beberapa perangkat/alat kalibrasi umumnya hanya memiliki bagian perangkat keras saja [6]. Berbeda dengan perangkat/alat kalibrasi ini, dimana perangkat/alat ini dapat membentuk model persamaan yang akan diinjeksikan kepada sensor yang akan diuji dengan tujuan tidak perlu untuk dilakukan kembali pengaturan ulang nilai awal dan meminimalisir ketergantungan apabila pola datanya berbeda dengan pola data baru, akibat adanya kondisi perubahan performansi sensor. Yang akan menyebabkan data-data tersebut sulit untuk menghasilkan pencocokan kurva. Adapun manfaat kalibrasi sensor dari penelitian ini adalah untuk

mendukung kualitas sensor yang ada di laboratorium.

II. KAJIAN TEORI

a. Desain Sistem Keseluruhan

Pada penelitian ini desain rancangan sistem dilakukan dengan mengontrol alat ukur yang sudah terkalibrasi sebagai parameter apakah nilai yang didapatkan oleh alat ukur yang dirancang ini sesuai atau jauh berbeda. Jika nilai besaran fisis sesuai atau tidak jauh berbeda dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi, maka penelitian ini bisa menjadi solusi bagi penelitian sebelumnya yaitu melakukan kalibrasi terhadap sensor dengan mencakup metoda kalibrasi didalamnya. Pembacaan sistem sensor pada metoda kalibrasi ini tidak perlu diberikan faktor koreksi, tetapi cukup mengkalibrasi ulang untuk mengubah model persamaannya. Rancangan sistem keseluruhan terbagi menjadi dua proses yaitu sebagai berikut:



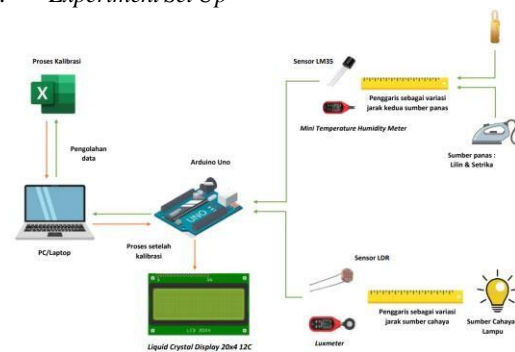
Gambar 1 Proses Kalibrasi



Gambar 2 Alat ukur yang sudah Terkalibrasi

Pada gambar diatas menunjukkan diagram blok sistem secara keseluruhan dan perangkat/alat kalibrasi sensornya. Untuk prosesnya terbagi menjadi dua bagian yaitu proses kalibrasi dan proses setelah kalibrasi. Pada Gambar 1 terdiri dari sensor, mikrokontroler, dan PC/Laptop. Uraian singkat mengenai Gambar 1 yaitu dari sensor dibaca tegangan elektriknya oleh mikrokontroler, kemudian mikrokontroler mengirimkan nilai data tegangan yang terbaca dari sensor ke PC/Laptop. Mikrokontroler pada penelitian ini menggunakan Arduino IDE sebagai komunikasi antara sensor dengan PC/Laptop. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem fungsi metoda kalibrasinya. Uraian singkat mengenai Gambar 2 yaitu setelah proses pengkalibrasian, PC/Laptop dilepas. Di dalam PC/Laptop ini terjadi pembentukan persamaan. Dimana persamaannya akan di injeksikan ke mikrokontroler dan disimpan di dalam memory mikrokontroler.

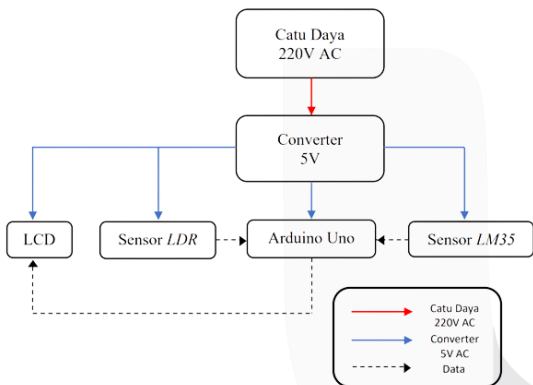
b. Experiment Set Up



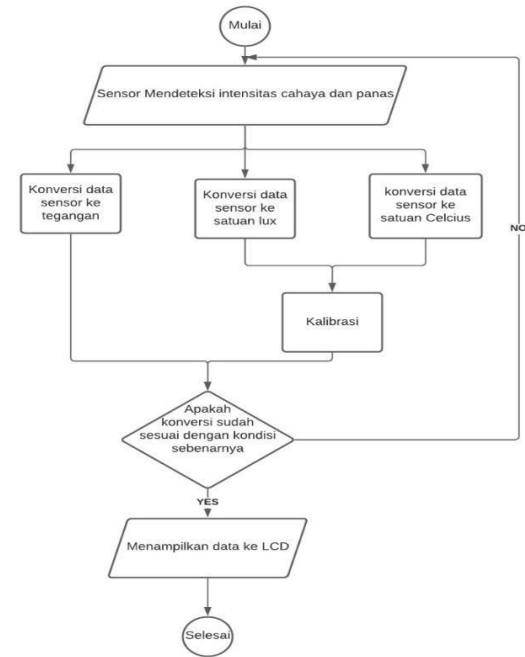
Gambar 3 Experimen Set Up

Alat ukur ini terdiri dari beberapa komponen elektronika yaitu sensor suhu LM35 dan sensor cahaya LDR sebagai sampel atau pengujian alat ukur, Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang berfungsi sebagai komunikasi antara sensor dengan PC/Laptop dan Modul Display 20x4 12C yang berfungsi sebagai layer yang dapat menampilkan data nilai besaran fisis berupa suhu dalam satuan Celcius dan cahaya dalam satuan Lux. Pada Gambar 1 dan 2 sudah dijelaskan mengenai proses kalibrasi dan proses setelah kalibrasi. Selanjutnya setelah dikalibrasi maka dilakukan pemetaan data dalam kurva menggunakan Microsoft Excel sebagai pengolah data, sehingga menghasilkan beberapa persamaan. Sebelum persamaan tersebut di injeksikan ke dalam mikrokontroler maka dilakukan validasi persamaan terlebih dahulu untuk membuktikan apakah persamaan tersebut valid atau tidak. Jika persamaan tersebut valid maka ke empat persamaan yang dipilih dapat diinjeksikan ke dalam mikrokontroler lalu ditanam disana. Dengan menyediakan suatu alat ukur dan metoda kalibrasi sensor ini mampu mendapatkan data yang akurat dan menghindari terjadinya perubahan terhadap nilai keluaran yang terbaca pada sensor.

c. Skema Diagram Blok



Gambar 4 Skema Diagram Blok Alat Ukur
d. FlowChart Program Kontrol



Gambar 5 FlowChart Program Kontrol

Pada tahap pembacaan sensor terdapat dua sensor yaitu sensor cahaya dan sensor suhu. kemudian data sensor tersebut dikonversi ke dalam beberapa satuan seperti tegangan, lux, dan celcius. pada satuan lux dan suhu selanjutnya masuk ke dalam proses kalibrasi. Jika konversi sesuai dengan keadaan sebenarnya maka data akan diteruskan ke LCD untuk di tampilkan. Jika data tidak sesuai dengan keadaan sebenarnya akan kembali ke proses pembacaan sensor.

e. Metoda Kalibrasi

Tujuan dari pada penelitian ini adalah untuk melakukan kalibrasi terhadap sensor yang memiliki keluaran berupa besaran elektik pada alat ukur dan mencakup metoda kalibrasi didalamnya. Metoda ini terdiri dari lima tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Menerima data tegangan dari sensor
2. Menerima data besaran fisis yang diinputkan
3. Melakukan pemetaan data dalam kurva
4. Menentukan bentuk persamaan, dan
5. Penginjeksian persamaan ke dalam mikrokontroler.

III. METODE

Sebelum melakukan pengujian alat ukur, apakah alat ini sudah layak dipakai atau belum maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menguji sensor yang akan digunakan terlebih dahulu dengan cara mengambil nilai besaran fisis yang belum terkalibrasi serta nilai tegangan yang dibutuhkan untuk membentuk beberapa kurva dan persamaan. Setelah nilai besaran fisis tersebut didapatkan maka dapat dihitung nilai ke akurasion sensornya. Jika nilai ke akurasion sensor diatas 70% maka sensor tersebut dikatakan baik dan dapat diteliti lebih lanjut. Dari uji komponen sensor tersebut, didapatkan data. Setelah mendapatkan data maka dilakukan pemetaan kurva dan pembentukan persamaan dengan rumus

persamaan yang berbeda-beda. Dari persamaan yang didapatkan maka rumus tersebut dapat digunakan untuk mengkalibrasi sensor. Dengan cara memasukan nilai tegangan yang terdapat pada persamaan. Berikut salah satu contoh persamaan yang didapat:

$$Y = 0.1208x - 1.7403 \quad (3.1)$$

Hasil persamaan diatas dapat dikatakan menjadi hasil rumus akhir pengkalibrasian, dan rumus persamaan ini dapat berubah-ubah sesuai dengan pembacaan data yang diperoleh. Dengan penjelasan Y sebagai nilai besaran fisis yang terkalibrasi dan X sebagai data hasil pengukuran.

Data hasil pengukuran ini berupa besaran elektrik yang sudah dijelaskan pada Batasan masalah yaitu berupa tegangan dengan satuan mV.

a. Pengujian Sensor

Pengujian sensor ini dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan sensor suhu LM35 dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi yaitu *Mini Temperature Humidity Meter*. Dari hasil perbandingan ini, ditentukan nilai faktor penyetaraan untuk pembacaan sensor LM35. Dengan pengukuran suhu maksimum pada rentang 30 - 57 untuk sumber panas lilin, dan hasil pembacaan sensor menggunakan sumber panas lilin didapatkan nilai keakurasian pada rentang 80% hingga 94%. Sedangkan pada saat menggunakan sumber panas setrika pengukuran suhu maksimum yang digunakan pada rentang 28- 46 , Hasil pembacaannya didapatkan nilai keakurasian pada rentang 92% hingga 98%. Keakurasian yang didapatkan jauh lebih baik dibandingkan saat menggunakan sumber panas berupa lilin karena pada setrika selain kestabilan panasnya yang tetap, tidak banyak faktor lain juga yang mempengaruhi contohnya pergerakan angin yang mengakibatkan panasnya tidak konsisten. Dan untuk pengujian sensor LDR dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan sensor cahaya LDR dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi yaitu *Luxmeter UNI-T UT 383*. Dari hasil perbandingan antara keduanya, ditentukan juga nilai faktor penyetaraan untuk pembacaan sensor LDR. Dengan pengukuran cahaya maksimum pada rentang 194 – 3554 Lux, sumber cahaya yang digunakan berupa lampu. Hasil pembacaan sensor LDR didapatkan nilai keakurasian pada rentang 83% hingga 97%.

b. Kalibrasi dan Validasi LM35 (L)

Validasi atau dapat dikatakan sebagai uji persamaan-persamaan yang telah ditentukan, dengan cara memvariasikan nilai benar yang berbeda dari nilai benar sebelumnya. Menggunakan nilai benar yang berbeda pada saat pengujian sensor, namun masih dalam rentang 30-57°C.

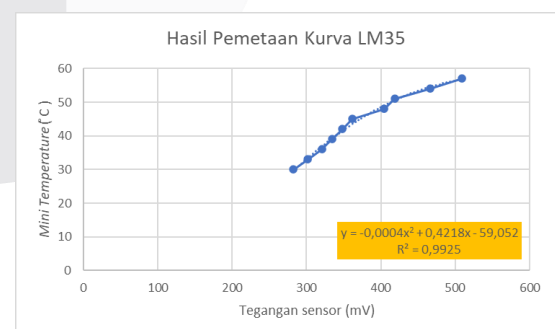
c. Hasil Pemetaan

Pada Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pemetaan kurva dan persamaan dari sensor suhu LM35 menggunakan sumber panas lilin. Hasil

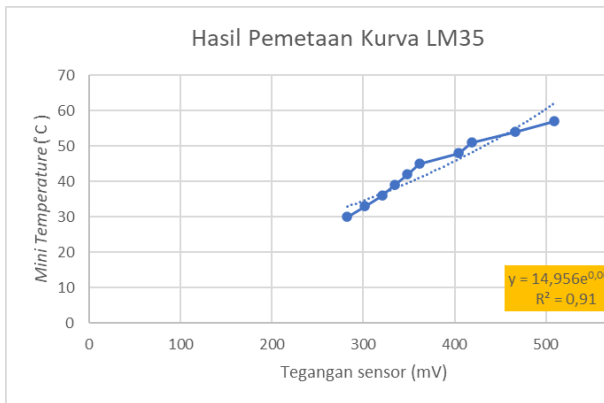
pemetaan kurva pada Gambar 6 – 9 menunjukkan hubungan antara tegangan/voltase keluaran dari sensor LM35 (mV) terhadap nilai pembacaan dari alat ukur *Mini Temperature Humidity Meter*. Kurva yang digunakan untuk mengkalibrasi sensor pada penelitian ini tidak hanya berupa kurva linear saja, namun terdapat juga kurva berupa kuadratik, eksponensial dan logaritmik. Ke empat regresi tersebut harus dicoba dengan tujuan untuk mengurangi ketergantungan apabila pola datanya berbeda dengan pola data baru, akibat adanya kondisi perubahan performansi sensor maka akan menyebabkan data-data tersebut sulit untuk menghasilkan pencocokan kurva. Dan jika kondisi respon sensor sering mengalami perubahan permanen maka tidak lagi bisa memberikan respon yang linear antara variabel yang diukur dengan variabel sebenarnya. Pada kondisi tersebut maka semua jenis regresi harus dicoba dan model persamaan pun dapat dibuat dan disisipkan pada alat ukur. Dapat dilihat dari keempat kurva dibawah memiliki nilai rata-rata $R^2 = 0,9590$, artinya hubungan antara tegangan terukur dari sensor LM35 tersebut terhadap nilai baca dari *Mini Temperature Humidity Meter* sangatlah dekat.



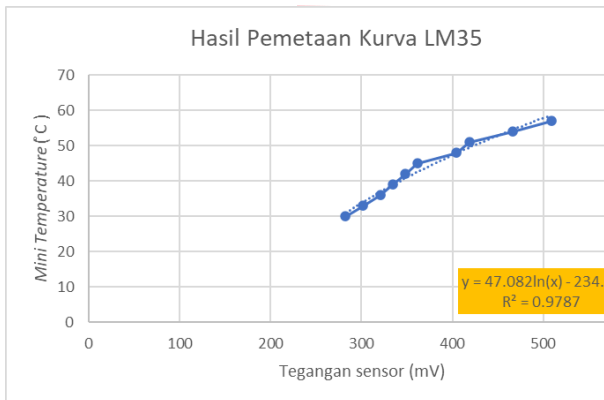
Gambar 6 Hasil Pemetaan Kurva Linier dan Persamaan dari Sensor LM35 (L)



Gambar 7 Hasil Pemetaan Kurva Kuadratik dan Persamaan dari Sensor LM35 (L)



Gambar 8 Hasil Pemetaan Kurva Eksponensial dan Persamaan dari Sensor LM35 (L)



Gambar 9 Hasil Pemetaan Kurva Logaritmik dan Persamaan dari Sensor LM35 (L)

d. Validasi Persamaan

Setelah dilakukannya pemetaan kurva maka dilakukan uji persamaan atau validasi persamaan, dari empat tabel dibawah menunjukkan bahwa nilai sensor (nilai terkalibrasi) sangat mendekati nilai benar dan error menunjukkan 2% untuk persamaan linear, 0,9-2% untuk persamaan eksponensial, 2-4% untuk logaritmik dan yang terakhir 0,3-8% untuk kuadratik. Dapat disimpulkan bahwa dari keempat hasil uji coba persamaan yang errornya paling kecil dan nilai sensor hampir mendekati nilai benar adalah regresi eksponensial. Sehingga dengan adanya model persamaan non linier maka jenis sensor lain dapat dikalibrasi. Dan hasil pembacaan sistem sensor tidak perlu diberikan faktor koreksi, tetapi cukup dengan kalibrasi ulang untuk mengubah model persamaannya.

Tabel 1 Validasi Persamaan Linier Sensor LM35 (L)

Validasi Persamaan Linier			
Nilai Benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasi (°C)	Error
35	312.5	36.0097	2.884857
46	404.783	47.1574864	2.516275
55	458.004	53.5865832	2.569849

Validasi Persamaan Kuadratik			
Nilai Benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasi (°C)	Error
35	312.5	36.698	3.72
46	404.783	46.14575856	0.316866
55	458.004	50.22702159	8.678143

Tabel 2 Validasi Persamaan Kuadratik Sensor LM35 (L)

Validasi Persamaan Eksponensial			
Nilai Benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasi (°C)	Error
35	312.5	35.8775789	2.507368
46	404.783	46.45596883	0.991237
55	458.004	53.92120192	1961451

Tabel 3 Validasi Persamaan Eksponensial Sensor LM35 (L)

Validasi Persamaan Logaritmik			
Nilai Benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasi (°C)	Error
35	312.5	35.74746762	2.135622
46	404.783	47.92977748	4.195168
55	458.004	53.74566612	2.280607

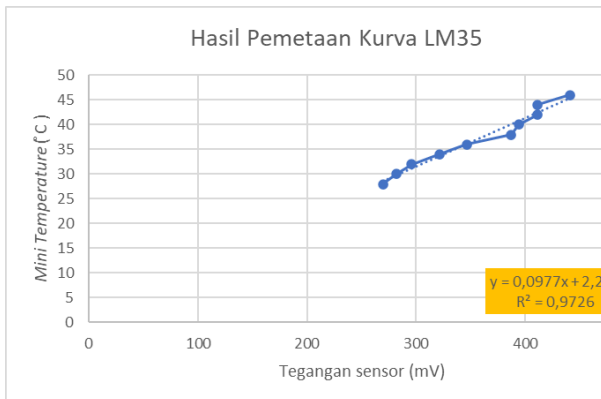
Tabel 4 Validasi Persamaan Logaritmik Sensor LM35 (L)

e. Kalibrasi dan Validasi LM35 (S)

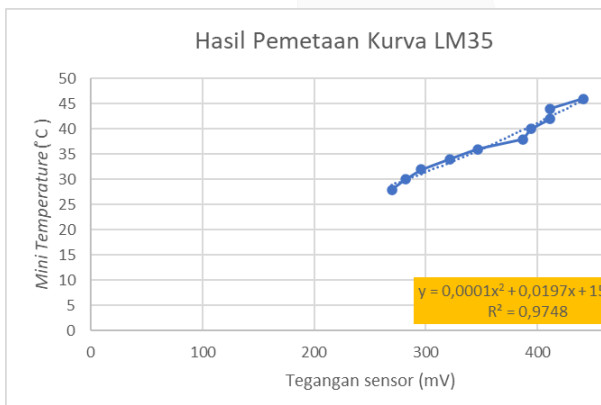
Nilai suhu benar diambil tiga sampel dari data nilai suhu sebelumnya dengan rentang 28-46°C.

f. Hasil Pemetaan

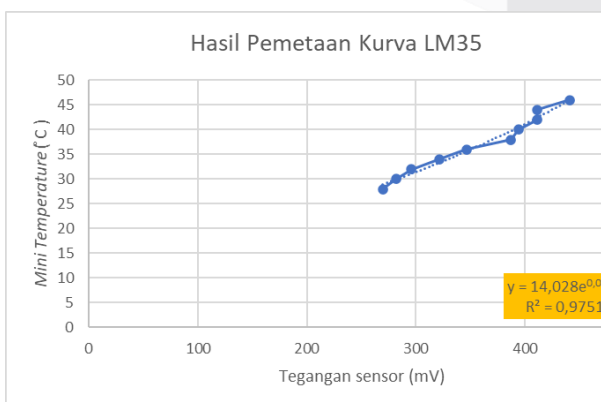
Pada gambar dibawah ini menunjukkan hasil pemetaan kurva dan persamaan dari sensor suhu LM35 dengan menggunakan sumber panas berupa setrika. Dapat dilihat dari keempat kurva dibawah memiliki nilai rata-rata $R^2 = 0,9719$, artinya hubungan antara tegangan terukur dari sensor LM35 tersebut terhadap nilai baca dari *Mini Temperature Humidity Meter* sangatlah dekat.



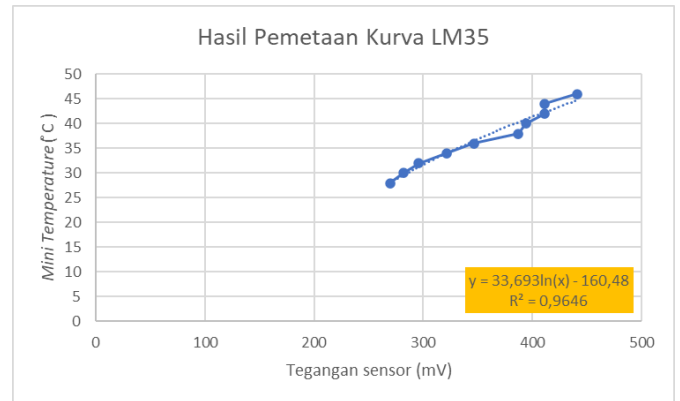
Gambar 10 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Linier dari Sensor LM35 (S)



Gambar 11 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Kuadratik dari Sensor LM35 (S)



Gambar 12 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Eksponensial dari Sensor LM35 (S)



Gambar 13 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Logaritmik dari Sensor LM35 (S)

g. Validasi Persamaan

Keempat Tabel dibawah ini menunjukkan bahwa nilai suhu sensor hampir mendekati nilai benar dari *Mini Temperature* dan error menunjukkan 0,9-8% untuk persamaan linear, 2-8% untuk eksponensial, 0,02-8% untuk logaritmik dan yang terakhir 1-12% untuk kuadratik. Untuk sumber panas setrika juga hasilnya masih sama, yang mendekati nilai benar dan nilai errornya yang paling kecil ditunjukkan pada regresi eksponensial.

Tabel 5 Validasi Persamaan Linier Sensor LM35 (S)

Validasi Persamaan Linear			
Nilai benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasasi (°C)	Error
29	276.856	29.2748312	0.947694
35	303.708	31.8982716	8.862081
43	395.998	40.9150046	4.848827

Tabel 6 Validasi Persamaan Kuadratik Sensor LM35 (S)

Validasi Persamaan Kuadratik			
Nilai benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasasi (°C)	Error
29	276.856	28.68398767	1.089698
35	303.708	30.77190253	12.08028
43	395.998	39.0476022	9.191623

Tabel 7 Validasi Persamaan Eksponensial Sensor LM35 (S)

Validasi Persamaan Eksponensial			
Nilai benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasasi (°C)	Error
29	276.856	29.62345755	2.149854
35	303.708	31.85094119	8.997311
43	395.998	40.86401849	4.967399

Tabel 8 Validasi Persamaan Logaritmik Sensor LM35 (S)

Validasi Persamaan Logaritmik			
Nilai Ben ar (°C)	Tegang an (mV)	Nilai terkalibra si (°C)	Error
2	276.85	28.99250	0.0258
9	6	179	56
3	303.70	32.11143	8.2530
5	8	578	41

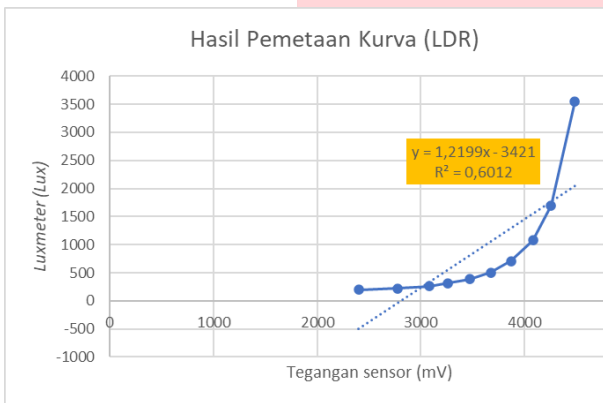
4	395.99	41.05161	4.5311
3	8	885	19

h. Kalibrasi dan Validasi LDR

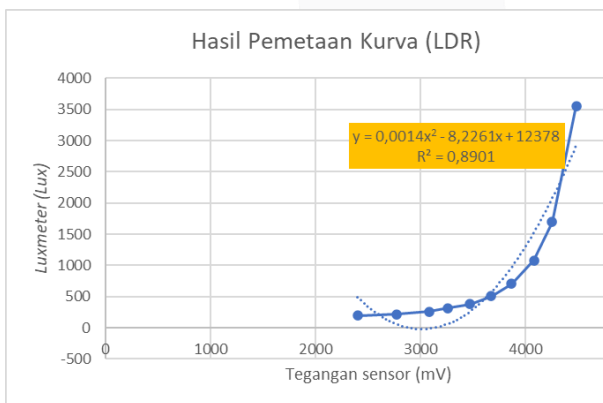
Nilai benar pada sensor LDR ini diambil tiga sampel dari data nilai cahaya sebelumnya pada saat pengujian sensor dengan rentang 194-3554 lux.

i. Hasil Pemetaan

Keempat kurva dibawah ini menunjukkan hasil pemetaan kurva dan persamaan dari sensor LDR dengan pengambilan dan pengulangan pengukuran sebanyak sepuluh kali. Dapat dilihat dari keempat kurva dibawah memiliki nilai rata-rata $R^2 = 0,5$. Namun untuk nilai koefisien determinasi tersebut masih dikatakan cukup baik, karena koefisien determinasi sendiri memiliki standar jika di bawah 0,5 maka nilai koefisien determinasi dikatakan tidak baik.



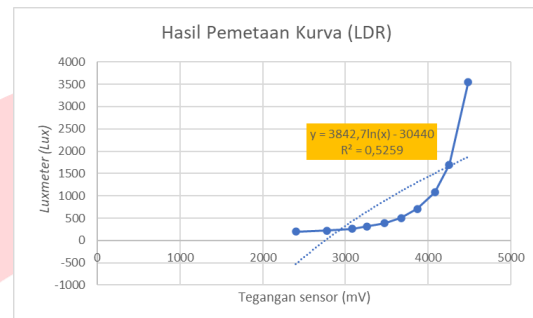
Gambar 14 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Linier dari Sensor LDR



Gambar 15 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Kuadratik dari Sensor LDR



Gambar 16 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Eksponensial dari Sensor LDR



Gambar 17 Hasil Pemetaan Kurva dan Persamaan Logaritmik dari Sensor LDR

j. Validasi Persamaan

Untuk hasil uji coba persamaan dapat dilihat pada Tabel dibawah ini. Uji persamaan pada sensor LDR ini sedikit berbeda dari uji persamaan sensor LM35. Nilai sensor LDR yang terdapat pada kurva sangatlah jauh dari nilai Luxmeter nya dikarenakan ada faktor lain.

Tabel 9 Validasi Persamaan Linier Sensor LDR

Validasi Persamaan Linear			
Nilai benar (Lux)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasasi (Lux)	Error
208	2666.378	-168.2854778	180.9065
489	3603.76	975.226824	99.43289
2968	4377.757	1919.425764	35.32932

Tabel 10 Validasi Persamaan Kuadratik Sensor LDR

Validasi Persamaan Kuadratik			
Nilai benar (Lux)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasasi (Lux)	Error
208	2666.378	397.5082286	91.10973
489	3603.76	915.0304566	87.12279
2968	4377.757	3196.792034	7.708626

Tabel 11 Validasi Persamaan Eksponensial Sensor LDR

Validasi Persamaan Eksponensial			
Nilai benar (Lux)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasasi (Lux)	Error
208	2666.378	194.1924612	6.63824
489	3603.76	721.3933391	47.5242
2968	4377.757	2131.924421	28.16966

Tabel 12 Validasi Persamaan Logaritmik Sensor LDR

Validasi Persamaan Logaritmik			
Nilai benar (Lux)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasasi (Lux)	Error
208	2666.378	-126.9522137	161.0347
489	3603.76	1030.687091	110.7745
2968	4377.757	1778.317991	40.08363

k. Validasi Alat Ukur

Guna menguji kinerja sebuah alat, maka dilakukan pengujian alat kalibrasi dengan melakukan pengukuran nilai tegangan sebagai output dari sensor, dimana dengan mengambil nilai benar yang berbeda dari nilai uji coba pengujian sensor diawal dan uji coba persamaan sebelumnya. Sebagai parameter keberhasilan uji alat ukur, maka dilakukan uji coba alat menggunakan persamaan eksponensial sebagai contoh apakah alat ukur ini dapat menampilkan besaran fisis yang tidak jauh berbeda dari nilai benarnya. Berikut hasil dari validasi alat ukur dapat dilihat pada Tabel 13, 14 dan 15. Dapat disimpulkan bahwa kedekatan nilai antara sensor dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi tidak terlalu jauh berbeda. Walaupun untuk nilai sensor LDR sendiri masih sangat jauh dari nilai *Luxmeter* nya dikarenakan adanya faktor lain.

Tabel 13 Validasi Alat Ukur Sensor LM35 Lilin

Validasi Persamaan Eksponensial			
Nilai benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasi (°C)	Error
34	317.119	35.6738743	4.92316
47	418.286	46.4123768	1.250262
56	504.141	58.1908763	3.912279

Tabel 14 Validasi Alat Ukur Sensor LM35 Setrika

Validasi Persamaan Eksponensial			
Nilai benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasi (°C)	Error
31	289.105	31.4562301	1.47171
37	374.104	36.8564352	0.388013
45	433.482	46.2987652	2.886145

Tabel 15 Validasi Alat Ukur Sensor LDR

Validasi Persamaan Eksponensial			
Nilai benar (°C)	Tegangan (mV)	Nilai terkalibrasi (°C)	Error
248	2981.52	301.88572	21.7281
570	3723.87	853.4940194	49.7357
2289	4329.12	1991.589883	12.9930

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perangkat/alat dan metoda kalibrasi yang diusulkan dapat melakukan kalibrasi sensor.
2. Dari pengukuran sensor yang dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan sensor dengan alat ukur yang sudah terkalibrasi didapatkan empat persamaan

yang telah ditentukan yaitu persamaan linear, kuadratik, logaritmik dan eksponensial. Dari keempat persamaan tersebut didapatkan hasil bahwa persamaan eksponensial jauh lebih baik daripada menggunakan persamaan linear.

3. Validasi atau uji coba persamaan pada sensor suhu LM35 menggunakan kedua sumber panas yang berbeda dan didapatkan :
 - Untuk sumber panas lilin kurva menunjukkan bahwa nilai suhu sensor sangat mendekati nilai benar dari alat yang sudah terkalibrasi dan error menunjukkan 2% untuk kurva linear, 0,9-2% untuk kurva eksponensial, 2-4% untuk logaritmik dan yang terakhir 0,3-8% untuk kuadratik.
 - Untuk sumber panas setrika kurva menunjukkan bahwa nilai suhu sensor hampir mendekati nilai benar dari Mini Temperature dan error menunjukkan 0,9-8% untuk kurva linear, 2-8% untuk kurva eksponensial, 0,02-8% untuk logaritmik dan yang terakhir 1-12% untuk kuadratik.
4. Validasi atau uji coba persamaan pada sensor LDR menggunakan sumber cahaya berupa lampu didapatkan hasil bahwa dari kurva eksponensial jauh lebih baik dari kurva-kurva yang telah ditentukan, dengan nilai luxmeter jauh berbeda dengan nilai sensor LDR dikarenakan adanya faktor lain.
5. Metoda pemetaan ini dapat digunakan karena tidak perlu untuk melakukan pengaturan ulang nilai awal. Tetapi cukup dengan kalibrasi ulang untuk mengubah model persamaannya.

b. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka adapun saran yang tepat untuk dilakukan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Mampu mengirim data secara otomatis dari serial monitor Arduino IDE ke dalam *software*.
2. Mampu mengkalibrasi berbagai macam sensor yang syaratnya tidak hanya sensor analoag dan keluarannya tidak berupa tegangan saja.
3. Dikarenakan hasil uji sensor LDR kurang baik maka untuk penelitian selanjutnya lebih diperhatikan lagi salah satunya yaitu seperti bagaimana cara mengubah nilai ADC ke nilai lux nya.

REFERENSI

[1] Dickson Kho, "No Title."

- <https://teknikelektronika.com/pengertian-ldr-light-dependent-resistor-cara-mengukur-ldr/> .
- [2] I. A. R. (19030184004), T. R. C. (19030184030), H. B. (19030184031), D. P. L. (19030184047), S. A. L. (19030184068), and Dhela Rochmatul Maghfiroh (19030184069), "Karakteristik Statis Alat Ukur." <https://www.ilmiahku.com/2019/12/karakteristik-statis-alat-ukur.html>.
- [3] A. Jupri, A. Muid, and - Muliadi, "Rancang Bangun Alat Ukur Suhu, Kelembaban, dan pH pada Tanah Berbasis Mikrokontroler ATmega328P," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 76–81, 2017, doi: 10.26418/jp.v3i2.21210.
- [4] A. Wicaksono and I. D. W. Susanto, "Sistem Otomasi Penggerak Kamera Dengan Motor Step Sebagai Alat Bantu Kalibrasi Alat Ukur Panjang," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 6, no. 2, p. 105, 2015, doi: 10.5614/joki.2014.6.2.4.
- [5] C. S. dan Kusnadi, "Kalibrasi Sensor Temperatur Dengan Metoda Perbandingan dan Simulasi," vol. 10, no. 2, pp. 131–137, 2011.
- [6] Z. Latif, A. Wahjudi, and B. Sudarmanta, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Pada Alat Kalibrasi Sensor Gas Oksigen (O₂)," *J. Tek. Pomits*, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2014.