

Curve Fitting Kurva Tegangan Keluaran Sensor GP2Y0A02YK untuk Unjuk Kerja yang Lebih Akurat

Agung Priyanto^{a,1,*}, Buntoro Irawan^{a,2}, Titik Rahmawati^{a,3}, Ari Cahyono^{b,4},

^aFakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Yogyakarta

^bUniversitas Safin Pati, Pati, Jawa Tengah

¹agungprie@ustjogja.ac.id, ²buntoro.irawan@ustjogja.ac.id,

³rahmawati.titik@gmail.com, ⁴arcaism@gmail.com

*Penulis koresponden

Diterima	Direvisi	Disetujui	Dipublikasikan
15/12/2024	23/12/2024	25/12/2024	27/12/2024

ABSTRACT

Sensors in the internet of things (IoT) and wireless sensor networks (WSN) for various purposes often require recalibration. The datasheet that accompanies the sensor usually displays a table of sensor's output with minimum, typical and maximum values. This means that there is a tolerance of the values that are still allowed by the manufacturer. For sensors with variable output voltage, it is usually displayed graphically. If the graph is not linear, curve fitting is needed to obtain the curve equation. In this research, curve fitting will be carried out using the least sum of squared errors method using a matrix. The curve equation resulting from curve fitting is needed for data processing or if it is needed to predict fixed variables if the independent variables are known. One of the sensors that has an output voltage curve that is not a straight line is the distance sensor from Sharp, the GP2Y0A02YK series. According to the datasheet, this sensor can be used to measure distances from 20 centimeters to 150 centimeters. The graph of the output voltage measuring distances from 20 cm to 150 cm is in the form of a curved curve. With calibration using curve fitting, it is hoped that the accuracy of sensor measurements and the processing of its output data will increase.

KEYWORDS

IoT
WSN
Curve fitting
GP2Y0A02YK

ABSTRAK

Sensor dalam Internet of Things (IoT) dan Wireless Sensor Networks (WSN) untuk berbagai keperluan seringkali memerlukan kalibrasi ulang. *Datasheet* yang menyertai sensor biasanya menampilkan tabel keluaran sensor dengan nilai-nilai minimum, tipikal dan maksimum. Artinya, terdapat toleransi sebesar nilai-nilai yang masih diperbolehkan oleh pabrik pembuatnya. Untuk sensor dengan tegangan keluaran analog biasanya ditampilkan dengan bentuk grafik. Jika keluarannya adalah grafik berbentuk kurva tidak linier, dibutuhkan pencocokan kurva untuk memperoleh persamaannya. Dalam penelitian ini akan dilakukan pencocokan kurva menggunakan metode jumlah galat kuadrat terkecil menggunakan matriks. Persamaan kurva hasil pencocokan kurva ini diperlukan untuk pengolahan data atau jika diperlukan untuk memprediksi variabel tetap jika variabel bebas diketahui. Salah satu sensor yang memiliki kurva tegangan keluaran tidak berbentuk garis lurus adalah sensor jarak keluaran Sharp, yakni seri GP2Y0A02YK. Menurut *datasheet*, sensor ini dapat dimanfaatkan untuk mengukur jarak mulai 20 cm sampai dengan 150 cm. Grafik tegangan keluaran pengukuran jarak mulai 20 cm sampai 150 cm tersebut berbentuk kurva melengkung. Dengan adanya kalibrasi menggunakan pencocokan kurva ini diharapkan akurasi dari pengukuran sensor dan pengolahan data keluarannya akan semakin meningkat.

KATA KUNCI

IoT
WSN
Pencocokan kurva
GP2Y0A02YK

This is an open access article under the CC-BY-SA license.



1 PENDAHULUAN

Dahulu, penggunaan komputer terbatas hanya alat bantu hitung saja. Namun, sekarang penggunaannya sudah sangat meluas pada banyak aspek kehidupan manusia. Era yang disebut sebagai *ubiquitous computing* menghadirkan komputer sampai kepada hal-hal kecil yang dahulu belum terpikirkan. Banyak sekali perangkat dari yang nampak besar sampai kepada perangkat kecil nan canggih yang disebut komputer itu menyertai hampir di semua aktivitas keseharian manusia [1]. Salah satu pemanfaatannya adalah sebagai jaringan sensor untuk pemantauan lingkungan, lebih spesifik lagi yaitu jaringan sensor untuk mengukur jarak.

Dalam penerapannya, diperlukan sensor jarak sebagai ujung depan yang memberikan keluaran tegangan sebagai fungsi jarak yang menjadi masukan bagi pemroses digital yang ada dalam *node* dalam sebuah jaringan sensor. Masalah yang timbul dalam perancangannya adalah bahwa keluaran sensor jarak ini tidaklah mengikuti persamaan garis lurus. Pabrik pembuatnya hanya memberikan gambar grafik tegangan keluaran sensor versus jarak yang tidak berbentuk garis lurus. *Node* seharusnya mengonversi tegangan keluaran sensor menjadi jarak dengan fungsi matematik tertentu sehingga menghasilkan konversi yang benar sesuai dengan jarak sesungguhnya.

Kalibrasi ulang sensor sering kali bahkan menjadi keharusan untuk dilakukan agar memperoleh pengukuran yang lebih akurat. Salah satu cara kalibrasi sensor adalah dengan mengolah sekumpulan data hasil pengukuran sensor aktual. Sensor dengan data hasil pengukuran yang bersifat linier akan mudah dilakukan kalibrasi ulang. Namun, jika data hasil pengukuran bersifat tidak linier memerlukan metode tertentu yang mestinya lebih rumit. Pencocokan kurva (*curve fitting*) untuk memperoleh persamaan yang mewakili sekumpulan data sering kali dilakukan untuk kalibrasi sensor. Banyak peneliti telah melakukan kalibrasi sensor dengan berbagai metode pencocokan kurva.

Kalibrasi sensor untuk pengukuran daya rendah dapat dilakukan dengan membandingkan menggunakan referensi baku. Beberapa metode yang digunakan adalah Law of Propagation of Uncertainties (LPU) dan Monte Carlo (MC). Kedua metode ini dibandingkan untuk memperoleh

metode terbaik dalam kalibrasi sensor pengukuran daya rendah [2]. Sensor berbasis MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) dapat dikalibrasi menggunakan metode statistik Bayesian untuk menyediakan kalibrasi statistik sensor berbasis MEMS [3]. Algoritma kalibrasi sensor dapat dilakukan berbasis Machine Learning. Dengan algoritma ini, sensor yang murah dan fidelitas rendah akan dapat digunakan secara layak untuk penginderaan [4]. Pernah juga diusulkan sebuah teknik berbasis jaringan syaraf untuk memecahkan salah satu masalah analisis numerik tradisional pencocokan kurva. Metode yang melibatkan adalah algoritma *extreme learning machine* (ELM) dan teknik optimisasi *particle swarm optimization* (PSO) [5]. Untuk menyelesaikan masalah mengenai kuadrat terkecil nonlinier juga telah digunakan Algoritma Levenberg-Marquard. Jika fungsi pencocokan tidak linier dalam koefisien-koefisiennya, maka masalah kuadrat terkecil memerlukan sebuah algoritma pemecahan yang bersifat iteratif. Algoritma ini akan mengurangi penjumlahan kuadrat galat antara fungsi model dan poin-poin data melalui serangkaian pembaruan yang dipilih dengan baik terhadap nilai koefisien model [6]. Algoritma-algoritma kalibrasi sensor statistik telah pernah dibahas dalam sebuah disertasi. Sensor yang digunakan dalam disertasi ini adalah sensor pengukuran jarak. Tujuan utama dari disertasi ini adalah untuk menyediakan metode, teknik, dan instrument numerik yang dapat membantu pengguna untuk memperbaiki kinerja statistik unit penginderaan [7]. Beberapa peneliti memanfaatkan algoritma *compound Kalman smoothing filter* (CKSF) berbasis pencocokan kurva kuadrat terkecil untuk menghilangkan derau (*noise*) pada sensor suhu air laut. Algoritma ini pertama-tama menganalisis model sistem sensor menggunakan metode kuadrat terkecil agar sesuai dengan data teoritis dan menghilangkan faktor non-linier yang disebabkan oleh sistem itu sendiri, kemudian memperkirakan karakteristik statistik dari kebisingan yang diperlukan oleh pemodelan [8].

Dari berbagai penelitian di atas diperoleh kesimpulan bahwa ada banyak metode untuk pencocokan kurva. Perbedaan metode yang digunakan dari penelitian-penelitian di atas terutama disebabkan oleh karakteristik bentuk kurva dari data yang diperoleh berbeda satu dengan yang lain. Metode yang paling cocok semestinya adalah metode yang menghasilkan galat atau *error* terkecil.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini adalah mengolah data percobaan menggunakan metode Jumlah Galat Kuadrat (JGK) terkecil atau *least sum of squared errors*. Digunakan beberapa model untuk membandingkan hasil pencocokan sehingga diperoleh model dengan jumlah galat kuadrat terkecil dan menghasilkan persamaan dengan bentuk kurva pendekatan yang paling baik. Dalam penyelesaiannya, metode ini memanfaatkan matriks untuk proses perhitungannya

Penelitian dimulai dengan percobaan pengukuran tegangan keluaran sensor pada jarak-jarak tertentu terhadap objek. Pengukuran dilakukan sekaligus menggunakan 3 (tiga) buah digital voltmeter (DVM) yang telah terkalibrasi baik. Rerata hasil pengukuran ketiga DVM dicatat dalam sebuah tabel, kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik berupa kurva. Kurva ini akan dicocokkan sehingga diperoleh persamaan matematikanya. Persamaan yang telah diperoleh digunakan untuk mengolah data output sensor dalam sebuah aplikasi antarmuka.

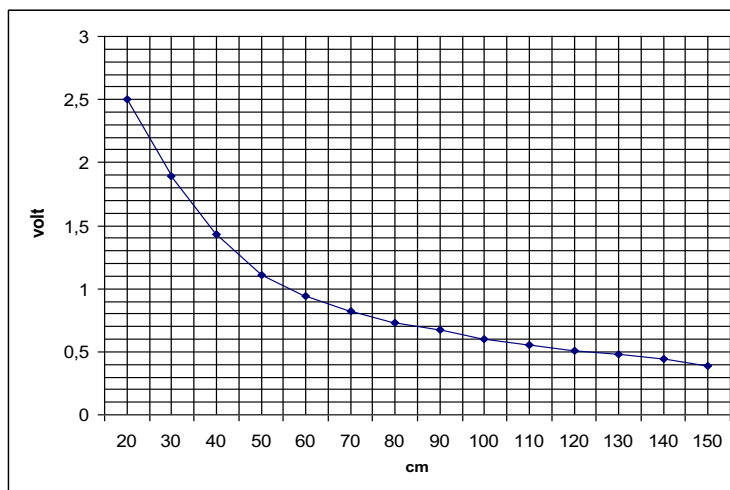
2.1 Data percobaan

Tabel 1 merupakan hasil dari 10 (sepuluh) kali pengukuran setiap jarak tertentu terhadap objek. Masing-masing angka hasil pengukuran dalam tabel tersebut merupakan rerata dari pengukuran 3 buah DVM.

Dari Tabel 1 dapat digambarkan kembali grafik jarak objek terhadap tegangan keluaran sensor seperti dalam Gambar 1. Grafik yang diperoleh memang berbentuk tidak lurus seperti juga yang digambarkan dalam *datasheet*, sehingga diperlukan pendekatan agar diperoleh persamaan matematikanya. Tabel 2 menampilkan kembali pasangan data jarak objek dan tegangan keluaran sensor yang sudah direratakan.

Tabel 1. Hasil pengukuran tegangan keluaran sensor (volt) terhadap jarak objek (cm)

Jarak objek (cm)	Pengukuran ke										Rata-rata (volt)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.5
30	1.88	1.89	1.88	1.89	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.90	1.89
40	1.42	1.43	1.42	1.43	1.42	1.43	1.42	1.43	1.42	1.43	1.43
50	1.10	1.11	1.11	1.12	1.11	1.12	1.11	1.12	1.11	1.12	1.11
60	0.92	0.93	0.94	0.95	0.93	0.94	0.93	0.94	0.93	0.94	0.94
70	0.81	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.81	0.82	0.82
80	0.74	0.75	0.72	0.73	0.72	0.73	0.73	0.74	0.73	0.74	0.73
90	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
100	0.60	0.61	0.60	0.61	0.59	0.60	0.60	0.61	0.59	0.60	0.6
110	0.54	0.55	0.55	0.56	0.55	0.55	0.54	0.55	0.55	0.56	0.55
120	0.50	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
130	0.47	0.48	0.48	0.48	0.47	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48
140	0.43	0.43	0.43	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.44	0.43	0.44
150	0.39	0.40	0.40	0.40	0.38	0.39	0.39	0.40	0.39	0.40	0.39



Gambar 1. Grafik rata-rata tegangan keluaran sensor (volt) terhadap jarak objek (cm) hasil pengukuran.

Tabel 2. Pasangan data jarak objek (x) dan tegangan keluaran sensor (y).

x (cm)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
y (volt)	2.5	1.89	1.43	1.11	0.94	0.28	0.73	0.67	0.60	0.55	0.51	0.48	0.44	0.39

2.2 Curve fitting dengan bantuan matriks

Pemecahan atas persamaan $A\underline{x}=\underline{b}$ dengan A adalah matriks dilakukan dengan mendefinisikan faktor galat $\underline{r}=A\underline{x}-\underline{b}$, dengan normal dari \underline{r} adalah:

$$\begin{aligned} \|\underline{r}\|^2 &= \underline{r}^T \underline{r} \\ &= r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + \dots \end{aligned}$$

Harga $\|\underline{r}\|^2 = \underline{r}^T \underline{r}$ ini dinamakan Jumlah Galat Kuadrat (JGK) yang selalu merupakan suatu nilai real yang tak negatif. Operasi matriks atas JGK menghasilkan persamaan matriks sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \underline{r}^T \underline{r} &= (A\underline{x} - \underline{b})^T (A\underline{x} - \underline{b}) \\ &= \underline{x}^T A^T A \underline{x} - \underline{x}^T A^T \underline{b} - \underline{b}^T A \underline{x} + \underline{b}^T \underline{b} \\ &= \underline{x}^T (A^T A) \underline{x} - 2 \underline{x}^T A^T \underline{b} + \underline{b}^T \underline{b} \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas nampak ketergantungan nilai JGK terhadap \underline{x} . Artinya, JGK merupakan fungsi dari n buah variabel $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. JGK tersebut akan memiliki nilai minimal jika penderensialannya terhadap $x_k=0$. Artinya,

$$\partial/\partial x_k(\underline{r}^T \underline{r}) = 2\underline{e}_k^T (A^T A \underline{x}) - 2\underline{e}_k^T (A^T \underline{b}) = 0$$

Persamaan di atas berlaku untuk semua harga $i=k$. Berdasarkan hal tersebut JGK akan minimal jika \underline{x} dipilih agar memenuhi:

$$A^T A \underline{x} = A^T \underline{b} \quad (1)$$

Ini disebut persamaan normal untuk $A \underline{x} = \underline{b}$ dan memiliki solusi unik, yaitu:

$$\underline{x}^* = (A^T A)^{-1} A^T \underline{b}$$

Sekarang dapat disimpulkan, jika A matriks ukuran $n \times m$, dengan $n \geq m$, maka persamaan $A \underline{x} = \underline{b}$ memiliki solusi \underline{x}^* yang diperoleh sebagai penyelesaian atas persamaan normalnya. Solusi ini benar-benar unik tidak dalam arti $A \underline{x}^* = \underline{b}$ (yaitu memenuhi persamaan tersebut), tetapi dalam arti bahwa solusi tersebut memiliki JGK terkecil.

Untuk menunjukkan bahwa \underline{x}^* benar-benar memberikan JGK terkecil, dapat diamati bahwa \underline{x}^* memenuhi $A^T A \underline{x}^* = A^T \underline{b}$. Untuk sembarang nilai \underline{x} ,

$$\begin{aligned} \underline{r} &= \underline{b} - A \underline{x} \\ &= \underline{b} - A \underline{x}^* + A \underline{x}^* - A \underline{x} \end{aligned}$$

jika didefinisikan

$$\underline{r}^* = \underline{b} - A \underline{x}^* \quad (2)$$

maka,

$$\underline{r} = \underline{r}^* + A(\underline{x}^* - \underline{x})$$

Dalam pada itu, $A \underline{r}^* = A^T (\underline{b} - A \underline{x}^*)$, jadi

$$\begin{aligned} \|\underline{r}\|^2 &= \underline{r}^T \underline{r} \\ &= [\underline{r}^* + A(\underline{x}^* - \underline{x})]^T [\underline{r}^* + A(\underline{x}^* - \underline{x})] \\ &= \|\underline{r}^*\|^2 + \|A(\underline{x}^* - \underline{x})\|^2 \geq \|\underline{r}^*\|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa solusi persamaan normal memiliki JGK terkecil. Persamaan normal dapat juga direpresentasikan dalam rumusan sebagai berikut:

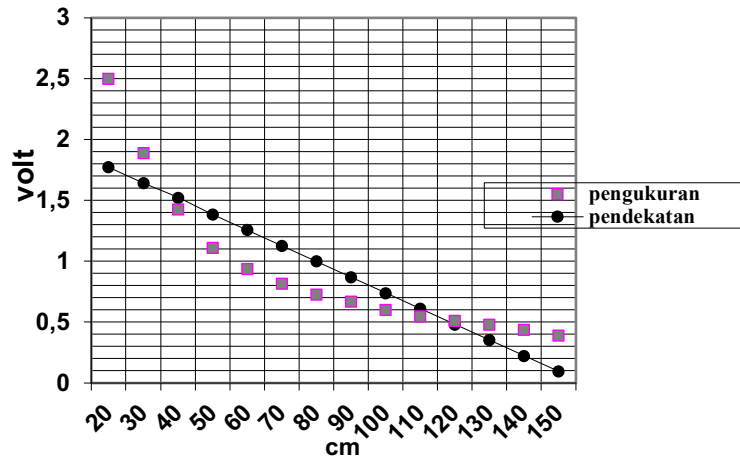
$$\begin{bmatrix} 1 & A \\ A^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix}$$

Rumusan tersebut memungkinkan untuk persamaan normal diselesaikan dengan teknik *iterative refinement* yang berlaku bagi $A \underline{x} = \underline{b}$, dengan A merupakan matriks bujur sangkar. Model yang digunakan dalam pecocokan kurva yaitu menggunakan fungsi matematik berbentuk $y = \alpha + \beta x$ dan $y = \alpha + \beta x + \delta/x$. Pencocokan kurva akan dicari menggunakan model tersebut. Fungsi menghasilkan JGK terkecil dan merupakan fungsi yang mendekati persamaan kurva.

Sekarang ingin dicari sebuah model matematik $y = f(x)$ yang mewakili keempat belas pasang data dalam Tabel 2 sebaik-baiknya. Metode yang digunakan untuk mencari model matematik adalah Metode Jumlah Galat Kuadrat Terkecil (JGK) dengan Matriks Potret [11] dan [12]. Dengan Persamaan (1), (2) dan (3) dapat diperoleh nilai-nilai yang dicari. Aplikasi bantu untuk operasi matriks digunakan Octave. Setelah dicoba menggunakan model $y = \alpha + \beta x$, diperoleh:

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.0313 \\ -0.0129 \end{bmatrix}$$

Maka persamaan awal $y = \alpha + \beta x$ menjadi $y = 2.0313 - 0.0129x$. Jika ditampilkan grafiknya, hasilnya terlihat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pendekatan grafis untuk model $y = \alpha + \beta x$.

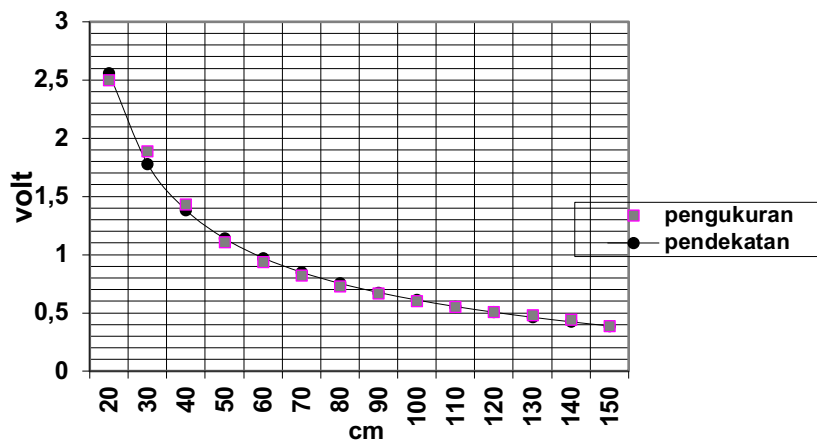
Model ini memiliki jumlah galat kuadrat terkecil (JGK) sebesar $\underline{r}^T \underline{r}$ dengan $\underline{r} = \underline{y} - A \underline{x}^*$ sehingga, $\underline{r}^T \underline{r} = 1.1532$, atau $JGK = 1.1532$.

Dilihat dari Gambar 2, kurva pendekatan berbentuk garis lurus jauh dari gambar kurva pengukuran, sehingga dapat dikatakan bahwa model yang digunakan masih belum dapat mewakili data dalam himpunan. Dengan demikian akan dicoba bentuk fungsi pendekatan lain.

Pendekatan dengan model $y = \alpha + \beta x + (\delta/x)$ akan dicobakan dengan mencari nilai-nilai dengan Persamaan (1), (2), dan (3) menggunakan matriks dan dengan bantuan aplikasi Octave dan diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2898 \\ -0.0014 \\ 45.9813 \end{bmatrix}$$

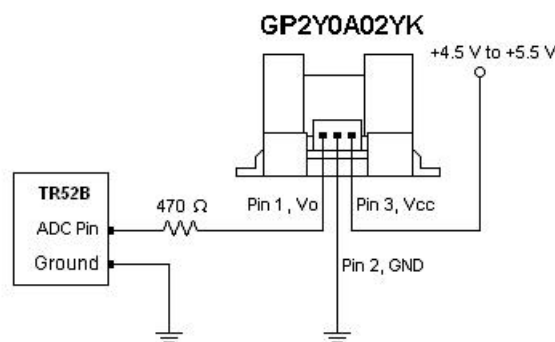
$JGK = \underline{r}^T \underline{r}$ dengan $\underline{r} = \underline{y} - A \underline{x}^*$ diperoleh $JGK = 0.0220$. JGK untuk pendekatan kedua ini jauh lebih baik dari model yang pertama karena jauh lebih kecil nilainya. Pendekatan dengan model matematik ini menghasilkan grafik yang lebih mendekati hasil pengukuran seperti terlihat pada Gambar 3. Dengan demikian persamaan yang digunakan untuk mewakili fungsi grafik jarak objek (x) versus tegangan keluaran (y) untuk sensor ini adalah $y = 0,2898 - 0,014x + (45,9813/x)$.



Gambar 3. Pendekatan grafis untuk model $y = \alpha + \beta x + (\delta/x)$.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor jarak yang telah dikalibrasi keluarannya ini diaplikasikan dalam sebuah jaringan sensor sederhana untuk menguji apakah keluarannya telah sesuai dengan yang diharapkan. Koneksi perkabelannya dapat dilihat pada Gambar 4.

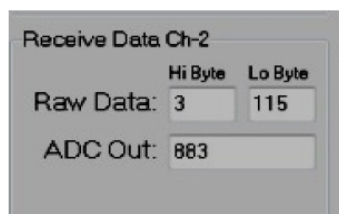


Gambar 4. Koneksi perkabelan sensor GP2Y0A02YK dengan sebuah *node* WSN TR52B

Antarmuka grafis telah dibuat menggunakan Delphi, kemudian diuji apakah sensor memberi keluaran yang sudah benar. Data yang diterima dan diolah oleh aplikasi adalah data digital 10 bit sehingga memiliki rentang 0 – 1023. Data ini akan ditampilkan oleh aplikasi dalam bentuk angka biner yang proporsional dengan tegangan searah keluaran sensor. Konversi biner ke dalam desimal sesuai dengan Persamaan (4):

$$V_{out} = \frac{data}{1024} \times V_{ref} \quad (4)$$

Dengan $V_{ref} = 3$ volt untuk ADC (Analog To Digital Converter) yang dimiliki modul TR-52B, maka ketika dicoba menempatkan objek di depan sensor sejauh 20 cm, keluarannya seperti terlihat dalam Gambar 5.



Gambar 5. Screenshot tampilan antarmuka.

Dari Gambar 5 nampak bahwa data biner yang masuk adalah 3 atau 0000 0011 untuk *Hi Byte* dan 115 atau 0111 0011 untuk *Lo Byte* sehingga 10 bit gabungannya adalah 1101110011 atau 883 desimal, ini sesuai dengan ADC Out. Sampai di sini konversi dilakukan dengan benar. Tegangan searah yang sesuai dengan data desimal 883 adalah:

$$V_{out} = \frac{883}{1024} \times 3 \text{ volt} = 2,587 \text{ volt}$$

Jika dikembalikan menggunakan persamaan pencocokan kurva dengan $x=20$ cm, maka $y = 0,2898 - 0,0014(20) + (45,9813/20) = 2,5610$ volt, sebuah nilai yang hanya berbeda $2,587 - 2,561 = 0,026$ volt. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa keluaran sensor sudah sesuai dengan yang tertampil di dalam antarmuka.

4 KESIMPULAN

Dari percobaan dan pencocokan kurva yang telah dilakukan, diperoleh persamaan kuva keluaran sensor $y = 0,2898 - 0,014x + (45,9813/x)$. Dengan y adalah tegangan keluaran sensor dalam volt dan x adalah jarak dalam centimeter. Hasil konversi biner menggunakan antarmuka juga diperoleh nilai yang relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi sensor jarak GP2Y0A02YK dengan pencocokan kurva telah berhasil dilakukan. Dengan penelitian ini diharapkan penggunaan

Curve Fitting Kurva Tegangan Keluaran Sensor GP2Y0A02YK untuk Unjuk Kerja yang Lebih Akurat
(Agung Priyanto, dkk)

sensor jarak 20 cm -150 cm yang murah ini dapat dilanjutkan tanpa kendala berarti. Pencocokan kurva juga dapat dilakukan untuk kasus sensor lain yang memiliki permasalahan yang sama yakni kurva tegangan keluaran tidak linier.

5 KONTRIBUSI PENELITIAN

Penelitian mengenai pencocokan kurva tegangan keluaran sensor ini biasanya dilakukan untuk mencari persamaan kurva terbaik atau untuk kalibrasi ulang. Ini telah dilakukan oleh banyak peneliti untuk memperbaiki unjuk kerja sensornya. Penelitian yang telah dilakukan ini memiliki kontribusi dalam hal pengukuran jarak yang terintegrasi dengan IoT maupun WSN, karena sensor yang digunakan ini memiliki jangkah tegangan keluaran yang kompatibel dengan banyak platform IoT maupun WSN. Salah satu contoh penerapan sensor ini dalam pemantauan lingkungan adalah untuk mengukur kedalaman aliran sungai. Jika terintegrasi dengan sensor-sensor lain dan jaringan komunikasi yang mumpuni, sensor ini dapat dimanfaatkan untuk *early warning system* misalnya untuk bencana banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Fatima, "Ubiquitous Computing: Advantages and Challenges," *International Journal of Computer Science and Mobile Applications*, Vol.6 Issue. 4, April 2018, pp. 217-221.
- [2] M. Rodriguez, M. Celep, and M. Hudlicka, "Calibration of power sensors for low-power measurement: Best practice guide," *EMPIR 15RPT01, RFMicrowave*, 2019.
- [3] A. Prato, F. Pennecchi, G Genta, and A. Schiavi, "A Bayesian statistical method for large-scale MEMS-based sensors calibration: a case study on 100 digital accelerometers," *Metrologia*, Vol.61(1), December 2023, DOI 10.1088/1681-7575/ad1692.
- [4] T. Barrett and A. K. Mishra, "Statistical Study of Sensor Data and Investigation of ML-Based Calibration Algorithms for Inexpensive Sensor Modules: Experiments From Cape Point," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.73, March 2024, DOI: 10.1109/TIM.2024.3372211.
- [5] M. Li and L. D. Li, "A novel method of curve fitting based on optimized extreme learning machine," *Applied artificial intelligence*, Vol. 34 no.12, 2020, pp. 849-865, <https://doi.org/10.1080/08839514.2020.1787677>.
- [6] H. P. Gavin, "The Levenberg-Marquardt algorithm for nonlinear least squares curve-fitting problems," *Department of Civil and Environmental Engineering Duke University*, August 2019.
- [7] A. Alhashimi, *Statistical sensor calibration algorithms*, Doctoral dissertation, Luleå University of Technology, 2018.
- [8] Y. Zhang, R. Wang, S. Li, and S. Qi, "Temperature sensor denoising algorithm based on curve fitting and compound kalman filtering," *Sensors*, Vol.20 no.7, March 2020, <https://doi.org/10.3390/s20071959>.
- [9] Sharp Corp., GP2Y0A02YK Datasheet, 1990, [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/412633/SHARP/GP2Y0A02YK0F.html> [Accessed: October-03-2024].
- [10] Microrisc, TR-52B Transceiver Module Data Sheet, 2014, [Online]. Available: https://static.iqrf.org/Datasheet_TR-52B_140430.pdf [Accessed: October-03-2024].
- [11] A. R. I. Windyarto, *Teknik Komputasi*, FT-UGM, 2009.
- [12] S. Arlinghaus, *Practical handbook of curve fitting*, CRC press, 2023.