



Kalibrasi Sensor Suhu Udara, Kelembaban dan pH Tanah Menggunakan Metode *Linear regression*

Dodi Yudo Setyawan^{*1}, Nurfiana², Lia Rosmalia³, Melia Gripin Setiawati⁴, Retno Dwi Handayani⁵

^{*1,2,3,4}Jurusan Sistem Komputer, Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya, Lampung, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: dodi@darmajaya.ac.id

Abstrak

Ketepatan atau presisi alat ukur suhu, kelembaban udara dan pH tanah adalah hal yang sangat penting dalam pengambilan keputusan pada pengontrolan pengelolaan tanah dan air dalam pertanian. Setiap sensor yang digunakan untuk membangun sistem alat ukur harus dikalibrasi agar memperoleh ketepatan pengukuran. Penelitian ini membahas proses kalibrasi terhadap tiga jenis sensor, yaitu sensor suhu dan kelembaban udara DHT11, serta sensor kelembaban dan pH tanah. Kalibrasi menggunakan metode *linear regression* untuk meningkatkan akurasi pengukuran terhadap nilai acuan kalibrator yang lebih presisi. Hasil menunjukkan bahwa kalibrasi berhasil mengurangi simpangan baku dari setiap sensor, terutama sensor DHT11 dengan peningkatan akurasi sebesar 0,03 dan konsistensi pengukuran yang signifikan. Kalibrasi sensor kelembaban tanah dengan peningkatan akurasi sebesar 0,01 dan sensor pH juga menunjukkan peningkatan akurasi, meskipun peningkatannya tidak sebesar sensor DHT11. Dengan demikian, kalibrasi ini meningkatkan kualitas pengukuran dan konsistensi sensor dalam aplikasi monitoring lingkungan.

Kata kunci—kalibrasi, sensor, *Linear regression*, akurasi

Abstract

The accuracy or precision of temperature, air humidity and soil pH measuring instruments is very important in making decisions on controlling soil and water management in agriculture. Every sensor used to build a measuring system must be calibrated in order to obtain accurate measurements. This study discusses the calibration process for three types of sensors: the DHT11 air temperature and humidity sensor, as well as soil moisture and pH sensors. Calibration used the *linear regression* method to enhance measurement accuracy against more precise reference values. The results show that calibration succeeded in reducing the standard deviation of each sensor, especially the DHT11 sensor with an increase in accuracy of 0.03 and significant measurement consistency. Calibration of the soil moisture sensor with an increase in accuracy of 0.01 and the pH sensor also shows an increase in accuracy, although the increase is not as big as the DHT11 sensor. Overall, this calibration improves the measurement quality and consistency of sensors for environmental monitoring applications.

Keywords—calibration, sensors, *Linear regression*, accuracy

1. PENDAHULUAN

Pengukuran parameter tanah seperti suhu udara, kelembaban, dan pH merupakan aspek penting dalam berbagai disiplin ilmu, terutama di bidang pertanian, agroklimatologi, dan ilmu lingkungan. Data yang akurat dari pengukuran-pengukuran ini menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan tanah dan sumber daya air. Namun, presisi data yang diperoleh sangat bergantung pada kinerja sensor yang digunakan. Parameter ini memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman, proses biologis, dan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, ketepatan dan presisi alat ukur yang digunakan untuk mendeteksi perubahan lingkungan sangat diperlukan. Proses kalibrasi menjadi esensial guna memastikan bahwa sensor tersebut dapat menghasilkan data yang konsisten dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Kalibrasi merupakan proses perbandingan nilai yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur dengan nilai standar yang sudah diketahui kebenarannya. Tujuan utama kalibrasi adalah untuk menentukan kesalahan sistematis dari alat ukur dan menghasilkan faktor koreksi yang dapat diterapkan pada hasil pengukuran. Kalibrasi sensor suhu dan kelembaban udara menggunakan *linear regression* menghasilkan akurasi sebesar 99,721% dan 97,75% [1]. Kalibrasi sensor BME280 suhu dan kelembaban udara menggunakan *linear regression* menghasilkan nilai akurasi mendekati 100% [2]. Kalibrasi sensor DHT11 pada *prototype Smart Greenhouse* tanaman sawi menggunakan *platform Internet of things* (IoT) menghasilkan nilai error sebesar 2,49% [3].

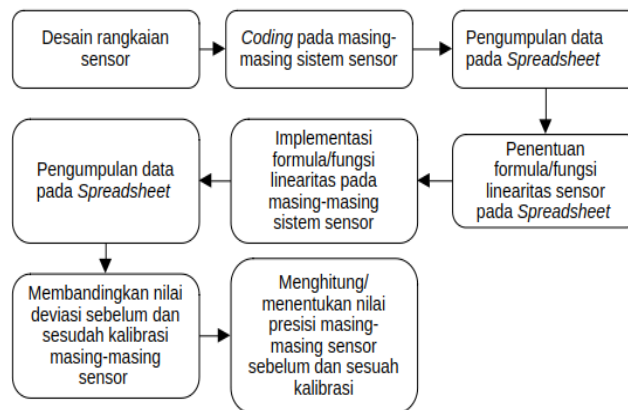
Metode kalibrasi yang umum digunakan adalah *linear regression*, yang berfungsi untuk memodelkan hubungan antara data sensor dengan nilai acuan yang telah dikalibrasi dengan standar alat ukur yang lebih akurat. Metode *linear regression* merupakan salah satu teknik statistik yang paling umum digunakan dalam kalibrasi instrumen. Prinsip dasar metode ini adalah membangun suatu model matematis linier yang menggambarkan hubungan antara variabel independen (nilai bacaan sensor) dan variabel dependen (nilai referensi). Model *linear regression* memiliki karakteristik sederhana akan tetapi menghasilkan nilai kalibrasi yang efektif dalam memperbaiki ketidakpresisian pengukuran yang diperoleh kemudian dapat digunakan untuk memprediksi nilai sebenarnya suatu parameter berdasarkan nilai bacaan sensor. Dengan *linear regression*, hubungan linier antara dua variabel dapat diidentifikasi, sehingga memungkinkan untuk memprediksi atau memperbaiki hasil pengukuran sensor berdasarkan data kalibrasi yang diperoleh. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kalibrasi terhadap sensor suhu udara, kelembaban, dan pH tanah menggunakan metode *linear regression*. Kalibrasi ini akan membantu meningkatkan presisi sensor-sensor tersebut, sehingga dapat digunakan dalam aplikasi monitoring lingkungan yang lebih akurat.

2. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain sensor suhu dan kelembaban udara DHT11, sensor kelembaban tanah dan sensor pH tanah. Alat ukur standar berupa termometer, *hygrometer* dan pH meter dengan presisi yang tinggi untuk digunakan sebagai referensi dan Arduino. Media tanam berupa tanah yang akan digunakan untuk mengukur parameternya. Peralatan pendukung komputer, perangkat lunak analisis data *Spreadsheet*, wadah untuk sampel tanah, *aquades* dan larutan *buffer* pH. Tahapan penelitian pada Gambar 1.

Tahap pertama adalah merancang rangkaian sensor yang akan digunakan dalam penelitian. Ini mencakup pemilihan komponen dan pengaturan konfigurasi sensor untuk mengumpulkan data yang diinginkan. Setelah desain rangkaian selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan pengkodean atau pemrograman pada masing-masing sistem sensor agar dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan penelitian. Data awal yang dihasilkan oleh sensor dikumpulkan dan disimpan pada *spreadsheet* untuk memudahkan analisis lebih lanjut. Setelah data awal terkumpul, langkah berikutnya adalah menentukan formula atau fungsi linieritas dari sensor. Formula ini digunakan untuk mengkalibrasi sensor agar menghasilkan data yang akurat dan linier. Setelah formula linearitas ditentukan, formula tersebut diterapkan pada masing-masing sistem sensor untuk memastikan data yang dikumpulkan sesuai dengan harapan. Data

dikumpulkan kembali setelah kalibrasi dilakukan. Hal ini penting untuk melihat apakah kalibrasi berhasil meningkatkan akurasi sensor. Menghitung nilai presisi masing-masing sensor sebelum dan sesudah kalibrasi, presisi dari masing-masing sensor dihitung dan dibandingkan sebelum dan sesudah kalibrasi untuk memastikan peningkatan keandalan hasil pengukuran. Tahap terakhir adalah membandingkan deviasi atau perbedaan antara hasil pengukuran sebelum dan sesudah kalibrasi untuk mengevaluasi efektivitas kalibrasi yang telah dilakukan. Tahapan ini mencakup proses kalibrasi, pengumpulan data, dan evaluasi untuk memastikan sensor bekerja dengan akurasi dan presisi yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 1 Tahapan penelitian

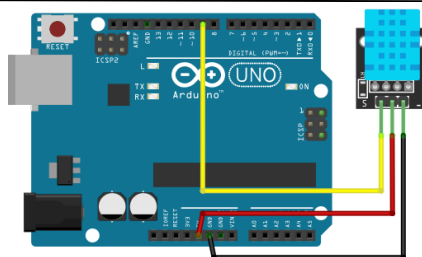
Kalibrasi juga dapat dilakukan pada jenis sensor lain seperti sensor cahaya *Light Dependent Resistor* (LDR) dengan kalibrator *net log* dan *lux meter* menghasilkan respon sensor yang lebih baik dari sebelum dikalibrasi [4]. Kalibrasi jenis sensor lain seperti MMA7361L juga menghasilkan nilai *error* yang lebih rendah setelah dilakukan kalibrasi [5], [6], [7]. Kalibrasi sensor ADXRS150 dan MMA7260Q menggunakan metode *Allan Variance* dan metode *Least Square* diperoleh parameter error faktor skala $x=0,4856$, faktor skala $y=0,4261$, faktor skala $z=0,6152$ [8]. Kalibrasi Laser Sensor dengan cara mengukur kerataan titip sisi *work holder* diperoleh error rata-rata pengukuran sekitar 4% [9]. Kalibrasi digital *pressure meter* sensor MPX5100DP diperoleh nilai *error* sebesar 0,25% [10]. Kalibrasi sensor tekanan MPX5500DP diperoleh persentase rata-rata *error* pembacaan tekanan terhadap alat kalibrasi sebesar 0,3 % [11].

2.1 Desain Eksperimen

Setiap sensor yang akan dikalibrasi diintegrasikan dengan mikrokontroler untuk mendapatkan *interfacing* data. Sensor yang digunakan terdiri dari sensor digital dan analog, sensor DHT11 adalah salah satu jenis sensor digital, sensor ini memiliki *output* data berupa data digital sehingga pembacaan datanya oleh mikrokontroler dalam bentuk digital. Sensor pH dan sensor kelembaban tanah adalah jenis sensor analog, sehingga pembacaan datanya oleh mikrokontroler menggunakan *Analog to digital (ADC)*. ADC yang terdapat pada *board* Arduino Uno memiliki lebar *bit* 10 terdapat enam ADC sehingga masing-masing ADC akan menghasilkan data desimal dengan rentang 0 sampai dengan 1023. Data inilah yang akan dikonversi dalam bentuk nilai kelembaban dan pH. Berikut desain masing-masing sensor pada mikrokontroler dalam proses kalibrasi.

2.1.1 Desain Rangkaian sensor DHT11 pada Arduino

Power supply sensor DHT11 sebesar 5 volt, data *output* suhu dan kelembaban udara melalui pin sembilan. Data suhu dan kelembaban udara dikirim oleh sensor menuju Arduino secara serial secara bergantian. Desain rangkaian sensor DHT11 pada Arduino pada Gambar 2. Data ini dapat bertipe data bilangan bulat (*integer*) atau bilangan pecahan (*float*). Pada penelitian ini menggunakan tipe data *float*.



Gambar 2 DHT11 pada Arduino

Variable untuk menampung data suhu dan kelembaban udara dalam setiap pembacaan data bertipe data *float*. Berikut potongan kode programnya:

```
float suhu, kelembaban;
float data = dht11.read(suhu, kelembaban);
```

Data suhu dan kelembaban udara ditampilkan pada serial monitor Arduino *Sketch*. Untuk memperoleh suhu dan kelembaban udara dari sensor DHT11 dan kalibrator (HTC-1), sensor dan kalibrator didekatkan dengan pemanas agar memperoleh data suhu rendah ke suhu tinggi maksimum kemudian mencatat data tersebut menggunakan *Spreadsheet*. Data yang diperoleh kemudian di-*convert* dalam bentuk grafik dengan *setting* menampilkan bilah *error* jenis deviasi (deviasi) dan label formula linieritas. Formula ini kemudian digunakan untuk proses kalibrasi, kemudian menghitung ulang deviasinya untuk memperoleh nilai kenaikan presisi. Kalibrasi sensor MAX31855 berbasis Arduino dapat meningkatkan akurasi pengukuran menjadi 0,14 C [12]. Kalibrasi sistem pendingin *thermobath* diperoleh koefisien determinasi pada (R²) pada *pressure transmitter* adalah 0,9994 [13]

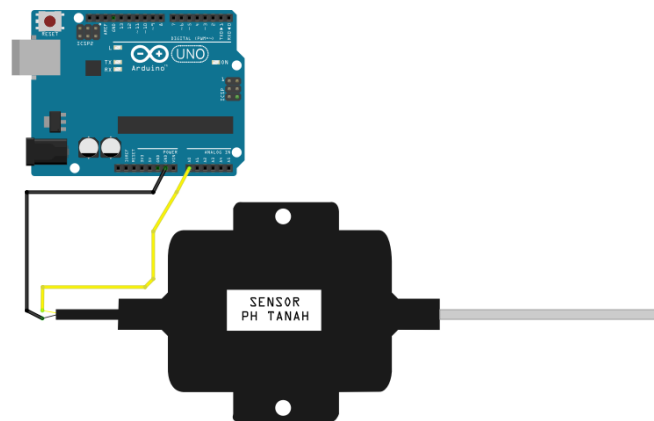
2.1.2 Desain Rangkaian Sensor pH Tanah pada Arduino

Sensor pH tanah hanya menggunakan dua kabel yang dirangkai pada Arduino, *ground* dan data yang juga sebagai *power supply* sensor. Data output dari sensor masih berupa data analog, sehingga kabel data dari sensor disambungkan pada pin ADC Arduino untuk di-*convert* ke dalam data digital yang merepresentasikan pH tanah. Desain rangkaian sensor pH Tanah pada Gambar 3.

Potential of Hydrogen (pH) adalah istilah yang menggambarkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu bahan. Rentang nilainya berkisar dari 0 sampai dengan 14. Nilai 0 sampai dengan 6 disebut asam, nilai 8 sampai dengan 14 disebut basa dan nilai 7 disebut netral. Data sensor pH dibaca menggunakan 10 bit ADC yang terdapat pada Arduino. Rentang data ADC secara normal antara 0 sampai dengan 1023. Namun pada penggunaan sensor pH tanah ini dibatasi dari 0 sampai dengan 100, berikut potongan kode programnya:

```
float outputValue1 = analogRead(sensorpH);
float outputValue2 = constrain(outputValue1, 0, 100);
float outputValue3 = (-0.0693*outputValue2)+7.3855;
```

Variabel *sensorpH* mewakili pin A0 Arduino sebagai jalur data sensor pH yang dibaca secara *analog*. Nilai *constrain(outputValue1, 0, 100);* adalah pembatasan nilai minimum dan maksimum sensor keluaran ADC menggunakan fungsi *constrain* dengan nilai minimum 0 dan nilai maksimum 100. Sedangkan nilai *(-0.0693*outputValue2)+7.3855;* adalah formula dan konstanta dari *datasheet* sensor. Data pH keluaran dari sensor ditampilkan pada Serial monitor Arduino *sketch*. Data pH kemudian disimpan pada *Spreadsheet*. Data yang diperoleh kemudian di-*convert* dalam bentuk grafik dengan *setting* menampilkan bilah *error* jenis deviasi (deviasi) dan label formula linieritas. Formula ini kemudian digunakan untuk proses kalibrasi, kemudian menghitung ulang deviasinya untuk memperoleh nilai kenaikan presisi.



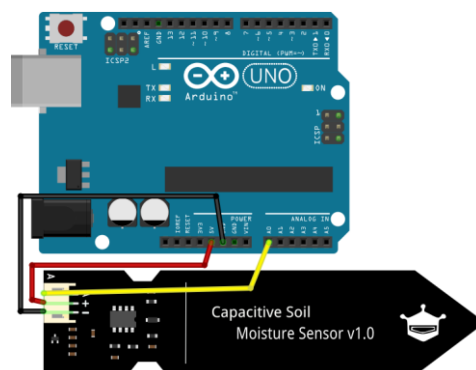
Gambar 3 Desain rangkaian sensor pH Tanah pada Arduino

2.1.3 Desain Rangkaian Kelembaban Tanah pada Arduino

Kelembaban tanah adalah tingkat kandungan kadar air dalam tanah dengan satuan persen (%). Sensor kelembaban tanah yang digunakan adalah jenis *capacitive*. Desain rangkaian sensor kelembaban tanah pada Gambar 4. Sensor ini memiliki kelebihan dibanding dengan jenis resistif dari segi ketahanan pada korosi dan kestabilan data. Seperti sensor pH tanah, sensor kelembaban tanah juga merupakan sensor analog sehingga pembacaan datanya masih menggunakan ADC [14]. Catu daya atau *power supply* sensor sebesar 5 volt. *Pin output* sensor dihubungkan pada A0 atau ada ADC 0 Arduino. Berikut potongan kode programnya.

```
float kelembaban = analogRead(pinKelem_tanah);
float kelembaban_tanah=constrain(kelembaban,200,700);
float hasil = (((kelembaban_tanah-200)/500)*100);
```

Nilai analog ADC dibatasi antara 200 sampai dengan 700, hal ini sesuai dengan nilai output sensor kelembaban tersebut. fungsi $((\text{kelembaban_tanah}-200)/500)*100$; untuk memperoleh nilai kelembaban tanah dari 0 % sampai dengan 100 %. Data kelembaban tanah dari sensor maupun dari kalibrator disimpan pada *Spreadsheet*. Data yang diperoleh kemudian di-*convert* dalam bentuk grafik dengan *setting* menampilkan bilah *error* jenis deviasi (deviasi) dan label formula linieritas. Formula ini kemudian digunakan untuk proses kalibrasi, kemudian menghitung ulang deviasinya. Kalibrasi sensor kelembaban tanah YL-96 juga menghasilkan pengukuran yang lebih baik dibanding dengan sebelum kalibrasi [15].



Gambar 4 Rangkaian Sensor Kelembaban Tanah Pada Arduino

Formula deviasi yang dapat digunakan pada setiap data sensor yang diperoleh adalah seperti formula (1).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (1)$$

σ adalah deviasi, X_i adalah data ke i , \bar{X} adalah rata-rata data nilai sensor dan n adalah banyaknya data sensor. Deviasi menunjukkan nilai sebaran data, semakin kecil nilai deviasi dapat diartikan bahwa presisi pengukuran semakin tinggi [16]. Nilai presisi sensor dapat menggunakan formula (2).

$$\text{presisi} = \frac{1}{\sigma} \quad (2)$$

Nilai presisi diukur dari satu dibagi dengan deviasi sebelum kalibrasi dan setelah kalibrasi [17]. Formula *linear regression* diperoleh dari hasil kalibrasi masing-masing sensor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

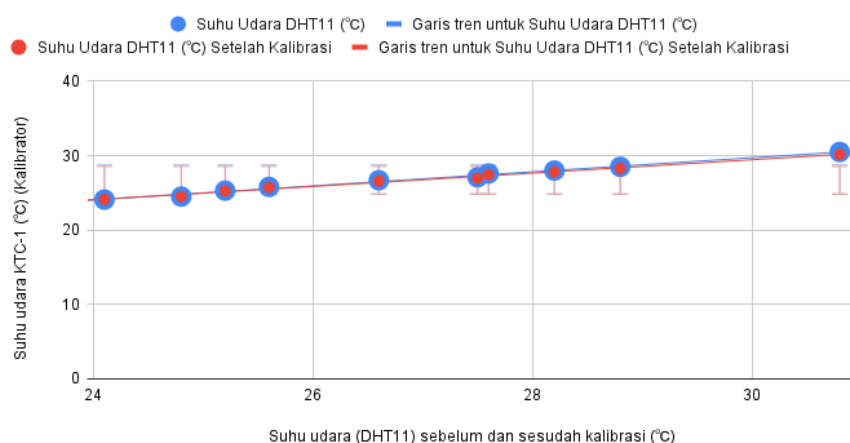
Data hasil kalibrasi dimasukkan pada *Spreadsheet* dan ditampilkan dalam bentuk grafik. *Spreadsheet* di-*setting* untuk menghasilkan diagram sebar sumbu (x,y) dengan menampilkan garis tren. Sumbu x untuk nilai sensor yang dikalibrasi dan sumbu y untuk kalibrator. Grafik di-*setting* untuk menampilkan bilah *error* jenis deviasi dan label formula linearitasnya. Setelah formula linieritasnya diperoleh maka formula tersebut dimasukkan ke dalam kode program masing-masing sensor. Setelah itu kembali mencatat nilai output sensor setelah dikalibrasi dan menampilkan kembali pada grafik yang sama pada *Spreadsheet*.

3.1 Hasil kalibrasi sensor DHT11 (suhu udara)

Gambar 5 adalah grafik yang hasil kalibrasi sensor DHT11 (suhu udara) dengan suhu referensi dari kalibrator (KTC-1). Grafik tersebut memiliki dua *set* data, suhu udara DHT11 sebelum kalibrasi diwakili oleh titik biru dan suhu udara DHT11 setelah kalibrasi diwakili oleh titik merah. Kedua *set* data tersebut dihubungkan dengan garis tren, yang juga menunjukkan perbedaan sebelum dan sesudah kalibrasi. Serebelum Kalibrasi titik-titik biru (suhu udara DHT11) menunjukkan pengukuran suhu sebelum kalibrasi. Pada titik ini, terlihat adanya variasi yang cukup besar dengan deviasi yang lebih besar (dilambangkan dengan *error* bar yang lebih panjang). Ini menunjukkan bahwa sebelum kalibrasi, pengukuran sensor DHT11 kurang akurat dan memiliki deviasi yang lebih tinggi dari suhu acuan kalibrator.

```
float suhu, kelembaban;
float data = dht11.read(suhu, kelembaban);
float data_kalibrasi = (0,946*suhu)+ 1,33;
```

Formula `float data_kalibrasi = (0,946*data)+ 1,33;` adalah formula yang diperoleh dari *Spreadsheet* dengan *setting* label menggunakan persamaan.



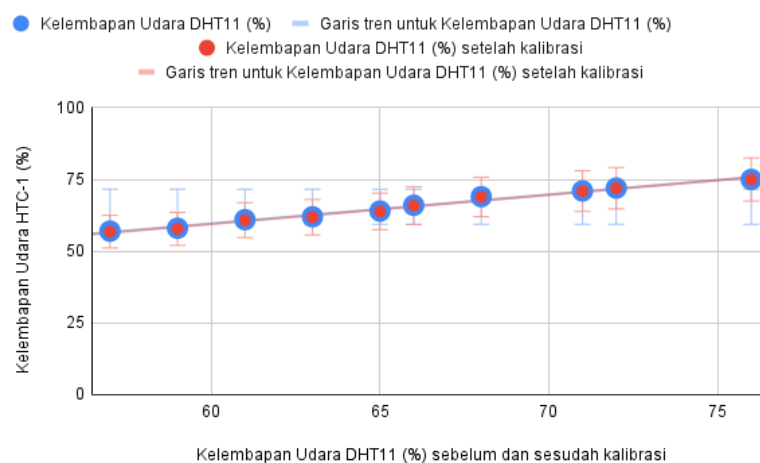
Gambar 5 Grafik hasil kalibrasi sensor DHT11 (suhu)

Sesudah Kalibrasi titik-titik merah menunjukkan pengukuran setelah kalibrasi. Deviasi (*error* bar) pada titik-titik ini lebih kecil dibandingkan dengan titik-titik sebelum kalibrasi. Ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan kalibrasi, presisi pengukuran sensor DHT11 meningkat dengan deviasi yang lebih kecil dari suhu acuan kalibrator, sehingga *error* dalam pengukuran

lebih terkendali. Garis tren biru untuk sebelum kalibrasi dan garis tren merah untuk setelah kalibrasi menunjukkan bahwa data setelah kalibrasi lebih sesuai atau lebih dekat dengan suhu kalibrator. Ini mengindikasikan bahwa kalibrasi berhasil meningkatkan presisi sensor. deviasi yang semakin kecil setelah kalibrasi menandakan bahwa hasil kalibrasi ini meningkatkan presisi sensor DHT11 dalam mengukur suhu udara. *Error bar* yang mengecil menunjukkan bahwa variasi hasil pengukuran berkurang, dan pengukuran sensor DHT11 semakin konsisten serta mendekati nilai suhu referensi.

3.2 Hasil kalibrasi sensor DHT11 (kelembaban udara)

Gambar 6 adalah grafik hasil kalibrasi sensor kelembaban udara DHT11 dibandingkan dengan kelembaban udara acuan dari kalibrator HTC1. Grafik ini memuat dua *set* data kelembaban udara yang diukur oleh sensor DHT11 sebelum dan sesudah kalibrasi. Analisis detailnya menunjukkan bahwa sensor kelembaban sebelum kalibrasi (titik biru) dimana setiap titik diikuti oleh *error bar* yang mencerminkan deviasi pengukuran. deviasi ini cukup besar di beberapa titik, yang menunjukkan adanya variasi yang signifikan antara pengukuran yang dilakukan oleh sensor DHT11 dengan nilai acuan kalibrator HTC-1. Pada kelembaban rendah dan tinggi (sekitar 60% dan 75%), *error bar* terlihat lebih panjang, menandakan bahwa deviasi sebelum kalibrasi cukup besar dan presisi pengukuran belum baik. Sensor kelembaban setelah kalibrasi (titik merah) pengukuran setelah kalibrasi ditunjukkan oleh titik merah. deviasi atau *error bar* pada titik-titik merah lebih kecil dibandingkan sebelum kalibrasi, yang menandakan peningkatan konsistensi dan presisi hasil pengukuran. Data lebih mendekati nilai kalibrator setelah kalibrasi, dan deviasi menjadi semakin kecil. Penurunan panjang *error bar* setelah kalibrasi memperlihatkan perbaikan presisi sensor DHT11. Titik-titik merah juga mengikuti garis tren yang lebih konsisten dengan kalibrator dibandingkan titik-titik biru.



Gambar 6 Grafik hasil kalibrasi sensor DHT11 (kelembaban)

```
float suhu, kelembaban;
float data = dht11.read(suhu, kelembaban);
float data_kalibrasi1 = (0,0146*kelembaban) - 0,779;
```

Formula $\text{float data_kalibrasi1} = (0,0146 * \text{kelembaban}) - 0,779$; adalah formula yang diperoleh dari *Spreadsheet* dengan *setting* label gunakan persamaan. Garis tren biru mewakili hasil pengukuran sebelum kalibrasi, sementara garis tren merah menunjukkan hasil setelah kalibrasi. Garis tren merah mendekati garis ideal dari kalibrator, menunjukkan bahwa pengukuran kelembaban udara DHT11 setelah kalibrasi lebih akurat. Setelah kalibrasi, nilai deviasi semakin mengecil (terlihat dari *error bar* yang lebih pendek pada titik merah), yang menunjukkan bahwa sensor DHT11 menjadi lebih akurat dalam mengukur kelembaban udara. Kalibrasi ini mengurangi variasi pengukuran, memperbaiki kesesuaian antara hasil pengukuran

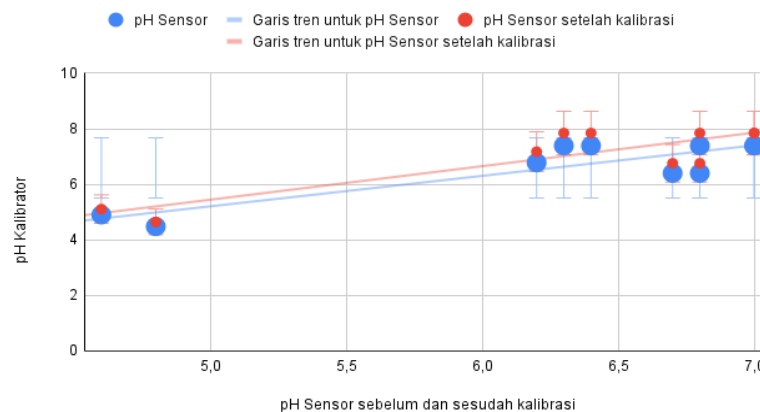
sensor dengan nilai referensi kalibrator. Hasilnya, pengukuran kelembaban oleh sensor DHT11 setelah kalibrasi menjadi lebih tepat dan konsisten, yang menandakan peningkatan presisi pengukuran kelembaban udara.

3.3 Hasil kalibrasi sensor pH tanah

Gambar 7 adalah grafik yang hasil kalibrasi sensor pH tanah, membandingkan pengukuran sebelum dan sesudah kalibrasi dengan nilai pH referensi dari kalibrator. Ada dua set data utama, *set* pH sensor sebelum kalibrasi (ditunjukkan oleh titik biru) dan *set* pH sensor setelah kalibrasi (ditunjukkan oleh titik merah). Setiap data dilengkapi dengan *error bar*, yang mewakili deviasi atau deviasi dari pengukuran, dan dua garis tren yang menunjukkan kecenderungan data sebelum dan sesudah kalibrasi. Analisis detail menunjukkan bahwa sebelum kalibrasi titik-titik biru menunjukkan pengukuran pH tanah sebelum kalibrasi. deviasi (*error bar*) di titik-titik ini relatif lebih besar, terutama pada nilai pH yang lebih rendah (sekitar 5.0 hingga 6.0). Hal ini menunjukkan bahwa sebelum kalibrasi, pengukuran sensor pH tanah kurang akurat, dan terdapat variasi yang lebih besar dalam hasil pengukuran dibandingkan dengan pH acuan dari kalibrator. Berikut implementasi formula linearitas pada kode program.

```
float kelembaban = analogRead(pinKelem_tanah);
float kelembaban_tanah=constrain(kelembaban,200,700);
float hasil = (((kelembaban_tanah-200)/500)*100);
float hasil_ph = (1.1*hasil) + 0.282;
```

Formula $\text{float hasil_ph} = (1.1 \cdot \text{hasil}) + 0.282$; adalah formula yang diperoleh dari *Spreadsheet* dengan *setting* label gunakan persamaan.



Gambar 7 Grafik hasil kalibrasi sensor pH tanah

Sesudah kalibrasi titik-titik merah menunjukkan pengukuran setelah kalibrasi. *Error bar* pada titik-titik merah terlihat lebih pendek dibandingkan dengan titik-titik biru, terutama di daerah pH yang lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa setelah kalibrasi, deviasi berkurang, menandakan peningkatan presisi pengukuran sensor pH tanah. Data setelah kalibrasi lebih konsisten dan mendekati nilai acuan dari kalibrator. Garis tren biru untuk data sebelum kalibrasi memiliki sedikit perbedaan kemiringan dibandingkan dengan garis tren merah setelah kalibrasi. Garis tren merah lebih dekat dengan pH kalibrator, yang menunjukkan bahwa kalibrasi berhasil meningkatkan keakuratan pengukuran sensor pH tanah. Deviasi yang semakin kecil setelah kalibrasi menunjukkan bahwa sensor pH tanah menjadi lebih akurat setelah proses kalibrasi. *Error bar* yang mengecil mengindikasikan variasi pengukuran yang lebih rendah, yang berarti sensor menghasilkan pengukuran yang lebih konsisten dan lebih mendekati nilai acuan kalibrator. Proses kalibrasi ini dengan jelas memperbaiki ketepatan sensor dalam mengukur pH tanah.

3.3 Hasil kalibrasi sensor Kelembaban tanah

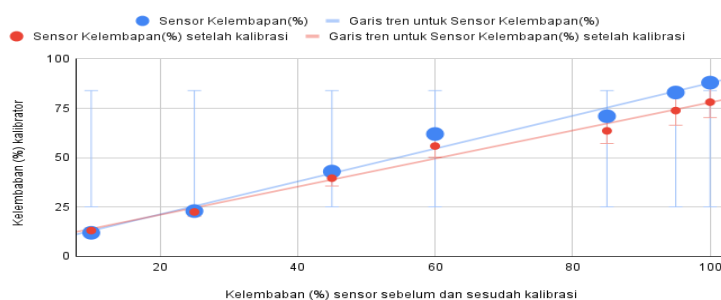
Gambar 8 adalah grafik hasil kalibrasi sensor kelembaban tanah, dengan dua *set* data yang menggambarkan kelembaban yang diukur sebelum dan sesudah kalibrasi, dibandingkan dengan

kelembaban acuan dari kalibrator. Analisis detail kalibrasi sensor kelembaban tanah bahwa sensor kelembaban sebelum kalibrasi (titik biru) menunjukkan pengukuran kelembaban oleh sensor sebelum kalibrasi. *Error bar* pada titik-titik biru terlihat cukup besar, terutama pada kelembaban rendah dan tinggi. Deviasi yang besar ini menunjukkan bahwa sebelum kalibrasi, pengukuran sensor kelembaban kurang akurat, dan variasi pengukuran sangat besar, terutama di kelembaban sekitar 40% hingga 80%. Setelah Kalibrasi (titik merah) titik-titik merah mewakili pengukuran setelah kalibrasi. deviasi atau *error bar* pada titik-titik merah terlihat lebih kecil dibandingkan dengan yang biru, terutama pada kelembaban tinggi. Ini menunjukkan peningkatan presisi setelah kalibrasi, di mana variasi pengukuran berkurang dan hasil pengukuran lebih konsisten serta lebih mendekati nilai kalibrator. Berikut implementasi formula linearitas pada kode program.

```
float kelembaban = analogRead(pinKelem_tanah);
float kelembaban_tanah=constrain(kelembaban,200,700);
float hasil = (((kelembaban_tanah-200)/500)*100);
float hasil_kalibrasi = 0,831*hasil + 4,71;
```

Formula $\text{float hasil_kalibrasi} = 0,831 \cdot \text{hasil} + 4,71$; adalah formula yang diperoleh dari *Spreadsheet* dengan *setting* label gunakan persamaan.

Garis tren biru (sebelum kalibrasi) dan garis tren merah (setelah kalibrasi) menggambarkan kecenderungan pengukuran sensor. Setelah kalibrasi, garis tren merah lebih dekat dengan garis ideal dari kalibrator, yang menunjukkan peningkatan kesesuaian antara hasil pengukuran sensor dan nilai acuan. Deviasi yang mengecil setelah kalibrasi (ditunjukkan oleh *error bar* yang lebih kecil pada titik merah) menunjukkan bahwa proses kalibrasi meningkatkan presisi sensor kelembaban tanah.



Gambar 8 Grafik hasil kalibrasi sensor kelembaban tanah

Sebelum kalibrasi, hasil pengukuran sensor memiliki variasi yang lebih besar, sedangkan setelah kalibrasi, pengukuran menjadi lebih stabil dan konsisten. Ini menunjukkan bahwa kalibrasi berhasil memperbaiki performa sensor dalam mengukur kelembaban tanah dengan lebih tepat sesuai dengan nilai acuan kalibrator. Nilai presisi sensor DHT11 sebelum kalibrasi sebesar 0,53 dan setelah kalibrasi sebesar 0,56. Terdapat peningkatan presisi yang cukup setelah kalibrasi pada sensor DHT11. Nilai presisi sensor kelembaban tanah sebelum kalibrasi sebesar 0,03 dan setelah kalibrasi sebesar 0,04. Kalibrasi memberikan peningkatan presisi yang lebih besar, menunjukkan perbaikan yang jelas dalam performa sensor.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses kalibrasi memberikan dampak yang positif terhadap akurasi dan konsistensi pengukuran dari berbagai sensor yang diuji. Sensor DHT11 (suhu dan kelembaban udara) setelah kalibrasi, terjadi penurunan signifikan dalam simpangan baku, menunjukkan peningkatan akurasi dan konsistensi dalam pengukuran suhu dan kelembaban udara. Garis tren yang lebih dekat dengan nilai acuan memperlihatkan keberhasilan kalibrasi dalam mengurangi deviasi. Sensor kelembaban tanah walaupun akurasi sensor ini sudah cukup baik sebelum kalibrasi, proses kalibrasi memberikan sedikit peningkatan akurasi dengan pengurangan simpangan baku, terutama pada kelembaban yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan kalibrasi bermanfaat untuk menjaga stabilitas pengukuran. Kalibrasi sensor pH tanah berhasil

menurunkan simpangan baku dan meningkatkan akurasi pengukuran pH tanah. Hasil kalibrasi menghasilkan pengukuran yang lebih konsisten dengan nilai acuan yang lebih stabil. Masing-masing formula linearitas masing-masing sensornya $\text{float data_kalibrasi} = (0,946 \times \text{suhu}) + 1,33$; $\text{float data_kalibrasi1} = (0,0146 \times \text{kelembaban}) - 0,779$; $\text{float hasil_ph} = (1.1 \times \text{hasil}) + 0.282$; $\text{float hasil_kalibrasi} = 0,831 \times \text{hasil} + 4,71$; Nilai presisi DHT11 meningkat dari 0,53 menjadi 0,56 dan sensor kelembaban tanah dari 0,03 menjadi 0,04. Secara keseluruhan, kalibrasi menggunakan *linear regression* meningkatkan performa semua sensor dengan mengurangi variasi pengukuran serta meningkatkan presisi terhadap nilai referensi.

5. SARAN

Penelitian dapat dilanjutkan dengan menggunakan metode kalibrasi yang lain agar mengetahui metode kalibrasi yang terbaik dalam meningkatkan nilai presisi pengukuran dari sensor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada IoT Center Darmajaya atas fasilitas yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. C. Agustinur, M. Yantidewi, and U. A. Deta, "Kalibrasi Sensor MS1100-P111 sebagai Detektor Gas Formaldehid (HCHO) dan Sensor DHT22 untuk Mendeteksi Kelembaban Relatif dan Temperatur," 2024.
- [2] A. V. Rachmawati and M. Yantidewi, "BME280 Sensor Calibration Analysis with Linear Regression Approach for Temperature, Relative Humidity and Dew Point Measurements," 2024.
- [3] T. R. Putra, A. Triwiyatno, and H. Afrisal, "PERANCANGAN SENSOR, AKTUATOR DAN AKUISISI DATA PADA PROTOTYPE SMART GREENHOUSE UNTUK PERTUMBUHAN TANAMAN SAWI," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 266–274, Mar. 2021, doi: 10.14710/transient.v10i1.266-274.
- [4] E. K. Pramartaningthyas and E. Endarko, "Kajian Karakteristik Alat Ukur dan Sensor Standar pada Proses Kalibrasi Data Sensor Cahaya," *J. Fis. Dan Apl.*, vol. 8, no. 2, p. 120206, Jun. 2012, doi: 10.12962/j24604682.v8i2.870.
- [5] J. Sudharto, "KALIBRASI SENSOR MULTIGAIN AKSELEROMETER DENGAN ACUAN PERCEPATAN GRAVITASI BUMI," 2015.
- [6] A. Susanto, W. Widada, and S. P. Hadi, "METODE KALIBRASI SENSOR RATE-GYROSCOPE UNTUK IMU ROKET [CALIBRATION METHOD OF RATE-GYROSCOPE SENSOR FOR IMU ROCKET]," vol. 10, no. 2, 2012.
- [7] W. Widada, "PERHITUNGAN FAKTOR KALIBRASI SENSOR AKSELEROMETER MMA7361L PADA KETIGA SUMBU DENGAN MENGGUNAKAN SIMULATOR ST-3176-TC-10," 2016.
- [8] R. T. Prasetyo and B. Setiyono, "KARAKTERISTIK DAN KALIBRASI UNTUK SENSOR INERTIAL MEASUREMENT UNIT," 2014.
- [9] B. Sugandi and S. Wiyono, "Purwarupa Alat Kalibrasi Kerataan Bidang Kerja menggunakan Laser Sensor," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 6, no. 2, p. 274, Jul. 2018, doi: 10.26760/elkomika.v6i2.274.
- [10] L. Riyan Hapipi, M. Arief Hidayat, and R. Dwi Anggraynie, "RANCANG BANGUN ALAT KALIBRASI DIGITAL PRESSURE METER MENGGUNAKAN ARDUINO UNO," *Med. TRADA*, vol. 2, no. 1, Apr. 2022, doi: 10.59485/jtemp.v2i1.12.
- [11] A. S. Nugroho, V. V. Viridianti, and A. Azi, "RANCANG BANGUN ALAT KALIBRASI SPHYGMOMANOMETER," *J. Ilmu Dan Teknol. Kesehat.*, vol. 12, no. 2, Jul. 2021, doi: 10.33666/jitk.v12i2.410.
- [12] R. Septiana, Deosa P. Caniago, and Harun Kurniawan, "Evaluasi dan Kalibrasi Data

-
- Akuisisi Temperatur Berbasis Arduino dan MAX31855,” *J. Elektron. Dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 621–627, Jul. 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5250.
- [13] Y. Wishnu Pandu Prayudha, S. Fadhil, and S. Novianto, “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Alat Thermobath sebagai Alat Kalibrasi Temperatur dengan Sistem Arduino Uno,” *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, pp. 25–34, Jan. 2022, doi: 10.35814/asimetrik.v4i1.2541.
- [14] D. Y. Setyawan, L. Rosmalia, and M. G. Setiawati, “Analisis Perbandingan dan Karakterisasi Sensor Kelembaban Tanah Jenis Kapasitif dengan Jenis Resistif pada Objek Penginderaan yang Sama,” vol. 18, no. 1.
- [15] A. B. S. Umbu, “KALIBRASI SENSOR KELEMBABAN TANAH YL-69 UNTUK SISTEM PENGUKURAN KELEMBABAN TANAH BERBASIS ARDUINO UNO,” *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 1, pp. 62–71, Jun. 2023, doi: 10.37478/optika.v7i1.2691.
- [16] D. Y. Setyawan, D. Yulawati, W. Warsito, and W. Warsono, “Calibration of Geomagnetic and Soil Temperatur Sensor for Earthquake Early Warning System,” *TELKOMNIKA Telecommun. Comput. Electron. Control*, vol. 16, no. 5, p. 2239, Oct. 2018, doi: 10.12928/telkomnika.v16i5.7592.
- [17] D. Y. Setyawan, W. Warsito, R. Marjunus, and S. Sumaryo, “A Novel Controlling System for Smart Farming-based Internet of Things (IoT),” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 15, no. 5, 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150563.