



## **Kalibrasi Sensor Monitoring Cuaca pada Area Lokal untuk Meningkatkan Akurasi pada Sensor Biaya Rendah**

**Sugeng<sup>1\*</sup>, Taufiq Nuzwir Nizar<sup>2</sup>, Didit Andri Jatmiko<sup>3</sup>, Rodi Hartono<sup>4</sup>, Yusrila Yeka Kerlooza<sup>5</sup>**

<sup>1,2)</sup> Program Studi Sistem Komputer, Universitas Komputer Indonesia

<sup>3)</sup> Program Studi Teknik Informatika, Universitas Komputer Indonesia

<sup>4)</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Komputer Indonesia

<sup>5)</sup> Program Studi Magister Sistem Informasi, Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipati Ukur No. 102 – 116, Bandung, Indonesia 40132

\*email: sugeng@email.unikom.ac.id

(Naskah masuk: 30 Agustus 2024; diterima untuk diterbitkan: 29 Oktober 2024)

**ABSTRAK** – Data monitoring cuaca saat ini dapat dilihat melalui aplikasi pada perangkat android maupun dekstop secara realtime yang disediakan oleh BMKG. Data diperoleh melalui sensor yang terpasang pada area tertentu maupun melalui monitoring disatu wilayah. Berbeda dengan sensor BMKG yang terpasang hanya pada daerah atau area yang tidak banyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan meningkatkan akurasi sensor yang digunakan dalam sistem monitoring cuaca di daerah tropis. Kalibrasi sensor dilakukan menggunakan metode standar berbasis regresi linier serta penyesuaian khusus untuk kondisi lokal. Sensor yang dikalibrasi adalah sensor suhu, kelembapan serta sensor kecepatan angin. Setiap sensor diuji pada kondisi yang mewakili kondisi lingkungan sebenarnya bersamaan dengan sensor pembanding untuk dilakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data mulai dari range terendah pembacaan sensor sampai range tertentu sesuai kemampuan sensor maupun alat pengujian. Data hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan alat pengukur atau pembanding dan dilakukan analisa menggunakan regresi linier untuk melihat sebaran data sensor terhadap data sensor sesungguhnya. Hasil kalibrasi menghaikan persamaan yang dapat digunakan untuk menyesuaikan sensor yang digunakan sesuai dengan sensor yang sebenarnya. Semua sensor kemudian dipasang dan diuji selama beberapa hari untuk melihat hasil kalibrasi sensor. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan akurasi setelah kalibrasi dan memberikan rekomendasi untuk penggunaan di lapangan.

**Kata Kunci** – Kalibrasi Sensor; Sensor Cuaca; BMKG; Regresi Linier

## **Calibration of Weather Monitoring Sensors in Local Areas to Improve Accuracy in Low-Cost Sensors**

**ABSTRACT** – Current weather monitoring data can be accessed through real-time applications on Android devices and desktops provided by BMKG. The data is obtained from sensors installed in specific areas or through monitoring in a region. In contrast to BMKG's sensors, which are installed only in limited areas, this study aims to evaluate and improve the accuracy of sensors used in weather monitoring systems in tropical regions. Sensor calibration is performed using a standard method based on linear regression, along with adjustments for local conditions. The calibrated sensors include temperature, humidity, and wind speed sensors. Each sensor is tested under conditions that represent the actual environment, alongside reference sensors for calibration purposes. Calibration involves collecting data from the lowest sensor reading range up to a certain range based on the capabilities of the sensors and testing equipment. The sensor reading data is then compared with reference measuring devices, and linear regression analysis is conducted to assess the distribution of sensor data against actual data. The calibration results yield equations that can be used to adjust the sensors in accordance with actual measurements. All sensors are subsequently installed and tested over several days to evaluate the calibration results.

**Keywords** – Sensor Calibration; Weather Sensor; BMKG; Linear Regression

## 1. PENDAHULUAN

Pemantauan kondisi cuaca merupakan aspek krusial dalam berbagai sektor, mulai dari pertanian, perencanaan tata kota, hingga mitigasi bencana alam. Di Indonesia, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) bertanggung jawab atas penyediaan data cuaca dengan cakupan yang luas, mencakup wilayah yang sangat beragam. Namun, karena cakupan area yang luas tersebut, data yang disajikan oleh BMKG seringkali kurang spesifik dan tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi cuaca di tingkat lokal yang lebih sempit.[1]

Untuk menjawab tantangan ini, teknologi sensor yang lebih murah dan terjangkau mulai banyak dimanfaatkan sebagai solusi alternatif dalam pemantauan cuaca lokal. Dengan memanfaatkan sensor-sensor ini, pemantauan cuaca dapat dilakukan secara lebih spesifik pada area yang lebih kecil, seperti desa atau kecamatan, yang mungkin tidak terjangkau oleh sistem BMKG.[2]

Penggunaan sensor yang lebih murah dan dipasang secara lokal di berbagai area ini menawarkan beberapa keuntungan. Pertama, instalasi sensor yang tersebar di banyak lokasi memungkinkan pengumpulan data cuaca yang lebih rinci dan akurat, sesuai dengan karakteristik iklim setempat. Kedua, biaya yang lebih rendah memungkinkan penyebaran sensor dalam jumlah yang lebih besar, sehingga cakupan wilayah yang dipantau dapat diperluas tanpa memerlukan investasi besar.[3]

Lebih lanjut, dengan perkembangan teknologi Internet of Things (IoT), sensor-sensor ini dapat diintegrasikan ke dalam jaringan yang memungkinkan pengumpulan data secara real-time. Hal ini tidak hanya meningkatkan ketepatan prediksi cuaca lokal tetapi juga memberikan manfaat besar dalam hal peringatan dini bencana, pengelolaan sumber daya air, serta perencanaan aktivitas masyarakat yang lebih baik berdasarkan kondisi cuaca terkini.[4], [5]

Namun demikian, tantangan utama dalam penggunaan sensor murah ini adalah akurasi dan keandalannya. Karena sensor-sensor ini umumnya memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan peralatan profesional yang digunakan oleh BMKG, kalibrasi yang tepat dan pemeliharaan berkala sangat diperlukan untuk memastikan data yang dihasilkan dapat diandalkan.[3], [6]

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan kalibrasi sistem sensor murah untuk pemantauan cuaca yaitu sensor suhu dan kelembapan DHT22 serta sensor kecepatan angin. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan akurasi pemantauan cuaca dengan memanfaatkan teknologi sensor murah, serta mengevaluasi efektivitasnya dalam menyediakan data cuaca yang lebih spesifik

dibandingkan dengan data yang diberikan oleh BMKG.

## 2. METODA DAN BAHAN

Bagian ini membahas terkait metoda yang digunakan dalam penelitian beserta dengan landasan teori yang mendasari penelitian.

### Sensor Cuaca

Sensor cuaca adalah perangkat yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter atmosfer yang penting untuk memantau kondisi cuaca. Sensor-sensor ini umumnya digunakan untuk mengukur suhu, kelembapan, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, curah hujan, serta radiasi matahari. Data yang dihasilkan oleh sensor cuaca digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk prediksi cuaca, penelitian iklim, dan pemantauan lingkungan.[7], [8]

Sensor cuaca terdiri dari berbagai jenis yang masing-masing memiliki fungsi khusus[9]:

- Termometer:** Mengukur suhu udara. Terdapat berbagai jenis termometer, termasuk termistor dan termokopel, yang sering digunakan dalam sensor cuaca modern.
- Higrometer:** Mengukur kelembapan udara. Jenis yang umum digunakan adalah kapasitif, resistif, dan psikrometer.
- Barometer:** Mengukur tekanan udara. Sensor barometrik modern sering kali menggunakan teknologi piezoelektrik atau kapasitif.
- Anemometer:** Mengukur kecepatan dan arah angin. Jenis yang umum digunakan adalah anemometer cangkir dan anemometer ultrasonik.
- Pluviometer (Rain Gauge):** Mengukur curah hujan. Sensor ini bisa berbentuk tipping bucket, weighing gauge, atau disdrometer.
- Pyranometer:** Mengukur radiasi matahari. Digunakan untuk mengukur intensitas sinar matahari dan energi yang diterima di permukaan bumi.

### Kalibrasi dan Keakuratan Sensor

Akurasi sensor cuaca sangat penting untuk memastikan keandalan data yang dikumpulkan. Kalibrasi adalah proses penting yang memastikan bahwa sensor memberikan pembacaan yang tepat sesuai dengan standar referensi. Sensor harus dikalibrasi secara berkala untuk mengatasi drift atau perubahan karakteristik sensor seiring waktu. Prosedur kalibrasi ini biasanya dilakukan di laboratorium menggunakan peralatan kalibrasi standar atau melalui pembandingan langsung di lapangan dengan alat yang telah dikalibrasi sebelumnya.[2], [6]

### Regresi Linier

Regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara dua variabel, di mana satu variabel adalah variabel independen (prediktor) dan yang lainnya adalah variabel dependen (respon). Tujuan utama regresi linier adalah untuk memodelkan hubungan linier antara variabel-variabel ini, sehingga kita dapat memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen.[10], [11], [12]

Dalam regresi linier, kita mencoba menemukan garis lurus yang paling sesuai dengan data yang dimiliki[13]. Garis ini disebut **garis regresi** dan dirumuskan sebagai:

$$y = mx + c \quad (1)$$

Di mana:

- y adalah variabel dependen yang ingin diprediksi.
- x adalah variabel independen.
- m adalah **kemiringan** (slope) garis regresi, yang menunjukkan seberapa banyak y berubah untuk setiap unit perubahan pada x.
- c adalah **intersep** (intercept), yaitu nilai y ketika x sama dengan nol.

Untuk satu variabel independen, persamaan regresi linier sederhana dapat ditulis sebagai:

$$y = b_0 + b_1x \quad (2)$$

Di mana:

- b<sub>0</sub> adalah intersep (c), yaitu nilai y saat x=0
- b<sub>1</sub> adalah kemiringan (m) dari garis regresi, yang menunjukkan tingkat perubahan y dengan perubahan x.
- 

Koefisien b<sub>0</sub> dan b<sub>1</sub> dapat dihitung menggunakan rumus:

$$b_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

$$b_0 = \frac{\sum y - b_1 \sum x}{n} \quad (4)$$

Di mana:

- n adalah jumlah pasangan data.
- $\sum xy$  adalah jumlah dari perkalian x dan y untuk semua data.
- $\sum x$  adalah jumlah dari semua nilai x.
- $\sum y$  adalah jumlah dari semua nilai y.
- $\sum x^2$  adalah jumlah dari kuadrat semua nilai x.

Regresi linier digunakan dalam berbagai bidang untuk memprediksi nilai suatu variabel, menganalisis tren, atau menentukan kekuatan hubungan antara dua variabel. Model ini sangat berguna untuk membuat prediksi berdasarkan data

historis atau untuk memahami hubungan antara variabel dalam konteks yang diberikan[11].

### Integrasi Sensor dalam Sistem Pemantauan Cuaca

Dalam sistem pemantauan cuaca modern, sensor-sensor ini diintegrasikan ke dalam stasiun cuaca otomatis (Automatic Weather Station, AWS) yang mengumpulkan data secara terus menerus. Data tersebut kemudian dikirimkan ke pusat data untuk analisis lebih lanjut. Teknologi IoT (*Internet of Things*) memungkinkan sensor-sensor cuaca ini terhubung dalam jaringan yang lebih luas, meningkatkan kemampuan pemantauan cuaca di berbagai lokasi secara *real-time*[13].

### Tantangan dalam Penggunaan Sensor Murah

Sensor cuaca murah menawarkan solusi yang terjangkau untuk pemantauan lokal. Namun, tantangan utama dalam penggunaannya adalah akurasi dan keandalan data, terutama di lingkungan yang keras. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk meningkatkan performa sensor murah melalui metode kalibrasi yang lebih baik dan penggunaan material yang lebih tahan lama.[6], [14]

### Sensor DHT11

DHT22 adalah sensor digital populer yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan. Sensor ini sering diaplikasikan dalam berbagai proyek, termasuk pemantauan cuaca, kontrol lingkungan, dan otomatisasi rumah. DHT22 dikenal karena kemampuannya yang lebih akurat dibandingkan dengan pendahulunya, DHT11.[15]

#### a. Fitur Utama:

DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu yang luas dari -40°C hingga +80°C dengan akurasi ±0,5°C. Untuk kelembapan, sensor ini dapat mengukur dari 0% hingga 100% RH (Relative Humidity) dengan akurasi antara ±2% hingga ±5% RH. Sensor ini mampu menghasilkan resolusi yang baik, yaitu 0,1°C untuk suhu dan 0,1% RH untuk kelembapan. Sensor ini menggunakan antarmuka digital dengan protokol komunikasi satu kabel (single-wire) yang memungkinkan data dikirim secara serial melalui satu pin data. Ini membuatnya mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, atau ESP8266. DHT22 beroperasi pada tegangan 3,3V hingga 5,5V dengan konsumsi daya yang rendah, sekitar 0,3 mA saat mengukur dan 60 µA dalam mode standby.[16]

#### b. Prinsip Kerja:

DHT22 bekerja dengan menggunakan sensor kelembapan kapasitif dan termistor untuk mengukur kondisi udara di sekitarnya. Hasil pengukuran kemudian dikirim dalam format digital yang mudah dibaca oleh mikrokontroler.

### c. Aplikasi:

Sensor ini banyak digunakan dalam stasiun cuaca untuk mengukur suhu dan kelembapan luar ruangan, otomatisasi rumah untuk memantau kondisi dalam ruangan, serta sistem HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara) untuk mengontrol lingkungan secara lebih efektif. Selain itu, DHT22 juga digunakan dalam sektor pertanian, terutama di rumah kaca atau fasilitas penyimpanan, serta dalam pemantauan industri yang memerlukan kontrol suhu dan kelembapan yang presisi.

### d. Keterbatasan:

Meskipun DHT22 sangat akurat, sensor ini memiliki kecepatan pengambilan sampel yang rendah, hanya sekali setiap dua detik, sehingga kurang cocok untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran cepat atau real-time. Selain itu, waktu respons sensor yang relatif lambat membuatnya kurang ideal untuk lingkungan yang dinamis. Secara keseluruhan, DHT22 adalah sensor yang andal dan serbaguna, cocok untuk berbagai aplikasi pemantauan suhu dan kelembapan dengan biaya yang terjangkau.[17]

### Sensor Arah Angin

RS485 Wind Vane Direction Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur arah angin dengan presisi tinggi dan mentransmisikan data melalui protokol komunikasi RS485. Sensor ini sering digunakan dalam sistem pemantauan cuaca, stasiun cuaca otomatis, serta berbagai aplikasi yang memerlukan data arah angin yang akurat. Gambar 1 menunjukkan model dari sensor arah angin yang digunakan dalam penelitian.[7]



Gambar 1. Sensor Arah Angin RS-485

### a. Fitur Utama:

Sensor arah angin ini dirancang untuk mendeteksi arah angin dalam rentang 0° hingga 360°, di mana 0° menunjukkan arah utara. Dengan menggunakan protokol komunikasi RS485, sensor ini mampu mengirimkan data jarak jauh dengan gangguan minimal, menjadikannya ideal untuk instalasi yang memerlukan jarak transmisi yang jauh, hingga beberapa ratus meter. RS485 juga memungkinkan koneksi multi-drop, sehingga beberapa sensor dapat terhubung dalam satu sistem.

### b. Konstruksi dan Kinerja:

DHT22 memiliki konstruksi yang tahan lama dan dirancang untuk bertahan dalam berbagai kondisi cuaca ekstrem. Biasanya terbuat dari plastik atau logam anti-korosi, sensor ini tahan terhadap suhu ekstrem, kelembapan tinggi, dan angin kencang. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan bilah atau sirip yang berputar mengikuti arah angin. Posisi bilah ini kemudian diukur dan dikirimkan sebagai sinyal digital melalui RS485.

### c. Aplikasi:

RS485 Wind Vane Direction Sensor banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, antara lain:

- Stasiun Cuaca:** Untuk menyediakan data arah angin sebagai bagian dari sistem pemantauan cuaca.
- Pertanian:** Membantu dalam pengaturan sistem irigasi dan pengendalian hama berdasarkan arah angin.
- Maritim:** Membantu dalam navigasi dan pemantauan kondisi angin di lautan.
- Energi Terbarukan:** Digunakan pada turbin angin untuk mengarahkan bilah turbin agar optimal terhadap arah angin.

### d. Keunggulan:

Sensor ini menawarkan komunikasi jarak jauh yang handal dan ketahanan terhadap kondisi cuaca ekstrem, menjadikannya solusi ideal untuk aplikasi luar ruangan yang memerlukan data arah angin yang akurat dan stabil.

### Sensor Kecepatan Angin

Berbagai macam bentuk sensor kecepatan angin yang dapat digunakan. Salah satu yang digunakan adalah sensor angin dengan model tiga cangkir dengan tipe JL-FS2 anemometer. Sensor kecepatan angin tipe tiga cangkir adalah alat yang dirancang untuk mengukur kecepatan angin secara akurat. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk cangkang, cangkir angin, dan modul sirkuit didalam sensor.[7]

Sensor JL-FS2 anemometer memiliki Cangkang sensor dan cangkir angin terbuat dari paduan aluminium yang kuat dan bentuk lebih presisi. Selain itu, sirkuit internal telah dilindungi dengan perlakuan khusus, sehingga sensor ini memiliki kekuatan tinggi, ketahanan terhadap cuaca, korosi, dan kedap air yang sangat baik.[18]

Sambungan kabel sensor menggunakan plug militer yang memiliki performa anti-korosif dan tahan terhadap erosi, memastikan alat dapat digunakan dalam jangka waktu lama dengan akurasi pengukuran yang terjaga jika menggunakan spesifikasi yang relevan. Sensor ini dapat beroperasi dengan baik pada suhu antara -20°C hingga +50°C dan kelembapan 35% hingga 85% (tanpa

kondensasi). Gambar 2 menunjukkan tipe dari sensor kecepatan angin dengan tiga cangkang.

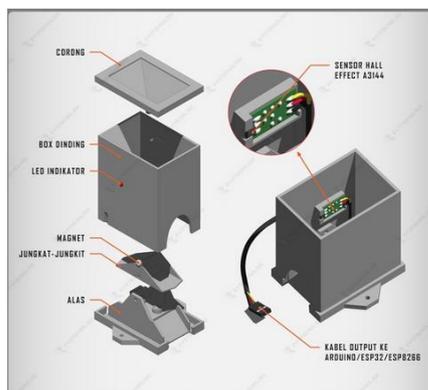


Gambar 2. Sensor JL-FS2 Anemometer

Sensor ini mengukur kecepatan angin dan mengeluarkan sinyal output yang dapat dibaca melalui sinyal tegangan (0 hingga 5V). Spesifikasi sensor mencakup kecepatan angin start dari 0,4 hingga 0,8 m/s, rentang pengukuran efektif 0 hingga 30 m/s, dan resolusi 0,1 m/s dengan akurasi sistem  $\pm 3\%$ . Jarak transmisi melebihi 1000meter melalui kabel.

### Sensor Curah Hujan

Sensor *tipping bucket rain gauge* adalah alat yang digunakan untuk mengukur curah hujan dengan akurat dan otomatis. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk cawan pengumpul yang menangkap air hujan, ember kecil yang terletak di atas poros, dan sensor yang mendeteksi pergerakan ember. Saat salah satu ember terisi hingga kapasitas tertentu, ember tersebut akan terguling dan mengosongkan isinya. Proses ini menghasilkan sinyal atau pulsa yang digunakan untuk menghitung jumlah curah hujan yang diukur. Setiap ember biasanya dirancang untuk menampung sejumlah air tertentu sebelum terguling, seperti 0,2 mm atau 0,1 inci, menentukan resolusi pengukuran sensor. Sensor ini terbuat dari material tahan cuaca, menjadikannya cocok untuk penggunaan luar ruangan dalam berbagai kondisi cuaca. Gambar 3 adalah tampilan dari sensor curah hujan dengan penampang persegi panjang beserta dengan bagian-bagian dari sensor curah hujan.[19]



Gambar 3. Sensor Curah Hujan.

Total curah hujan dapat dihitung dengan rumus[20]: Misalkan Total Curah Hujan adalah CH, Jumlah Ember Terguling adalah JE dan Kapasitas Ember adalah VE maka Total Curah Hujan dapat dihitung dengan rumus:

$$CH = JE \times VE \quad (4) \quad (5)$$

Misalkan sebuah sensor *tipping bucket* memiliki kapasitas ember 0,2 mm dan selama periode pengukuran, ember terguling sebanyak 150 kali dalam satu hari. Maka:

$$\text{Total Curah Hujan} = 150 \times 0,2 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

Dengan demikian, total curah hujan yang terukur adalah 30 mm/hari.

Dengan kemampuannya untuk memberikan data yang akurat dan otomatis, sensor *tipping bucket rain gauge* banyak digunakan dalam stasiun cuaca, pertanian, pengelolaan sumber daya air, dan penelitian meteorologi. Keunggulannya termasuk kemudahan pemantauan curah hujan secara langsung dan efisiensi dalam memberikan data yang andal tanpa memerlukan intervensi manual.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain Eksperimen

Pada penelitian ini setiap sensor diuji untuk mengukur parameter lingkungan sesuai jenis sensor yang digunakan. Sensor DHT22 adalah sensor suhu dan kelembaban, maka sensor ini akan diuji dengan cara mengukur suhu dan kelembaban pada rentang pengukuran tertentu lalu dibandingkan dengan sensor termometer digital untuk melihat akurasi sensor DHT22 tersebut. Begitu juga dengan sensor yang lainnya. Dalam penelitian ini digunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, sensor curah hujan, sensor arah angin dan sensor kecepatan angin.

### Prosedur Kalibrasi

Langkah-langkah kalibrasi yang dilakukan pada sensor adalah dengan membandingkan setiap sensor yang digunakan dengan sensor yang ada dipasaran. Sensor DHT22 dibandingkan dengan sensor temperatur digital seperti pada Gambar 4. Sensor kecepatan angin dibandingkan dengan sensor anemometer seperti pada Gambar 5. Sensor arah angin hanya diuji dengan menentukan posisi arah berdasarkan sudut referensi.



Gambar 4. Sensor Temperatur Digital.



Gambar 5. Anemometer Digital

Sementara sensor curah hujan diuji dan dikalibrasi menggunakan pipet air yang berfungsi untuk meneteskan air pada cawan penampung serta diuji dengan air yang ditumpahkan secara langsung pada sensor sebanyak 100mL. hasil keduanya lalu dirata-rata untuk melihat kemampuan sensro dalam mengukur curah hujan.

Sensor suhu, kelembaban dan sensor kecepatan angin akan dianalisa menggunakan persamaan regresi untuk melihat hasil kalibrasi terhadap nilai ideal atau garis regresi perbandingan tiap sensor terhadap sensor pembanding. Lalu nilai regresi yang didapat akan diplotting ulang dan dibandingkan dengan nilai regresi yang dimodifikasi. Hal ini bertujuan untuk melihat seberapa baik akurasi data yang diplotting dengan nilai regresi yang diperoleh dengan nilai regresi modifikasi.

### Pengumpulan Data

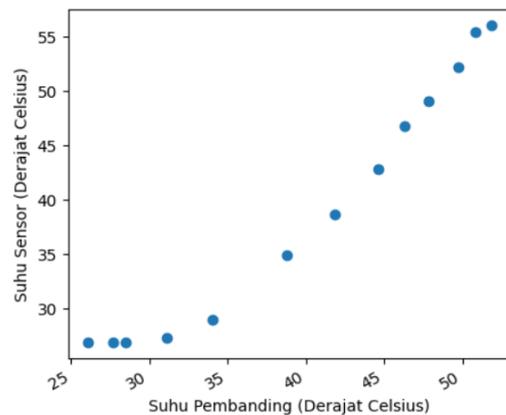
Metode pengumpulan data sebelum dan sesudah kalibrasi.

#### a. Data hasil pengujian akurasi sensor suhu terhadap sensor pembanding

Data hasil pengujian sensor suhu menggunakan sensor DHT22 yang dibandingkan dengan sensor termometer digital seperti nampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Sensor Suhu

Suhu DHT22 (°C)	Suhu Pembanding (°C)
26,1	26,9
27,7	26,9
28,5	26,9
31,1	27,3
34	29
38,8	34,9
41,8	38,7
44,6	42,8
46,3	46,8
47,8	49,1
49,7	52,2
50,8	55,5
51,8	56,1

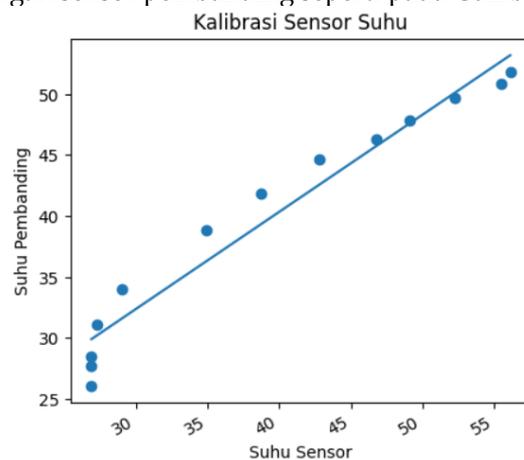


Gambar 6. Plotting Sensor suhu DHT22 dengan Sensor Suhu Pembanding.

Dari data pengukuran dan plotting pada Gambar 6, kemudian dilakukan proses untuk mencari persamaan regresi linear dan didapatkan persamaan sebagai berikut:

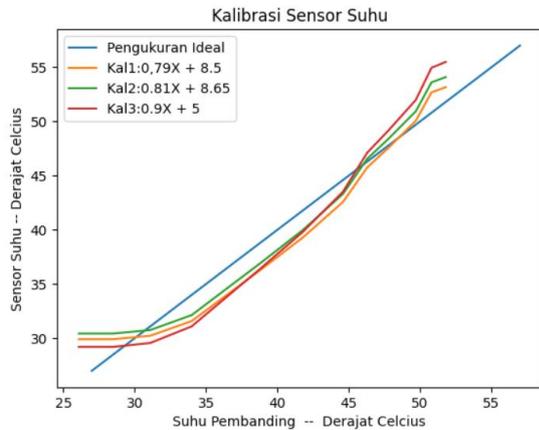
$$0.796 * x + 8.5076$$

Nilai x dapat dianggap sebagai data sensor suhu hasil pengukuran dengan sensor DHT22. Jika dilakukan proses plotting maka akan didapatkan garis lurus hubungan antara sensor suhu DHT22 dengan sensor pembanding seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Plotting Sensor Suhu DHT22 dengan Persamaan Regresi

Dengan memasukkan persamaan regresi liner yang dihasilkan, maka data kalibrasi sensor suhu terlihat seperti pada Gambar 8 serta data hasil kalibrasi seperti terlihat pada Tabel 2.



Gambar 8. Plotting Hasil Kalbrasi Sensor Suhu DHT22

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Sensor Suhu

Suhu Setelah Kalibrasi (°C)	Suhu Pembanding (°C)	Selisih (°C)
29,91	26,9	3,01
29,91	26,9	3,01
29,91	26,9	3,01
30,23	27,3	2,93
31,59	29	2,59
36,28	34,9	1,38
39,31	38,7	0,61
42,57	42,8	0,23
45,75	46,8	1,05
47,58	49,1	1,52
50,05	52,2	2,15
52,68	55,5	2,82
53,16	56,1	2,94
<b>Mean Absolute Error (MAE)</b>		<b>2,09</b>

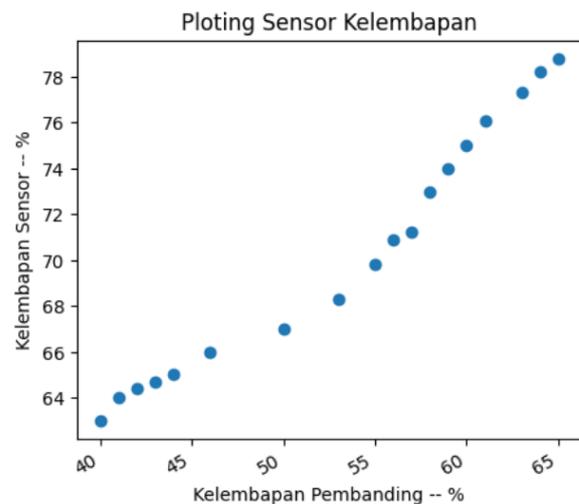
Gambar 8. menunjukkan tiga buah garis hasil plotting data dengan persamaan yang berbeda-beda. Tujuan dari plotting ini adalah untuk melihat bagaimana posisi grafik terhadap data idel. Grafik warna jingga adalah hasil dari plotting dengan nilai regresi yang diperoleh. Sementara warna hijau dan merah merupakan hasil modifikasi nilai. Dari grafik tersebut menunjukkan hasil nilai regresi yang diperoleh sebelumnya menunjukkan grafik terbaik yang mendekati garis ideal warna biru.

#### b. Data hasil pengujian sensor kelembaban

Data hasil pengujian sensor kelembaban menggunakan sensor DHT22 yang dibandingkan dengan sensor termometer digital seperti terlihat pada Tabel 3. Serta bentuk grafik sensor kelembaban seperti pada Gambar 9.

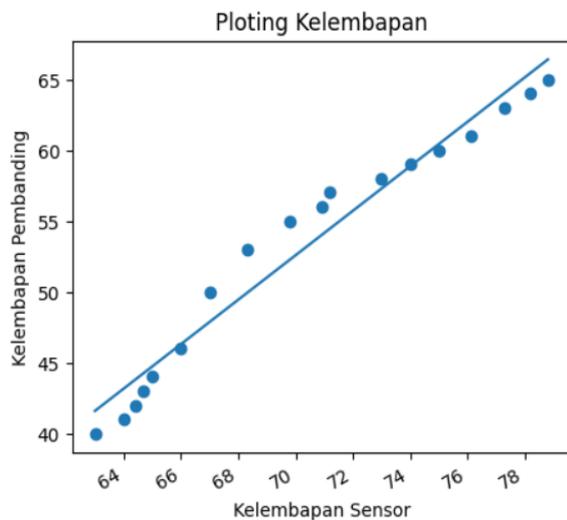
Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Kelembaban

Kelembaban Pembanding (%)	Kelembaban DHT22 (%)
65	78,8
64	78,2
63	77,3
61	76,1
60	75,0
59	74,0
58	73,0
57	71,2
56	70,9
55	69,8
53	68,3
50	67,0
46	66,0
44	65,0
43	64,7
42	64,4
41	64,0
40	63,0



Gambar 9. Plotting Sensor Kelembaban DHT22 dengan Sensor Kelembaban Pembanding.

Data hasil pengukuran sensor kelembaban kemudian dilakukan proses regresi untuk melihat hubungan antara sensor kelembaban DHT22 yang digunakan dengan sensor kelembaban pada sensor temperatur digital. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil Plotting Regresi Linier Data Sensor Kelembaban.

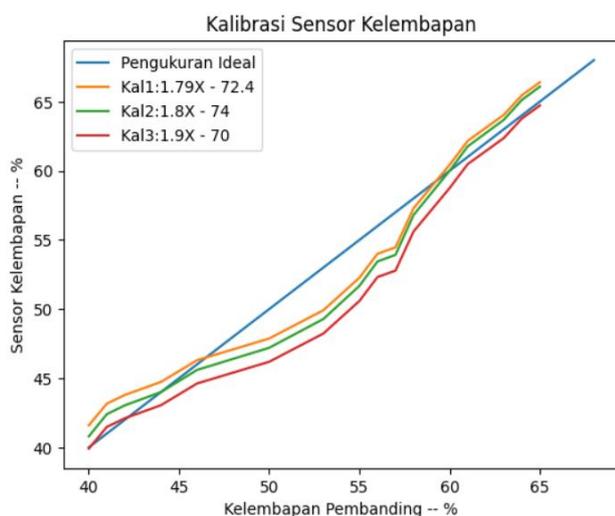


Gambar 10. Plotting Sensor Kelembaban DHT22 dengan Sensor Kelembaban Pemandangan.

Pada proses kalibrasi diperoleh hasil regresi linier untuk sensor kelembaban adalah sebagai berikut:

$$\text{Persamaan Regresi: } 1.79 * X + -72.4$$

Hasil kalibrasi sensor kelembaban seperti pada Gambar 11. Hasil Kalibrasi Sensor Kelembaban DHT22. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai regresi pada grafik warna jingga lebih mendekati garis ideal warna biru dibanding dengan hasil plotting persamaan yang lainnya. Tabel 4 merupakan data hasil kalibrasi sensor kelembaban, yang menunjukkan besarnya nilai *mean absolute error* sebesar 1,481.



Gambar 11. Plotting Hasil Kalibrasi Sensor Kelembaban DHT22.

Tabel 4. Hasil Kalibrasi Sensor Kelembaban

Kelembaban Setelah Kalibrasi %	Kelembaban Pemandangan %	Selisih %
66,39	65	12,41
66,45	64	11,75
64,04	63	13,26
62,15	61	13,95
60,43	60	14,57
58,86	59	15,14
57,29	58	15,71
54,46	57	16,74
53,99	56	16,91
52,26	55	17,54
49,91	53	18,39
47,87	50	19,13
46,30	46	19,7
44,73	44	20,27
44,26	43	20,44
43,79	42	20,61
43,16	41	20,84
41,59	40	21,41
<b>Mean Absolute Error (MAE)</b>		<b>1,481</b>

### c. Data pengujian Sensor Curah hujan

Sensor curah hujan bekerja dengan cara menghitung jumlah air yang berhasil ditampung didalam cawan pengungkit. Setiap kali cawan penuh maka akan menghasilkan pulsa yang dikirim ke mikrokontroler dan dihitung satu tik.

Pengujian yang dilakukan pada sensor curah hujan:

- Memberi cawan penampung air dengan tetesan air kemudian menghitung jumlah tetesan sampai cawan penuh atau bergerak. Berdasarkan pengukuran satu tik rata-rata berisi 53,7 tetes air yang dituangkan dengan pipet tetes. Jika satu tetes rata-rata adalah 0.05ml maka satu tik dapat dihitung dengan cara

$$\text{Satu tik} = 53,7 \text{ tetes} * \text{rata-rata satu tetes} \\ \text{atau} \\ 53,7 * 0.05 = \mathbf{2,69 \text{ ml per tik}}$$

- Menumpahkan air 100mL secara perlahan kedalam sensor dan menghitung jumlah tik yang terbaca. Dari pengujian dihasilkan jumlah tik rata-rata untuk menghabiskan air sebanyak 100mL dalah menghasilkan 36,5 tik. Dari percobaan tersebut dapat dikatakan satu tik sensor berisi 2,74ml air. Cara ini dapat dihitung dengan cara:

$$\text{jumlah\_air dibagi dengan jumlah\_tik} = 100\text{ml}/36,5\text{tik} = 2,74\text{ml per tik}$$

Berdasarkan pengujian curah hujan dengan kedua metoda diatas didapatkan rata-rata jumlah air per tik adalah:

$$(2,69 + 2,74) / 2 = 2,71\text{ml/tik}$$

Curah hujan dihitung dengan rumus:  
 $\text{Curahhujan} = \text{Dayatampung}/\text{LuasPenampang}$

Jika diketahui:  
 $\text{Luas penampang} = 8,6\text{cm} \times 3,7\text{cm} = 31,82 \text{ cm}^2$   
 $\text{Daya tampung rata-rata} = 2,71 \text{ ml per tik}$

Maka kemampuan sensor dalam mengukur curah hujan adalah:

$$\text{Curah Hujan} = 2,71/31,82 = 0,085\text{cm} = 0,85\text{mm}$$

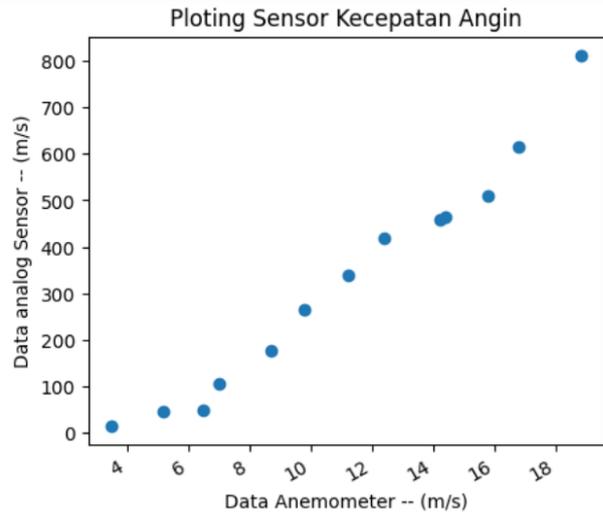
#### d. Sensor Kecepatan angin

Data hasil pengukuran kecepatan angin oleh sensor yang digunakan dan dibandingkan dengan anemometer digital seperti nampak pada Tabel 5. Hasil Pengukuran Sensor Kecepatan Angin

Tabel 5. Hasil Pengukuran Sensor Kecepatan Angin

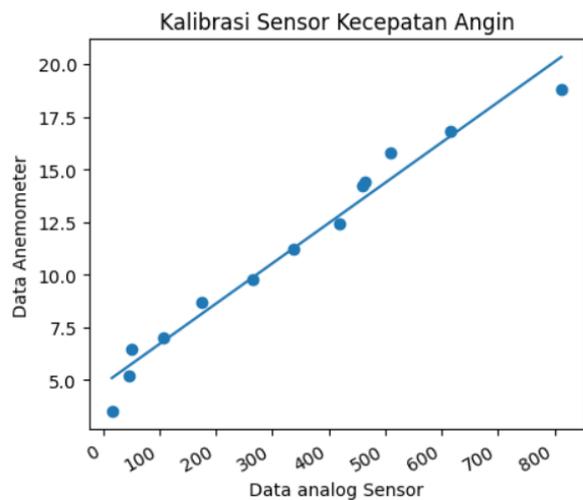
Anemometer (m/s)	Sensor Analog (m/s)
18,8	812
16,8	615
15,8	510
14,4	465
14,2	460
12,4	420
11,2	338
9,8	266
8,7	176
7	107
6,5	50
5,2	46
3,5	16

Hasil *plotting* data sensor kecepatan angin terhadap sensor anemometer seperti terlihat pada Gambar 12.



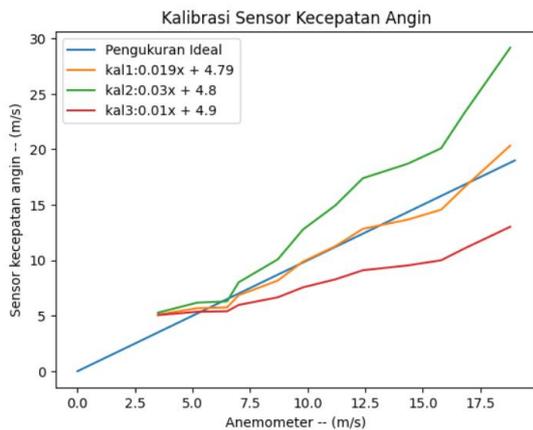
Gambar 12. *Plotting* Data Sensor Kecepatan Angin

Dengan menerapkan regersi linier ada data sensor kecepatan angin terhadap anomemeter didapatkan persamaan regresi linier yaitu:  $0.019*x + 4.79$ . *Plotting* hasil regresi linier seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. *Plotting* Regresi Linier Sensor Kecepatan Angin

Nilai hasil regresi linier kemudian diterapkan pada data pengukuran sensor kecepatan angin, lalu dilakukan *plotting* ulang untuk melihat sebaran data setelah dilakukan kalibrasi dengan rumus regresi. hasilnya seperti nampak pada Gambar 14. *Plotting* Hasil Kalibrasi Sensor Kecepatan Angin dengan Beberapa Variasi Nilai. Gambar 14 menunjukkan hasil kalibarsi warna jingga lebih baik dibanding variasi nilai lainnya karena mendekati garis ideal warna biru. Tabel 6 adalah data hasil kalibrasi sensor kecepatan angin dengan nilai rata-rata *error* terhadap data pembanding adalah sebesar 0,647.



Gambar 14. Plotting Hasil Kalibrasi Sensor Kecepatan Angin dengan beberapa Variasi Nilai



Gambar 15. Pengujian sensor arah angin

Tabel 6. Hasil Kalibrasi Sensor Kecepatan Angin

Anemometer (m/s)	Hasil Kalibrasi (m/s)	Selisih (m/s)
18,8	20,33	1,53
16,8	16,56	0,24
15,8	14,55	1,25
14,4	13,69	0,71
14,2	13,60	0,6
12,4	12,83	0,43
11,2	11,26	0,06
9,8	9,88	0,08
8,7	8,16	0,54
7	6,84	0,16
6,5	5,75	0,75
5,2	5,67	0,47
3,5	5,10	1,6
<b>Mean Absolute Error (MAE)</b>		<b>0.647</b>

**e. Sensor arah angin**

Sensor arah angin diuji dengan cara melihat posisi pembacaan sensor berdasarkan sudut referensi seperti terlihat pada Gambar 15. Pengujian Sensor Arah Angin. Arah referensi disesuaikan dengan arah mata angin sebenarnya yaitu arah utara pada posisi 0 derajat. Sensor akan ditempatkan diatas sudut referensi dan diputar sedikit demi sedikit disesuaikan pada arah referensi lalu dilihat hasil pembacaan sensor.

Sensor arah angin memiliki resolusi 0.1 derajat. Spesifikasi ini sangat mencukupi untuk mengetahui arah angin sesuai dengan ketentuan BMKG. Dari hasil pengujian sensor yang dilakukan, dapat dikatakan bahwa sensor ini dapat bekerja pada arah 0-360 derajat dan dapat digunakan pada monitoring cuaca luar ruangan.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian kalibrasi sensor rendah biaya yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa sensor yang digunakan dapat mengukur data dengan lebih baik. Hasil ini terlihat dari hasil *plotting* data setelah dilakukan kalibrasi menggunakan metoda regresi. Nilai regresi yang dihasilkan nampak menghasilkan *plotting* yang mendekati nilai ideal dari sensor sebenarnya dibandingkan dengan nilai regresi lain yang dimodifikasi dengan ditambah ataupun dikurangi. Sementara pada hasil kalibrasi terlihat data hasil kalibrasi memiliki rata-rata error yang kecil dimana pada sensor suhu memiliki MAE sebesar 2,09, pada sensor kelembapan MAE sebesar 1,481 dan MAE sensor kecepatan angin sebesar 0,647. Dengan demikian sensor rendah biaya yang diteliti dapat digunakan sebagai alternatif sensor monitoring cuaca. Namun demikian pengujian lebih lanjut terkait metoda pemasangan dilapangan perlu dipertimbangkan agar sensor tidak rusak jika terkena cuaca ekstrim yang menyebabkan air hujan mengenai sensor ataupun ketahanan terhadap cuaca.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Perdinan *et al.*, 'Meteorological Services for Forecast Based Early Actions in Indonesia', in *Handbook of Climate Services*, W. Leal Filho and D. Jacob, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 353-382. doi: 10.1007/978-3-030-36875-3\_18.

[2] L. Liang, 'Calibrating Low-Cost Sensors for Ambient Air Monitoring: Techniques, Trends, and Challenges', *Environmental Research*, vol. 197, p. 111163, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.envres.2021.111163.

[3] R. Rumantri, M. Y. N. Khakim, and I. Iskandar, 'Design and Characterization of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring System', *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, vol. 7, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2018, doi: 10.15294/jpii.v7i3.14444.

- [4] S. L. Ullo and G. R. Sinha, 'Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors', *Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 11, p. 3113, May 2020, doi: 10.3390/s20113113.
- [5] T. L. Narayana *et al.*, 'Advances in real time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors', *Heliyon*, vol. 10, no. 7, p. e28195, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28195.
- [6] E. Arulmozhi *et al.*, 'Development and Validation of Low-Cost Indoor Air Quality Monitoring System for Swine Buildings', *Sensors*, vol. 24, no. 11, Art. no. 11, Jan. 2024, doi: 10.3390/s24113468.
- [7] D. Angela, T. A. Nugroho, B. T. P. Gultom, and Y. Yonata, 'Perancangan Sensor Kecepatan dan Arah Angin untuk Automatic Weather Station (AWS)', *J. Telematika*, vol. 12, no. 1, pp. 97-106, Oct. 2017, doi: 10.61769/telematika.v12i1.186.
- [8] G. F. L. R. Bernardes, R. Ishibashi, A. A. S. Ivo, V. Rosset, and B. Y. L. Kimura, 'Prototyping low-cost automatic weather stations for natural disaster monitoring', *Digital Communications and Networks*, vol. 9, no. 4, pp. 941-956, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.dcan.2022.05.002.
- [9] T. Sugiyanto, A. Fahmi, and R. Nalandari, 'Rancang Bangun Sistem Monitoring Cuaca Berbasis Internet Of Things (IoT)', *JOURNAL ZETROEM*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2020, doi: 10.36526/ztr.v2i1.855.
- [10] A. V. Rachmawati, D. Dzulkifli, and M. Yantidewi, 'Analisis Kalibrasi Sensor BME280 dengan Pendekatan Regresi Linear pada Pengukuran Temperatur, Kelembaban Relatif, dan Titik Embun', *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 5, Art. no. 5, May 2024, doi: 10.56338/jks.v7i5.5272.
- [11] D. R. Tisna, B. J. M. Putra, T. Maharani, and H. Hasnira, 'Metode Peningkatan Akurasi pada Sensor TDS Berbasis Arduino untuk Nutrisi Air Menggunakan Regresi Linier', *JURNAL INTEGRASI*, vol. 14, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2022, doi: 10.30871/ji.v14i1.3906.
- [12] E. Rustami, R. F. Adiati, M. Zuhri, and A. A. Setiawan, 'Uji Karakteristik Sensor Suhu dan Kelembaban Multi- Channel Menggunakan Platform Internet of Things (IoT)', *Berkala Fisika*, vol. 25, no. 2, pp. 45-52, Jul. 2022.
- [13] J. Jumrianto, 'Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR', *Journal of Systems, Information Technology, and Electronics Engineering*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Jul. 2021.
- [14] M. Badura, P. Batog, A. Drzeniecka-Osiadacz, and P. Modzel, 'Evaluation of Low-Cost Sensors for Ambient PM2.5 Monitoring', *Journal of Sensors*, vol. 2018, Oct. 2018, doi: 10.1155/2018/5096540.
- [15] Siswanto, I. Rojikin, and W. Gata, 'Pemanfaatan Sensor Suhu DHT-22, Ultrasonik HC-SR04 Untuk Mengendalikan Kolam Dengan Notifikasi Email', *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 3, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2019, doi: 10.29207/resti.v3i3.1334.
- [16] H. A. Wahid, J. Maulindar, and A. I. Pradana, 'Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Aglonema Berbasis IoT Menggunakan Blynk dan NodeMCU 32', *Innovative: Journal Of Social Science Research*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, May 2023, doi: 10.31004/innovative.v3i2.1094.
- [17] S. Siswanto, W. Gata, and R. Tanjung, 'Kendali Ruang Server Menggunakan Sensor Suhu DHT 22, Gerak Pir dengan Notifikasi Email', *Prosiding SISFOTEK*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Oct. 2017.
- [18] 'Wind\_Speed\_Sensor\_Voltage\_Type\_0-5V\_SKU\_SEN0170-DFRobot'. Accessed: Aug. 30, 2024. [Online]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/Wind\\_Speed\\_Sensor\\_Voltage\\_Type\\_0-5V\\_SKU\\_SEN0170](https://wiki.dfrobot.com/Wind_Speed_Sensor_Voltage_Type_0-5V_SKU_SEN0170)
- [19] M. Syahbeni, A. Budiman, R. Syelly, I. Laksana, and Hendra, 'Rancang Bangun Pendeteksi Curah Hujan Menggunakan Tipping Bucket Rain Sensor dan Arduino Uno', *1*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2018, doi: 10.32530/agtk.v1i2.22.
- [20] G. Setyawan, 'Kalibrasi Alat Ukur Curah Hujan Model Tipping Bucket', Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/31113830/Kalibrasi\\_Alatt\\_Ukur\\_Curah\\_Hujan\\_Model\\_Tipping\\_Bucket](https://www.academia.edu/31113830/Kalibrasi_Alatt_Ukur_Curah_Hujan_Model_Tipping_Bucket).