

ANALISIS KALIBRASI SENSOR ULTRASONIC JSN-SR04T PADA SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR MENGGUNAKAN PENDEKATAN REGRESI LINIER

Budi Cahyo Wibowo

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro

Universitas Muria Kudus

Email: budi.cahyo@umk.ac.id

Noor Yulita Dwi Setyaningsih

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro

Universitas Muria Kudus

Email: noor.yulita@umk.ac.id

ABSTRAK

Kalibrasi sensor merupakan langkah penting dalam proses pengukuran besaran fisis untuk memastikan hasil yang diberikan oleh alat ukur atau sensor akurat dan memenuhi standar. Keakuratan dan ketepatan dalam penelitian ini bergantung pada peralatan dan metode yang digunakan untuk mengkalibrasi sensor ultrasonik JSN-SR04T, yang berperan sebagai pengukur jarak pada sistem peringatan dini banjir. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah pendekatan regresi linier yang diprogramkan pada Arduino Uno, sehingga data pengukuran dari sensor JSN-SR04T dapat dibaca melalui serial monitor Arduino IDE. Data yang dihasilkan sensor ultrasonik JSN-SR04T awalnya belum cukup akurat dan presisi; sebelum dikalibrasi, tingkat akurasi mencapai 96,6% dengan error 3,40%, namun setelah kalibrasi menggunakan regresi linier, akurasi meningkat menjadi 99,7% dengan error yang turun menjadi 0,3%.

Kata kunci: kalibrasi, regresi linier, arduino uno, akurat, presisi

ABSTRACT

Sensor calibration is a crucial step in the measurement of physical quantities to ensure that the results provided by the measuring instrument or sensor are accurate and meet the required standards. The accuracy and precision of this research depend on the equipment and methods used to calibrate the JSN-SR04T ultrasonic sensor, which functions as a distance measuring device in a flood early warning system. The method applied in this study uses a linear regression approach programmed on an Arduino Uno board, allowing the measurement data from the JSN-SR04T sensor to be read via the Arduino IDE serial monitor. Initially, the data produced by the JSN-SR04T ultrasonic sensor was not sufficiently accurate and precise; before calibration, the sensor's accuracy was 96.6% with a 3.40% error rate. However, after calibration using linear regression, the accuracy improved to 99.7%, while the error rate decreased to 0.3%.

Keywords: calibration, linier regression, arduino uno, accuracy, precision

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam yang sering terjadi di beberapa daerah di Indonesia salah satunya adalah di kabupaten Kudus.

Banjir merupakan permasalahan yang terjadi akibat dari volume air yang berlebih pada sungai yang dipengaruhi oleh aktifitas manusia yang tidak ramah terhadap lingkungan. Banjir memiliki dampak negatif yang cukup banyak salah satunya adalah rusaknya sarana dan prasarana masyarakat. Menurut informasi Pusat Krisis Kesehatan Kementerian Kesehatan RI, pada tahun 2022 terdapat 4 kecamatan di kabupaten kudus yang terdampak akibat banjir, yaitu kecamatan kaliwungu, undaaan, jati dan mejobo. Sebanyak 805 orang harus mengungsi [1]. Dan pada awal tahun 2023, seperti yang diberitakan oleh CNN Indonesia, banjir di kabupaten kudus semakin meluas, jika sebelumnya hanya empat kecamatan, yakni Kecamatan Jati, Undaan, Mejobo, dan Kaliwungu, pada awal tahun 2023 banjir kembali meluas hingga kecamatan jekulo, sebanyak 21 desa dengan 27 ribu warga terdampak

banjir [2]. Menurut antara news akibat banjir pada awal Januari 2023 mengakibatkan sebanyak 737 keluarga dengan jumlah 4.900 jiwa terdampak dan sedangkan area persawahan yang tergenang air seluas 385 hektare [3].

Dengan diterapkannya sistem peringatan dini banjir, informasi terkait tingginya level sungai dapat diakses oleh masyarakat dengan lebih cepat. Teknologi sistem peringatan dini banjir berbasis IoT (Internet of Things) saat ini sudah banyak digunakan. Umumnya menggunakan sensor ultrasonic untuk mengukur ketinggian level sungai. Agar masyarakat memperoleh informasi yang valid terkait dengan ketinggian level sungai maka peran penting dari sensor ultrasonic sebagai pengukur jarak antara posisi sensor berada dengan permukaan air sungai menjadi sangat penting. Ketidakakuratan hasil ukur sensor ultrasonic dalam pembacaan ketinggian air sungai menjadi permasalahan yang penting untuk ditangani. Untuk memberikan informasi ketinggian air sungai yang presisi, akurat dan valid maka diperlukan sensor deteksi ketinggian air sungai yang memiliki kepresisian dan validitas data hasil baca ketinggian permukaan sungai yang baik. Sensor ultrasonic JSN-SR04T merupakan salah satu jenis sensor yang memiliki karakteristik yang sesuai dengan yang disebutkan diatas, yaitu presisi, stabil dan akurat. Guna mendukung hasil baca atau deteksi ketinggian sungai yang handal maka perlu dilakukan proses kalibrasi sensor terlebih dahulu sehingga kehandalan sensor yang diharapkan untuk memberikan informasi ketinggian sungai yang valid dapat lebih optimal.

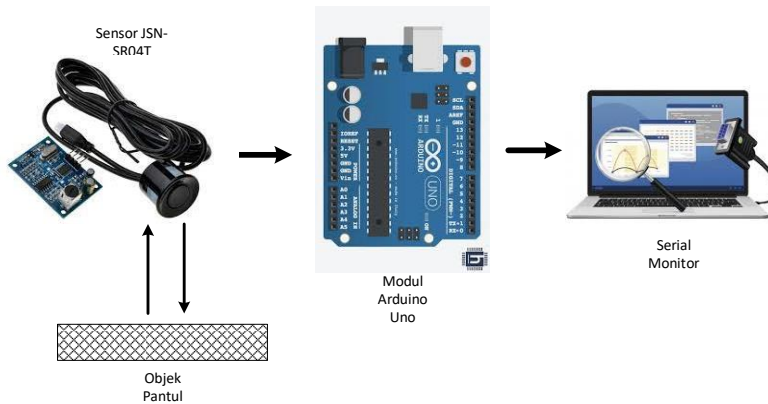
Ketepatan atau presisi alat ukur menjadi sangat penting dalam pengambilan keputusan[4]. Guna mendapatkan hasil pengukuran jarak yang tepat maka proses kalibrasi perlu dilakukan terhadap sensor ultrasonic. Kalibrasi wajib dilakukan pada setiap perangkat pengukuran[5]. Proses kalibrasi bertujuan untuk mendapatkan pembacaan yang stabil dan akurat[6]. 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[7]. Teknik kalibrasi sudah banyak dikenalkan salah satunya adalah menggunakan pendekatan regresi linier untuk memperoleh Mean Absolute Percentage Error[5].

Penelitian dengan tema yang sejenis telah dilakukan, yaitu penelitian dengan judul Alat Pendeteksi Ketinggian Air dan Keran Otomatis Menggunakan Water Level Sensor Berbasis Arduino oleh Ummul Khair. S[8]. Penelitian berikutnya di tahun 2022 dengan judul Analisis Kalibrasi Sensor BME280 dengan Pendekatan Regresi Linear pada Pengukuran Temperatur, Kelembaban Relatif, dan Titik Embun. Penelitian ini membahas tentang [9].

Dari latarbelakang permasalahan yang telah diuraikan diatas, maka pada penelitian akan dilakukan analisis terhadap proses kalibrasi sensor ultrasonic JSN-SR04T yang digunakan sebagai deteksi jarak ketinggian permukaan sungai terhadap posisi sensor. Konsep dari penggunaan sensor ultrasonic JSN-SR04T adalah memanfaatkan pantulan sinyal ultrasonic dan mengkonversinya kedalam besaran jarak. Tujuan dilakukannya proses kalibrasi sensor ini adalah untuk meningkatkan akurasi dan presisi hasil ukur dari sensor. Adapun metode kalibrasi yang digunakan adalah dengan pendekatan regresi linier.

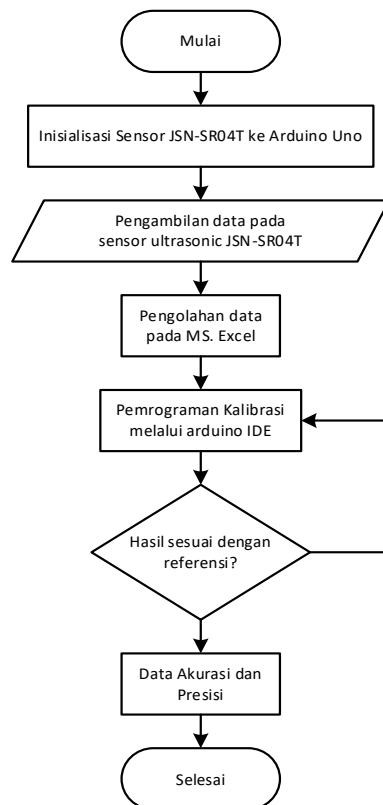
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dan ketelitian Sensor ultrasonic JSN-SR04T dengan melakukan kalibrasi melalui pendekatan regresi linier. Hasil pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonic JSN-SR04T akan dibandingkan dengan nilai ukur dari penggaris/meteran, karena pada penelitian ini sensor ultrasonic digunakan untuk mengukur jarak ketinggian permukaan sungai terhadap ketinggian posisi sensor. Pengambilan data uji sensor dilakukan dengan mengukur jarak antara sensor dengan suatu bidang pantul (benda padat atau bisa juga menggunakan benda cair) dan hasil ukur jarak sensor ultrasonic JSN-SR04T kemudian ditampilkan pada LCD atau pada serial monitor IDE Arduino. Data pengujian berupa penggunaan jarak ukur yang bervariasi antara 10 cm – 300 cm. Diagram blok sistem uji disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Sistem Uji Sensor JSN-SR04T

Pemrograman pada sensor ultrasonic JSN-SR04T dilakukan melalui software Arduino IDE, termasuk proses perhitungan konversi waktu sinyal dikirim dan diterima kembali oleh sensor (konsep radar) menjadi ukuran jarak dalam satuan cm dan proses pengkalibrasian dengan regresi linear. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan proses inisialisasi sensor ultrasonic JSN-SR04T ke arduino Uno proses ini dilakukan dengan memprogram arduino uno dan melakukan inisialisasi beberapa port input pada mikrokontroler yang terhubung ke pin sensor JSN-SR04T. Setelah sistem minimum pengujian dirakit,

kemudian dilakukan pengambilan data dari proses pengujian pengukuran jarak sensor terhadap bidang pantul dan dibandingkan dengan hasil ukur jarak menggunakan penggaris/meteran. Tahapan selanjutnya adalah mengolah data hasil pengukuran jarak, baik mengukur dengan penggaris/meteran maupun mengukur jarak menggunakan sensor ultrasonic JSN-SR04T. Dari hasil pengolahan data ini kemudian dilakukan kalibrasi menggunakan pendekatan regresi linier untuk mendapatkan nilai hasil ukur yang mendekati sebenarnya dan mengurangi prosentase error serta meningkatkan akurasi dan presisi.

2.1 Sensor Ultrasonic JSN-SR04T

JSN-SR04T merupakan sensor ultrasonik generasi terbaru yang dikembangkan dari HC-SR04. Dibandingkan versi sebelumnya, sensor ini memiliki sejumlah keunggulan, salah satunya dilengkapi dengan fitur kedap air (waterproof), sehingga lebih tahan saat digunakan di area yang basah atau lembap.

Cara kerja JSN-SR04T pada dasarnya mirip dengan sensor ultrasonik lainnya. Alat ini memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi jarak antara sensor dan objek di depannya. Gelombang tersebut dipancarkan oleh sensor, lalu memantul kembali ketika mengenai objek. Dengan mengukur selang waktu antara pengiriman dan penerimaan pantulan gelombang, sensor dapat menentukan jarak menggunakan rumus perhitungan yang sudah ditetapkan.



Gambar 3. Sensor Ultrasonic JSN-SR04T

Fitur unggulan dari sensor ultrasonic JSN-SR04T diantaranya adalah kedap air, Kedap Air (Waterproof), Keunggulan utama sensor ini adalah kemampuannya beroperasi di lingkungan basah atau lembap. Dengan fitur ini, JSN-SR04T cocok digunakan untuk aplikasi yang berhubungan dengan air, seperti pemantauan ketinggian permukaan sungai, akurasi dan konsistensi pembacaan sensor ini didesain untuk keperluan industri dengan tingkat stabilitas pembacaan yang tinggi. Hal ini menjamin hasil pengukuran jarak yang presisi dan konsisten dan Rentang Pengukuran Luas JSN-SR04T memiliki jangkauan deteksi antara 25 cm hingga 450 cm, membuatnya fleksibel untuk berbagai kebutuhan pengukuran jarak yang berbeda.

2.2 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan chip ATmega328 (datasheet). Papan ini dilengkapi dengan 14 pin input/output digital, di mana 6 pin di antaranya dapat berfungsi sebagai output PWM, serta 6 pin input analog. Selain itu, Arduino Uno memiliki osilator kristal 16 MHz, port USB, colokan daya, header ICSP, dan tombol reset. Agar mikrokontroler dapat beroperasi, pengguna hanya perlu menghubungkan Arduino Uno ke komputer melalui kabel USB atau memberinya daya menggunakan adaptor AC-ke-DC maupun baterai.

Ke-14 pin digital pada Arduino Uno dapat difungsikan sebagai input maupun output dengan memanfaatkan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Fungsi-fungsi ini bekerja pada tegangan 5 volt. Setiap pin mampu mengalirkan atau menerima arus maksimal 40 mA dan dilengkapi resistor pull-up (secara default tidak aktif) dengan nilai resistansi 20-50 kOhm.



Gambar 4. Board Arduino Uno

Tabel 1. Spesifikasi Arduino Uno

Fitur Arduino Uno	Keterangan
Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Pengoperasian	5V
Tegangan Input yang disarankan	7 – 12V
Batas Tegangan Input	6 – 20V
Jumlah Pin I/O Digital	14 Pin Digital (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah Pin Input Analog	6 Pin
Arus DC tiap-tiap I/O	40mA
Arus DC untuk pin 3,3V	50mA
Memori flash	32kB (Atmega328) sekitar 0,5kB digunakan oleh bootloader
SRAM	2KB (Atmega328)
EPROM	1 KB(Atmega328)
Clock Speed	16MHz

2.3 Kalibrasi Sensor Ultrasonic JSN-SR04T

Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan pembacaan yang sesuai. Sensor ultrasonic JSN-SR04T digunakan sebagai alat pengukur jarak[10][11]. Kalibrasi sensor ultrasonic JSN-SR04T dilakukan dengan membandingkannya terhadap alat pengukur jarak/panjang suatu objek. Validasi sensor JSN-SR04T kemudian dilakukan melalui analisis tingkat akurasi dan presisinya.

Akurasi didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai yang dihasilkan dari perhitungan dengan nilai aktual dalam suatu pengukuran. Dengan demikian, hasil pengukuran dapat dianggap sah dan tidak bias. Tingkat kesalahan serta akurasi pada sensor DHT22 dapat ditentukan melalui persamaan (1) dan (2), masing-masing[11][12].

$$\%Error = \left| \frac{\bar{Y}_n - X_n}{\bar{Y}_n} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$Accuracy = 100\% - \%Error \quad (2)$$

Analisis presisi bertujuan untuk mengevaluasi seberapa konsisten hasil pengukuran yang dilakukan berulang kali dalam kondisi identik. Untuk mengukur presisi ini, digunakan perhitungan simpangan baku (SD). SD berfungsi sebagai indikator presisi yang menunjukkan sebaran titik data relatif terhadap nilai rata-ratanya[13]. Nilai SD dihitung seperti pada (3)[14].

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (3)$$

di mana x_i adalah hasil pembacaan sensor pada percobaan ke- i dan N adalah jumlah percobaan. Kemudian, hasil presisi dilaporkan dengan cara menggunakan persamaan (5)[13]:

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4)$$

$$Precision_n = 100\% - RSD_n \quad (5)$$

Relative Standard Deviation (RSD) atau dikenal sebagai Coefficient of Variation (CV) merupakan indikator dispersi relatif yang tidak terikat pada satuan pengukuran. Hal ini memungkinkan RSD untuk dipergunakan dalam membandingkan variabilitas antar kelompok berbeda. Nilai RSD dihitung dengan mengkonversi simpangan baku (SD) ke dalam bentuk persentase. Nilai RSD yang baik $\leq 2\%$ [13].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pembuatan Hardware

Sistem hardware uji sensor ultrasonic telah dibuat, terdiri dari: bagian sensor (Gambar 3), bagian kontroler arduino uno (Gambar 4.) dan serial monitor Arduino IDE.

Dalam penelitian ini menggunakan sensor ultrasonic JSN-SR04T yang digunakan untuk mengukur jarak ketinggian antara permukaan sungai dengan posisi sensor berada.

Adapun sistem kontrol menggunakan Arduino Uno yang difungsikan untuk memproses data informasi dari sensor dan kemudian mengolah data sensor dengan formulasi regresi linier yang diperoleh. Kemudian menampilkan hasil ukur dari sensor melalui serial monitor arduino IDE, baik sebelum dan sesudah kalibrasi.

3.2 Hasil Kalibrasi Sensor Ultrasonic JSN-SR04T

Tahap kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan akurasi dan keandalan pengukuran jarak oleh sensor. Pengujian sensor ultrasonic JSN-SR04T dilakukan dengan membandingkan nilai hasil ukur jarak dengan penggaris/meteran, dan hasilnya disajikan pada Tabel 2. Dari hasil pengujian sensor ultrasonic JSN-SR04T dengan pembanding berupa alat ukur penggaris/meteran sebelum proses kalibrasi diperoleh tingkat akurasi sensor ultrasonic JSN-SR04T sebesar 96,6% pengujian pengukuran jarak pada interval antara 10cm – 300cm. Interval jarak yang digunakan ini menyesuaikan kondisi jarak ketinggian antara sensor dengan permukaan sungai, yaitu pada kondisi sungai dangkal jarak antara sensor dengan permukaan sungai menpai 300 cm sedangkan pada kondisi banjir jarak antara permukaan sungai dengan sensor berkisar antara 20 cm.

Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah memprosesnya untuk membuat grafik guna memperoleh persamaan regresi linier. Gambar 5 menunjukkan visualisasi grafik data sebelum dikalibrasi. Dari pengolahan grafik tersebut, didapatkan persamaan regresinya. Selanjutnya, proses kalibrasi dilakukan dengan memasukkan rumus regresi ke dalam kode program yang diunggah melalui IDE Arduino. Setelah pengunggahan selesai, pengujian ulang dilakukan, dan data hasil kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 6. Adapun persamaan regresi yang dimasukkan ke koding arduino IDE adalah sebaagi berikut:

$$Celcius: 48.721 * event.temperature - 45,6; \quad (7)$$

Table 2. Hasil pengujian ultrasonic JSN-SR04T sebelum kalibrasi

No	Jarak Ukur meteran (cm)	Ultrasonic JSN-SR04T (cm)		RSD (%)	Precision (%)	Error (%)	Accuracy (%)
		\bar{x}	SD				
1	10	8,6	2,14	24,94	75,06	14,00	86,00
2	50	48,4	2,37	4,89	95,11	3,20	96,80
3	100	98,2	2,93	2,99	97,01	1,80	98,20
4	150	148	2,90	1,96	98,04	1,33	98,67
5	200	196,4	3,63	1,85	98,15	1,80	98,20
6	250	247,6	3,03	1,23	98,77	0,96	99,04
7	300	297,8	2,79	0,94	99,06	0,73	99,27
Average (%)				5,54	94,46	3,40	96,60



Gambar 5. Grafik perbandingan hasil uji sensor JSN-SR04T dengan meteran sebelum kalibrasi

Tabel 3. Hasil Pengujian ultrasonic JSN-SR04T setelah Kalibrasi

No	Jarak Ukur (cm)	Ultrasonic JSN-SR04T (cm)		RSD (%)	Precision (%)	Error (%)	Accuracy (%)
		\bar{x}	SD				
1	10	9,9	0,2	2,26	97,74	1,00	99,00
2	50	50	0,6	1,26	98,74	0,00	100,00
3	100	99,6	0,9	0,90	99,10	0,40	99,60
4	150	149,6	1,1	0,73	99,27	0,27	99,73
5	200	199,2	1,4	0,71	99,29	0,40	99,60
6	250	250	0,6	0,25	99,75	0,00	100,00
7	300	300	0,6	0,21	99,79	0,00	100,00
Average (%)				0,90	99,10	0,30	99,70

Setelah proses kalibrasi, tingkat kesalahan mengalami penurunan dari 3,40% menjadi 0,3% sehingga akurasi meningkat dari 96,6% menjadi 99,7%. Selain itu, nilai RSD (*Relative Standard Deviation*) turun dari 5,54% menjadi 0,9%, yang mengindikasikan peningkatan presisi dari 94,46% menjadi 99,10%. Nilai RSD hasil kalibrasi lebih kecil dari 2%, dan menurut teori, nilai RSD yang

ideal adalah di bawah 2%. Dengan rata-rata RSD sebesar 0,9% setelah kalibrasi, dapat disimpulkan bahwa data yang diperoleh memiliki kualitas yang baik.

Selanjutnya, data pasca-kalibrasi diolah secara grafis untuk menentukan persamaan regresi linier. Gambar 6 memperlihatkan grafik hasil kalibrasi, di mana analisis data menghasilkan nilai $R^2 = 1$, menunjukkan bahwa ultrasonic JSN-SR04T memiliki linearitas yang sangat tinggi[15].

Perbandingan grafik sebelum dan sesudah kalibrasi mengungkapkan bahwa: Nilai intersep (titik potong sumbu y) menurun dari 45,6 menjadi 44,5[16]. Nilai gradien (kemiringan kurva) semakin mendekati 1, yang berarti kurva cenderung membentuk sudut 45° terhadap sumbu x [13]. Berdasarkan hasil analisis dan teori, dapat disimpulkan bahwa linearitas kurva sangat tinggi, nilai intersep semakin mendekati 0, gradien semakin mendekati 1, menunjukkan hubungan yang lebih proporsional antara variabel x dan y. Jadi proses kalibrasi yang dilakukan menjadikan hasil pembacaan sensor lebih baik dengan tingkat error baca semakin kecil.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Sensor Ultrasonic JSN-SR04T dengan meteran setelah kalibrasi

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan analisis dalam proses kalibrasi sensor ultrasonic JSN-SR04T menggunakan pendekatan regresi linier. Dengan menggunakan pendekatan regresi linier pada proses kalibrasi sensor diperoleh hasil pengukuran hasil analisis pengujian sensor ultrasonic JSN-SR04T untuk mengukur jarak antara posisi sensor dengan bidang pantul yang dalam penelitian ini diaplikasikan pada deteksi ketinggian permukaan sungai dan dari hasil kalibrasi tersebut diperoleh nilai rata-rata *error* sebesar 0,30% dan akurasi sebesar 99,70%, sehingga dengan proses kalibrasi menggunakan pendekatan regresi linier maka diperoleh hasil pembacaan data sensor yang akurat dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Krisis Kesehatan RI, "Informasi Awal Banjir di 4 Kecamatan, KUDUS, JAWA-TENGAH," 2022. <https://pusatkrisis.kemkes.go.id/Banjir-di-KUDUS-JAWA-TENGAH-31-12-2022-51>
- [2] CNN Indonesia, "Banjir di Kudus Meluas hingga 21 Desa, 27 Ribu Warga Terdampak," 2023. <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20230102204350-20-895241/banjir-di-kudus-meluas-hingga-21-desa-27-ribu-warga-terdampak>
- [3] Akhmad Nazaruddin, "Dampak banjir di Kudus meluas hingga 17 desa," *Antara News*, 2023. [Online]. Available: <https://www.antaraneews.com/berita/3331347/dampak-banjir-di-kudus-meluas-hingga-17-desa>
- [4] D. Y. Setyawan, L. Rosmalia, M. G. Setiawati, R. Dwi, and J. S. Komputer, "Kalibrasi

- Sensor Suhu Udara, Kelembaban dan pH Tanah Menggunakan Metode Linear regression,” vol. 19, no. 1, pp. 225–235, 2024.
- [5] Wahyudi, Jumrianto □, and A. Syakur, “Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR Info Articles,” *J. Syst. Inf. Technol. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2020, [Online]. Available: <http://e-journal.ivet.ac.id/index.php/jsitee>
- [6] D. Novianto, I. Setiyowati, and R. Ismawati, “Kalibrasi Sensor pH dengan Arduino Nano Sebagai Mikro Kontroler Menggunakan NaOH , HCl dan Aquades Sebagai Kalibrator,” *J. Untidar*, vol. 3, no. 3, pp. 2–5, 2019.
- [7] Automation Community, “Instrumentation Engineers Case Study – Problems & Solutions,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 9, no. Perangkat Dan Metoda Kalibrasi Sensor Universal, pp. 866–874, 2022.
- [8] A. Syahlan *et al.*, “Kalibrasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 Pada Prototipe Water Tank Level Control System,” *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 10, no. 1, pp. 122–133, 2023.
- [9] A. Vonie Rachmawati, M. Yantidewi, and A. Penelitian, “Analisis Kalibrasi Sensor BME280 dengan Pendekatan Regresi Linear pada Pengukuran Temperatur, Kelembaban Relatif, dan Titik Embun BME280 Sensor Calibration Analysis with Linear Regression Approach for Temperature, Relative Humidity and Dew Point Measureme,” *J. Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 5, pp. 1589–1597, 2022, doi: 10.56338/jks.v7i5.5272.
- [10] Y. A. Miftahulumudin, M. Munadi, and M. N. Setiawan, “Kalibrasi Sensor Pada Sistem Data Akuisisi Alat Uji Unjuk Kerja Turbin Angin,” *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 12, no. 1, pp. 65–70, 2023.
- [11] D. A. Widayani *et al.*, “Optimization of Electrospinning Temperature Control System IoT-Based with DHT21,” vol. 20, no. 4, pp. 134–142, 2024, doi: 10.17529/jre.v20i4.37537.
- [12] S. W. Suciyati, M. S. Hidayatullah, and G. A. Pauzi, “Analisis Sistem Perolehan Data Suhu , Oksigen , dan Karbon Dioksida Pada Kulkas Dengan Arduino Mega 2560,” *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-BiRuNi*, vol. 10, no. 1, pp. 119–127, 2021, doi: 10.24042/jipfalbiruni.v10i1.7452.
- [13] A. Setyawan, “Validation of methods of analysis of iron (Fe) in liquid radioactive waste using automatic absorption spectrometry based on SNI 6989.4: 2009 and operation procedure in PTLR,” *Pros. Has. Penelit. Dan Kegiat. Tahun 2018*, pp. 93–102, 2019.
- [14] D. K. Lee, J. In, and S. Lee3, “Standard deviation and standard error of the mean,” *Korean J. Anesthesiol.*, vol. 68, no. 3, 2015, [Online]. Available: <https://ekja.org/journal/view.php?doi=10.4097/kjae.2015.68.3.220>
- [15] A. Mudjiono and M. S. Osesoga, “Does The Relationship between Profitability, Liquidity, and Leverage Toward Firm Value Get Tempered by Dividend Policy?,” *Indones. J. Account. Res.*, vol. 26, no. 03, pp. 457–482, 2023, doi: 10.33312/ijar.722.
- [16] U. Lathifah and R. Danar Dana, “Implementasi Metode Linear Regression Untuk Prediksi Harga Properti Real Estate Menggunakan Rapidminer,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 1129–1137, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8919.